

ÂNGELO PAES DE CAMARGO

Engenheiro - agrônomo

Seção de Climatologia Agrícola - Instituto Agronômico

CONTRIBUIÇÃO PARA A DETERMINAÇÃO  
DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
NO  
ESTADO DE SÃO PAULO

*Tese de doutoramento apresentada  
à Escola Superior de Agricultura  
"Luiz de Queiroz" da Universidade  
de São Paulo.*

Campinas, outubro de 1961

E R R A T A

PAGINA	LINHA	ONDE SE LE	LEIA-SE
3	20	Thorntwaite e outros	Thorntwaite, Wilm e outros
13	30	quadro 6	quadro 2
15	2	Penman 1948	Penman, 1952
29	20	em três	nas três
29	25	Thorntwaite	Thorntwaite & Mather
36	24	the layer	the surface layer
37	1	addictional and	addictional evaporation and
39	1	Fatôres de correção	Fatôres de correção (F)

*À minha esposa*

## AGRADECIMENTOS

Aos engenheiros-agrônomo Roberto Alves Rodrigues, Antônio Junqueira Reis e Reinaldo Forster, pela colaboração na instalação e operação dos evapotranspirômetros; aos engenheiros-agrônomo Prof. Admar Cervellini, Dr. Jesus Marden dos Santos, Heli Camargo Mendes, Alcides Carvalho e Eduardo Souza Freire, pelas críticas e sugestões apresentadas; aos engenheiros-agrônomo Constantino G. Fraga Júnior, Armando Cognagin e Wanderley R. Venturini, pelas sugestões no tratamento estatístico; ao engenheiro-agrônomo Hernani Godoy, pelas facilidades proporcionadas à execução do trabalho; ao Serviço do Vale do Paraíba, à Fundação Rockefeller e ao Instituto Brasileiro do Café, pela doação do material e equipamento utilizados; aos observadores meteorológicos sra. Arlete Carvalho Júnior e srs. José Fernandes, Umberto Bonatto e Paulo Franco, pela dedicação no trato e tomada de dados dos evapotranspirômetros; ao sr. Odhemar Teizen, pela revisão do vernáculo; às srtas. Dione Michelan, pelo trabalho de cálculo; Maria do Carmo Villela Lima e Emery do Carmo Granja, pela confecção dos desenhos; Maria Aparecida do Canto Oliveira e Nysa de Lucca, pelos trabalhos datilográficos; e ao sr. Miguel Otávio Torre, pela impressão.



## CONTEUDO

	Página
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	3
3 - MATERIAL E METODO.....	8
3.1 - Medição da evapotranspiração potencial.....	8
3.1.1 - Montagem e operação dosevapotrans- pirômetros.....	10
3.1.2 - Preparo dos dados.....	12
3.2 - Cálculo da evapotranspiração potencial.....	12
4 - RESULTADOS OBTIDOS.....	18
4.1 - Evapotranspiração medida.....	18
4.2 - Evapotranspiração calculada.....	22
4.3 - Correlação entre resultados mensais medi- dos e calculados.....	22
5 - DISCUSSÃO.....	24
6 - CONCLUSÕES.....	32
RESUMO.....	34
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	36

*Memo*

QUADROS

	Página
<u>Quadro 1</u> - Dados geográficos e climáticos das localidades em que foram instaladas as baterias .....	9
<u>Quadro 2</u> - Fatores de correção da evapotranspiração potencial mensal, dada pelo nomograma de Thornthwaite, para ajustá-la ao número de dias do mês e à duração do brilho solar diário, nos vários meses do ano e latitudes entre 15 graus norte e 37 graus sul .....	39
<u>Quadro 3</u> - Radiação solar recebida na ausência da atmosfera, em milímetros de evaporação equivalente, no 15º dia de cada mês, para as latitudes de 10 graus norte e 40 graus sul .....	40
<u>Quadro 4</u> - Duração máxima da insolação diária, em horas, nos vários meses do ano e latitudes de 10 graus norte e 40 graus sul .....	41
<u>Quadro 5</u> - Porcentagens mensais de horas diurnas sobre o total anual. Valores de $p$ empregados na equação de Blaney & Criddle para cálculo do uso consuntivo da água ( $u$ ), nas latitudes compreendidas entre 10 graus norte e 40 graus sul .....	42
<u>Quadro 6</u> - Dados mensais médios de precipitação, irrigação, percolação e evapotranspiração potencial, das baterias de evapotranspirômetros de Pindamonhangaba, de Ribeirão Preto e de Campinas, durante o período de 1954 a 1959 .....	43
<u>Quadro 7</u> - Dados do cálculo da evapotranspiração potencial mensal, por diferentes métodos, em Pindamonhangaba .....	45
<u>Quadro 8</u> - Dados do cálculo da evapotranspiração potencial mensal, por diferentes métodos, em Ribeirão Preto .....	46
<u>Quadro 9</u> - Dados do cálculo da evapotranspiração potencial mensal, por diferentes métodos, em Campinas .....	48

*C. Hamann*

CONTRIBUIÇÃO PARA A DETERMINAÇÃO NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO  
ESTADO DE SÃO PAULO

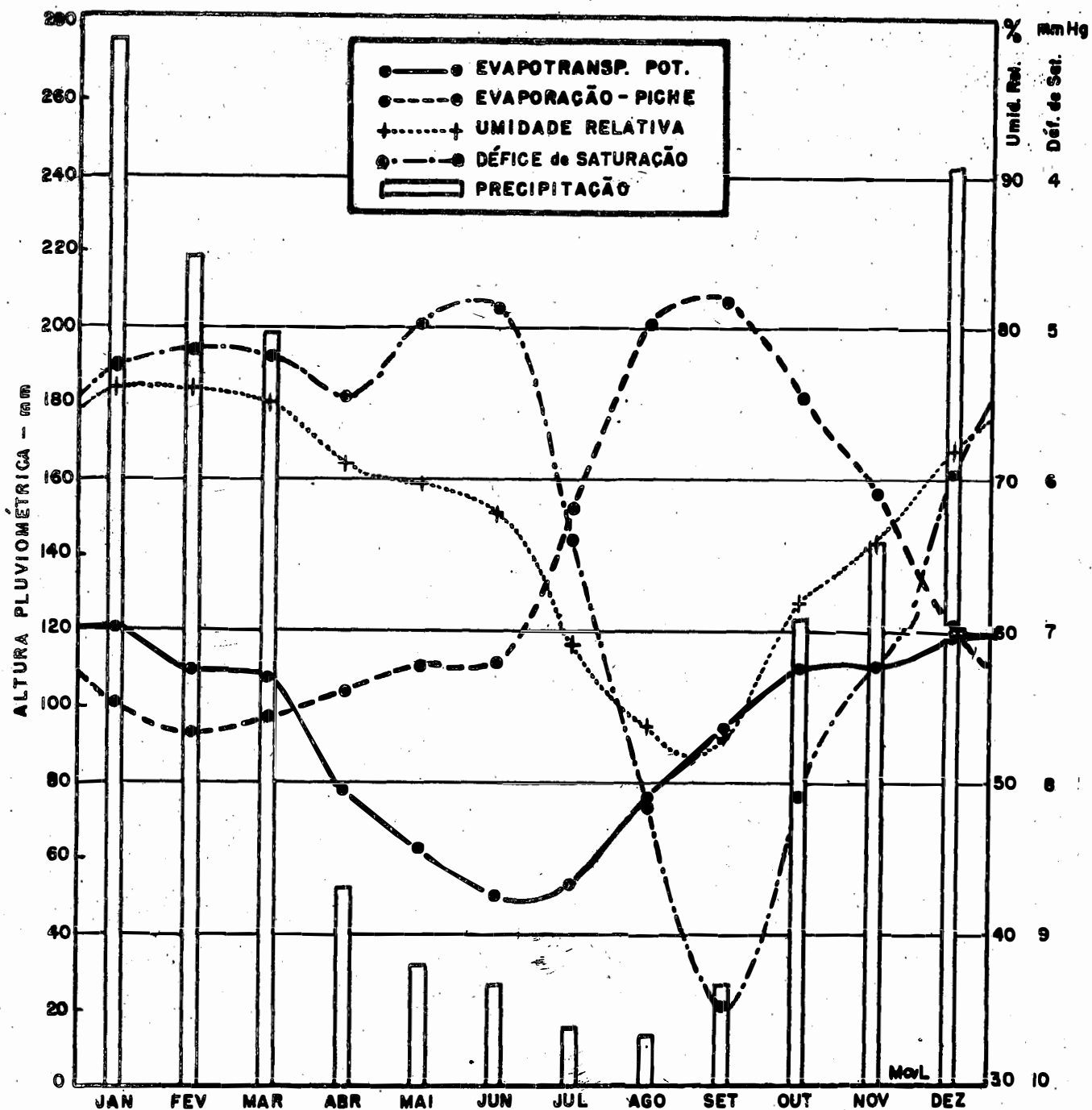
1 - INTRODUÇÃO

Para estimar, climatologicamente, a disponibilidade de água na superfície do solo, não se pode basear apenas nas quantidades de água que esta recebe da atmosfera através da precipitação pluvial. Torna-se necessário levar também em conta as quantidades de água que a superfície vegetada perde, pelo retorno à atmosfera, com o processo da evaporação e transpiração vegetal, ou seja a evapotranspiração. Só com o cotejo dos dados desses dois processos meteorológicos opostos, torna-se possível fazer o balanço hídrico e determinar, com aceitável exatidão, as reais disponibilidades de água no solo, para fins climatológicos, hidrológicos e agrícolas.

Uma mesma precipitação pluvial poderá mostrar-se suficiente e suprir perfeitamente as necessidades de água, representada pela evapotranspiração potencial, durante períodos frios, do inverno, e mostrar-se, por outro lado, muito baixa e incapaz de atender ao elevado consumo de umidade, pelo mesmo processo, durante períodos quentes da estação estival.

A precipitação é um elemento de fácil medição, há muito objeto de determinações regulares em estações meteorológicas. No Estado de São Paulo a pluviometria acha-se relativamente bem conhecida, contando-se com cartas de isoietas bastante aceitáveis (Setzer, 1946; Schroeder, 1956). O contrário, todavia, acontece com a evapotranspiração, que só nos últimos lustros vem recebendo atenção e sendo objeto de determinações por parte de entidades especializadas.

Nos postos meteorológicos são feitas, normalmente, determinações da evaporação à sombra com os evaporímetros de Piche. Esses dados, entretanto, constituem uma forma de evaporação muito diversa da evapotranspiração potencial e não podem ser empregados no balanço hídrico em confronto com a precipitação pluvial. Na figura 1, que compara o curso anual das duas formas do elemento, para Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo, pode-se observar que os valores mais altos da eva-



**Figura 1.** — Marcha anual das médias mensais da evapotranspiração potencial, calculada segundo Thornthwaite, da evaporação de Piche, do déficit de saturação e da umidade relativa do ar, para o período de 1950 a 1960, em Ribeirão Preto, Estado de S. Paulo.

Clim. Agr. — CIA

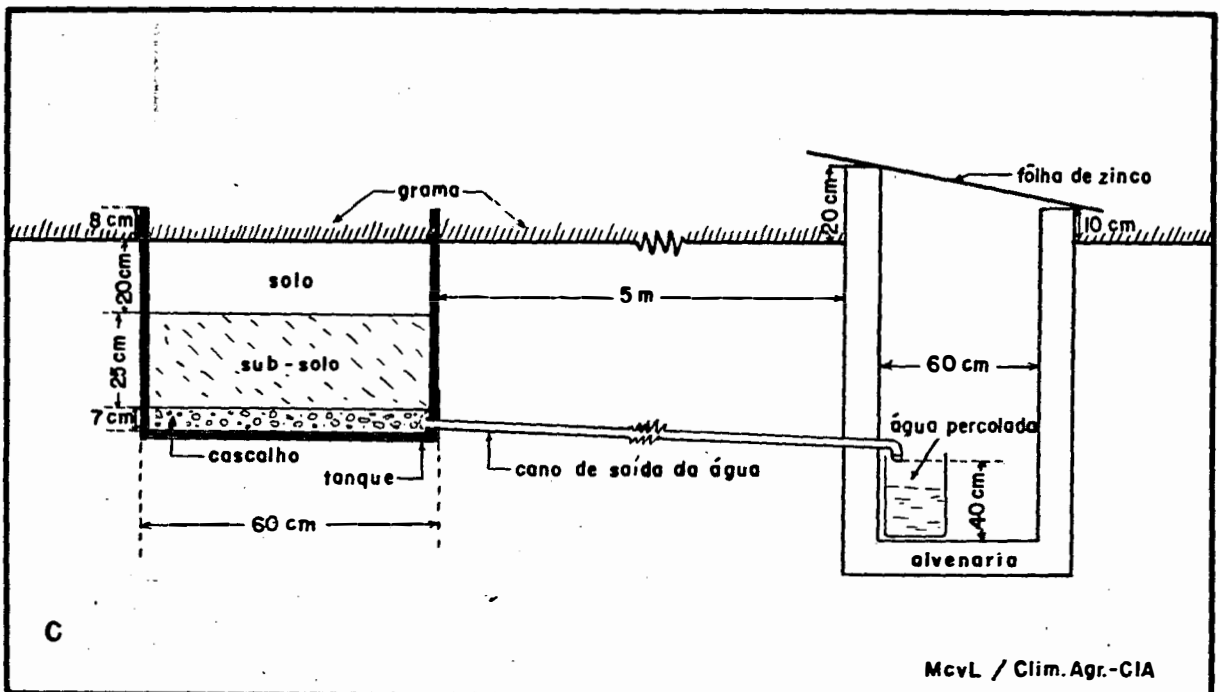
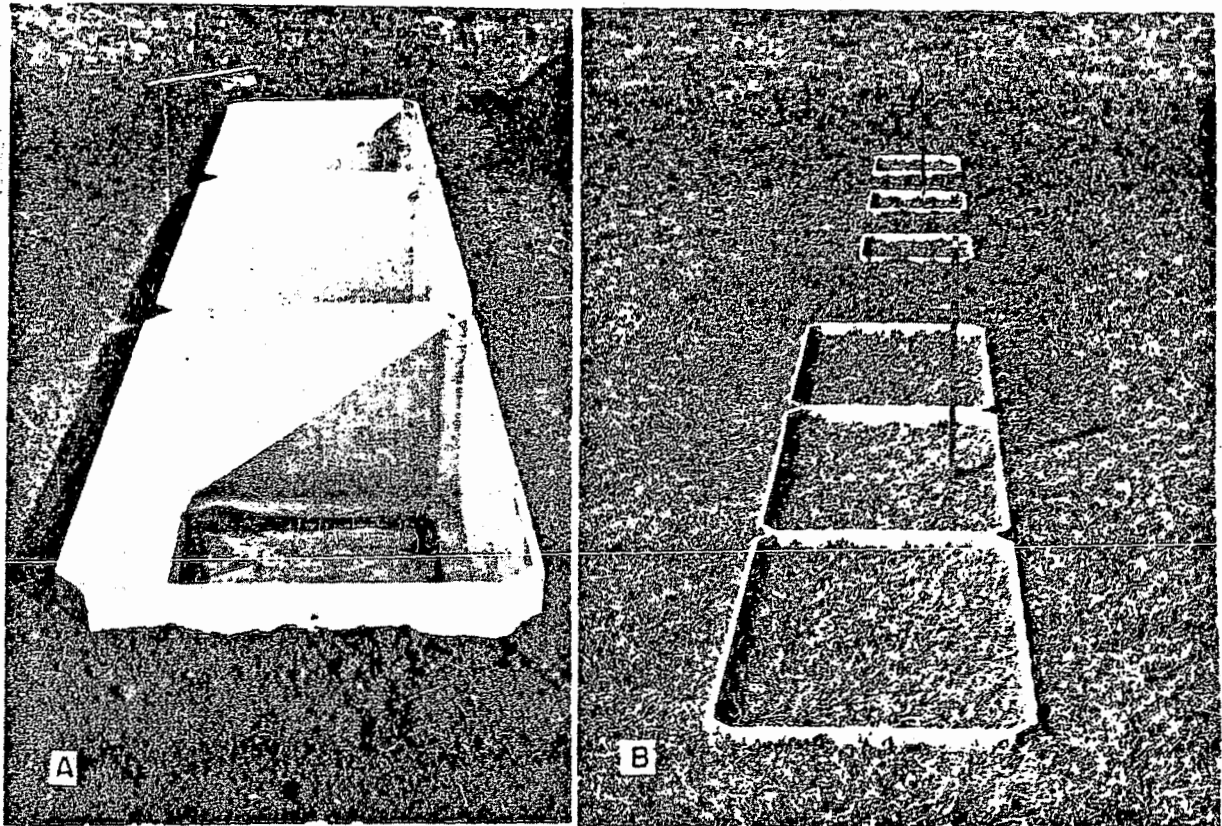
poração de Piche ocorrem durante o período mais sêco, de julho a setembro, quando o déficit de saturação se mostra mais intenso. A evapotranspiração potencial, entretanto, segue marcha muito diferente, alcançando os valores mais elevados, não durante o período de deficiência de umidade, mas sim no período mais quente do ano, de dezembro a fevereiro, quando mais elevado é o suprimento de energia solar para promover a evaporação.

Para a medição da evapotranspiração potencial vêm sendo empregados em vários países, com resultados bastante satisfatórios, evapotranspirômetros segundo Thornthwaite (Mather, 1954), esquematizados na figura 2. Neste trabalho são apresentados os resultados de vários anos de mensurações da evapotranspiração potencial, em três localidades do planalto paulista, utilizando-se evapotranspirômetros desse tipo. São também apresentados os resultados da estimativa da evapotranspiração potencial, por vários métodos de cálculo, os quais foram correlacionados com dados dos evapotranspirômetros, visando estabelecer meios práticos e eficientes para a determinação do elemento, nas condições do planalto paulista.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Thornthwaite e outros (1944) introduziram o conceito de evapotranspiração potencial, para exprimir a evaporação natural que se verifica em extensa superfície vegetada, livremente exposta, onde nunca falte umidade no solo para uso das plantas. Reexaminando posteriormente a questão, o mesmo autor (1954), discute as várias formas de evaporação e demonstra que as perdas de água observadas ordinariamente nos evaporímetros comuns, de balança ou de Piche, não representam a evapotranspiração potencial, mostrando inexistir relação direta entre esta e expressões ligadas ao poder evaporativo do ar, como déficit de saturação.

Thornthwaite & Mather (1955) acentuam que a evapotranspiração potencial é, em última análise, a evaporação normal entre a superfície natural bem suprida de umidade e a atmosfera e que ocorre quando a folhagem vegetal se mantém turgesciente e quando o processo evaporativo se encontra condicionado apenas por fatores climáticos, não sofrendo restrições de deficiências de umidade no solo ou da cobertura vegetal. Desde que haja interferência do fator umidade no solo, quer restringindo, quer intensificando a evapotranspiração, esta deixará de ser potencial.



**Figura 2.** – Baterias de evapotranspirômetros de Thornthwaite. Modificado. instaladas em Campinas, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo. **A** – Caixas de 'Eternit' utilizadas como vasos. **B** – Aspecto dos vasos vegetados e em funcionamento normal. **C** – Esquema do evapotranspirômetro.

Entre as conclusões da reunião sobre física na agricultura, realizada em Wageningen, Holanda, em setembro de 1955 (Physics on Agriculture, 1956), a evapotranspiração ou transpiração potencial foi definida como sendo a evaporação verificada em um extenso terreno com vegetação verde, baixa, em pleno desenvolvimento, sombreando inteiramente o solo, mantendo-se com altura uniforme, e não sofrendo deficiência de umidade.

King, Tanner & Suomi (1956) acentuam que, para determinar satisfatoriamente a evapotranspiração por meio de lisímetros, é indispensável que sua superfície se apresente indistinguível da área circundante, igualmente vegetada e que tenha as mesmas características microclimáticas. Só assim os dados obtidos poderão ser representativos da evapotranspiração potencial.

Os dados fornecidos pelo evaporímetro de Piche, normalmente montados em abrigos meteorológicos, não exprimem a evaporação de superfície natural ou a evapotranspiração potencial. Indican, como mostram Prescott & Stirk (1951) antes, a capacidade evaporativa do ar, elemento que está diretamente relacionado ao déficit de saturação do bulbo úmido ( $e_w - e_d$ ), seja a diferença entre a pressão de saturação do vapor à temperatura do termômetro de bulbo úmido ( $e_w$ ) e a pressão de saturação do vapor à temperatura do ponto de orvalho ( $e_d$ ). Como o déficit de saturação do bulbo úmido está estreitamente ligado ao déficit de saturação do ar ( $e_a - e_d$ ), onde  $e_a$  é a pressão de saturação do vapor à temperatura do ar, pode-se aceitar que a evaporação à sombra pelo evaporímetro de Piche, ou a capacidade evaporativa do ar, é um elemento meteorológico associado à expressão ( $e_a - e_d$ ).

A evapotranspiração, ou evaporação de superfícies naturais, livremente expostas, está, todavia, muito mais associada à expressão ( $e_g - e_d$ ), cujo termo  $e_g$  é a pressão de saturação do vapor à temperatura da superfície evaporante livremente exposta (Penman, 1956). Estando a superfície evaporante livre, exposta à radiação solar, sua temperatura e conseqüentemente o termo  $e_g$ , ficam em dependência muito mais acentuada do balanço das radiações térmicas, absorvidas e emitidas pela superfície, do que da energia advectiva fornecida pelo ar ambiente, como é o caso da capacidade evaporativa do ar. Quando o ar está saturado de umidade, com o valor da expressão ( $e_a - e_d$ ) igual a zero, a capacidade evaporativa do ar também se anula. O mesmo, todavia, não ocorre com a evaporação natural ou evapotranspiração, desde que haja insolação, pois a energia incidente fará elevar a temperatu-

*Alonso*

ra da superfície evaporante e, conseqüentemente, o valor da expressão ( $e_s - e_d$ ), que condiciona a perda de água.

Quando um pequeno canteiro sem deficiência de umidade no solo estiver circunscrito por extenso terreno sêco, a evaporação e a transpiração vegetal naquela área úmida, espécie de oásis, poderão se elevar muito acima da taxa potencial. Isso porque a energia da radiação solar incidente na área sêca circundante, sendo utilizada em maior escala para aquecer e aumentar a capacidade evaporativa do ar ambiente, fará elevar a evapotranspiração na pequena área úmida, que dispõe de água para evaporar. Essa evapotranspiração assim anormalmente elevada, ficará condicionada, ao mesmo tempo, pela energia líquida, resultante do balanço do calor na superfície evaporante e pela energia advectiva, trazida pelo ar em movimento, das áreas adjacentes aquecidas. A esta evapotranspiração, que poderá se mostrar excepcionalmente elevada em condições de deserto, Penman (1956) denominou evaporação de oásis ou de meio-deserto. Os evaporímetros com a superfície evaporante expostas ao ar livre indicam essa forma de evaporação, que é muito diferente da potencial. Para se ter a evaporação ou evapotranspiração potencial, o requisito fundamental é manter a superfície evaporante fazendo parte integrante da área circundante e igualmente bem suprida de umidade.

Os dados de evaporação comumente obtidos em tanques de superfície livre (Evaporation pans), nem sempre indicam a evapotranspiração potencial, mas sim, frequentemente, uma combinação desta com a evaporação de oásis. Köhler (1954) mostra que êles variam consideravelmente, não apenas segundo o tipo, dimensão, profundidade, exposição do tanque, mas, especialmente, segundo as variações dos fatores aerodinâmicos e dos ligados às trocas energéticas entre a água do tanque e a atmosfera.

Mather (1954a) chama atenção para o fato de que tendo os tanques de superfície livre de água extensão muito limitada, a evaporação torna-se, muitas vezes, função da sua área. Acentua que êsse efeito varia com a aridez da região e que os tanques de superfície livre não são, necessariamente, maus indicadores da evaporação, mas que assim se tornam, quando expostos incorretamente. De modo geral, quanto mais sêca fôr a estação do ano, ou a região, maiores serão os erros da má exposição dos tanques e o aumento da evapotranspiração medida.

Dados obtidos por Pruitt (1960), no verão de 1955, em Washin



gton, E.U.A., com evaporímetros de tanque, acusaram variações de até 68% na evaporação, devidas unicamente às diferenças de exposição e dimensões da superfície de água livre dos instrumentos. Enquanto num tanque de 180 cm de diâmetro, enterrado ao nível do solo e situado no centro de terreno vegetado e irrigado obteve-se uma evaporação índice igual a 1, em outro tanque do tipo padrão (USWB Class A pan), de 120 cm de diâmetro, tendo o bordo a 40 cm de altura, a evaporação índice subiu a 1,36, ou seja 36% a mais. Entre dois tanques de 60 cm de diâmetro, ambos instalados ao nível do solo, um deles porém, situado no centro de terreno vegetado e irrigado, de 12 x 30 m, onde a vegetação transpirava normalmente, e outro situado 180 m adiante, em terreno nu, sem irrigação alguma, portanto sofrendo acentuado efeito de oásis, as evaporações índices variam de 1,13, no primeiro caso, para 1,45, no segundo. Houve, assim, um aumento de cerca de 28%, devido, unicamente, à energia advectiva suplementar disponível na superfície do tanque no segundo caso.

Com os lisímetros vegetados, como se empregam nos evapotranspirômetros de Thornthwaite (Mather, 1951), esses efeitos de exposição são substancialmente reduzidos, podendo-se obter satisfatoriamente, a evapotranspiração potencial, desde que se exponham corretamente os vasos vegetados, cercand-os com suficiente área tampão de idêntica cobertura vegetal.

Em períodos secos, a evapotranspiração poderá ser consideravelmente restringida por falta de umidade no solo. Nesses casos, a atmosfera, recebendo menor quantidade de água do solo (redução de termo  $e_d$ , da expressão  $(e_a - e_d)$  e, ao mesmo tempo, aquecendo-se mais intensamente pela maior proporção da radiação solar transformada em calor sensível (aumento do termo  $e_a$ ), terá o seu déficit de saturação e a sua capacidade evaporativa consideravelmente aumentados. Assim, o déficit de saturação poderá constituir um índice reverso da evapotranspiração (Deacon, Priestly & Swinbank, 1958), pois, exatamente quando baixa a evapotranspiração, por deficiência de umidade no solo, aumenta o déficit de saturação do ar.

A evapotranspiração, ou evaporação natural restringida, que ocorre em determinado período, em consequência de deficiência de umidade no solo, é chamada real ou atual. Sua determinação lisimétrica também é possível, mas tornam-se necessárias instalações dispendiosas e de grandes dimensões sobre balança, como os empregados em Coshocton, E.U.A. (Harold & Dreibelbis, 1951) ou os do tipo flutuante propostos por King, Tanner & Suomi (1956).

As diferentes formas de evaporação têm suas aplicações. Mas, é a evapotranspiração potencial que indica, quantitativamente, ou em forma absoluta, a perda real de água para a atmosfera, que se verifica por evaporação e transpiração vegetal em um terreno cultivado, onde não falte nunca umidade no solo. É a evapotranspiração potencial que pode ser cotejada com a precipitação pluvial para fazer o balanço hídrico contábil e determinar, climatologicamente, as disponibilidades de umidade no solo, as necessidades de água <sup>para</sup> irrigação e as possibilidades climáticas da introdução e cultivo de plantas exóticas em uma região (Camargo, 1959).

### 3 - MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 - Medição da evapotranspiração potencial

Para a medição da evapotranspiração potencial empregou-se o evapotranspirômetro de Thornthwaite, do tipo simplificado em Ibadan, Nigéria (Mather, 1951). Como mostram as fotografias e o esquema da figura 2, são instalações constituídas de lisímetros enterrados de forma a ficar a superfície vegetada ao mesmo nível da do terreno circundante, e com dispositivos para permitir o recolhimento da água percolada em recipientes apropriados para a sua medição.

A diferença entre a quantidade de água recebida pelo vaso, por precipitação pluvial mais irrigações suplementares, e a quantidade de água perdida, por percolação, corresponde à evapotranspiração potencial do período.

Quando as precipitações não se mostram suficientes para causar percolações, são feitas irrigações periódicas, pela superfície, em quantidades apenas suficientes para provocar pequena percolação.

Tanto os lisímetros como o terreno circundante foram vegetados com grama batatais (Paspalum notatum Flüge). Esta grama já vem sendo usada com sucesso em regiões sub-tropicais, inclusive na Flórida, E.U.A. (McCloud & Dunavin, 1954). Em geral, ela atende aos requisitos necessários para proporcionar cobertura vegetal satisfatória nos evapotranspirômetros: cobre bem e uniformemente o terreno; mantém-se verde e turgesciente o ano todo; desde que haja umidade disponível no solo, não é dominada facilmente por plantas invasoras; vegeta bem tanto em solo continuamente úmido, como dos tanques dos evapotranspirômetros, e ainda em solo sujeito a alguma deficiência de água como aquêle do

*[Handwritten signature]*

terreno circundante aos vasos; sua vegetação é rústica e presta-se muito bem à prática da poda para manutenção do gramado em altura conveniente.

Em relação às instalações de Ibadan, fêz-se uma pequena modificação. Em vez dos tambores de metal, de 0,25 m<sup>2</sup>, considerados muito pequenos e incapazes de resistir à ação do tempo, foram utilizadas, para montagem dos lisímetros, caixas retangulares de cimento-amianto, com área de 0,54 m<sup>2</sup> de boca e 0,60 m de profundidade, de modelo padrão encontrado no mercado. Para se ter indicação de reprodutividade, ou precisão dos dados, os evapotranspirômetros foram instalados em baterias de três evapotranspirômetros ou lisímetros praticamente iguais.

Visando obter a evapotranspiração em forma potencial, procurou-se atender aos seguintes requisitos: a) manter o solo adjacente aos lisímetros, cêrca de dez metros de cada lado, com umidade suficiente para conservar o gramado bem turgescente, visando prover área-tampão (buffer area); b) conservar a vegetação cobrindo uniformemente tôda a superfície interna e externamente aos lisímetros, para que êstes constituam amostra bem representativa e com as mesmas características microclimáticas do terreno circundante.

As baterias de evapotranspirômetros foram montadas em três das estações experimentais do Instituto Agrônômico, situadas tôdas no planalto paulista, em região com a classificação climática Cwa de Koeppen (Setzer, 1946), caracterizada por apresentar inverno sêco e verão úmido. A primeira bateria foi instalada em Pindamonhangaba, no Vale do Paraíba, em 1953, e as outras duas em Ribeirão Prêto e Campinas, em 1954 e 1955, respectivamente. Tôdas ficaram ao lado dos respectivos observatórios meteorológicos.

Quadro 1. - Dados geográficos e climáticos referentes às localidades em que foram instaladas as baterias de evapotranspirômetros.

Discriminação	Localidades		
	Pindamonhangaba	Ribeirão Prêto	Campinas
Latitude .....	22°-58' S	21°-11' S	22°-54' S
Longitude .....	45°-25' W	47°-48' W	47°-04' W
Altitude .....	570 m	620 m	670 m
Precipitação anual média .....	1.300 mm*	1.370 mm	1.280 mm
Temperatura média anual, (máx+mín)/2, para o período de 1950 a 1959.	21,4°C	22,5°C	21,4°C
Idem, para o período de observações	21,1°C	22,3°C	21,6°C

\*Dados de Taubaté, localidade situada a 15 km de Pindamonhangaba.

O quadro 1 indica as características geográficas e climáticas das localidades em que se instalaram as baterias de evapotranspirômetros.

### 3.1.1 - Montagem e operação dos evapotranspirômetros

Encheram-se os tanques dos evapotranspirômetros com a mesma terra retirada das covas em que foram enterrados, colocando-se aquela dos primeiros 20 cm, separada da do subsolo. Antes, porém, foi bem peneirada, para homogenização, retirando-se pedras, raízes, e outros corpos estranhos. Assim, os três tanques de cada bateria ficaram cheios do mesmo material, não havendo diferenças entre eles, relativamente ao fator solo. Em evapotranspirômetros não é necessário usar solos de estrutura natural, pois o elemento a ser medido é meteorológico e independente das propriedades do solo. Êste, nos lisímetros, tem apenas a função de sustentar e possibilitar o desenvolvimento normal da cobertura vegetal, cuja evapotranspiração potencial vai ser medida. Em solos de estrutura natural a presença de pedras, raízes, galerias, camadas adensadas e outras irregularidades poderão afetar a drenagem e o desenvolvimento das plantas, de modo incontrolado, modificando os resultados por fatores não climáticos.

No fundo de cada tanque, para facilitar a drenagem, colocou-se uma camada de pedra britada fina, de cerca de 8 cm de espessura, cobrindo-se esta com pequena camada de areia grossa. No caso dos evapotranspirômetros de Pindamonhangaba, onde o solo, de formação terciária, é argiloso e pouco permeável (Paiva Netto et al, 1951), adicionou-se turfa na proporção de uma parte para seis partes de terra, para amentar a permeabilidade. A análise mecânico-física da mistura de terra e turfa dos tanques de Pindamonhangaba, efetuada pela Seção de Agrogeologia do Instituto Agrônomo, apresentou o seguinte resultado: argila = 28,3%; limo = 43,1%; areia grossa = 28,7%; umidade de murchamento = 12,2%; umidade equivalente = 18,1%; capacidade de campo = 31,3%.

Nos casos dos evapotranspirômetros de Ribeirão Preto e de Campinas, respectivamente em região de "terra-roxa-legítima" e de "terra-roxa-misturada", ambas com elevada permeabilidade (Paiva Netto et al, 1951), foram colocados nos tanques os mesmos solos retirados dos locais, sem acréscimo de qualquer material estranho.

As baterias de evapotranspirômetros de Pindamonhangaba, de Ribeirão Preto e de Campinas foram instaladas, respectivamente, em mea

dos dos anos de 1953, 1954 e 1955. Os dados dos primeiros seis meses de operação ficaram, todavia, desprezados pelo fato de o gramado não cobrir inteiramente a superfície interna e externa dos vasos e por não se achar ainda o solo do tanque bem estabilizado. Assim, só a partir do mês de janeiro dos anos seguintes, quando entraram em regime normal de funcionamento, os dados foram aproveitados.

Fizeram-se as irrigações pela superfície. Nos primeiros meses em grande quantidade e diariamente, o que provocou excessiva umidade e demasiada lixiviação no solo dos tanques. Esse fato prejudicou o desenvolvimento da grama nos vasos, pela deficiência de aeração e arrastamento do nitrogênio do solo. Para contornar a dificuldade espaçaram-se mais as irrigações, fazendo-as somente no dia seguinte ao da última percolação e em quantidade mínima, apenas suficiente para provocar pequena drenagem.

Regando-se com quantidades mínimas, em dias alternados, e apenas quando não havia água percolada a recolher, a umidade no solo foi mantida próxima à capacidade de campo e em condições de manter a turgescência e proporcionar vegetação normal do gramado. Tensiômetros instalados a diferentes profundidades no solo dos vasos, indicavam tensões constantemente baixas, variáveis entre 30 e 50 milímetros de mercúrio.

Para operação e manuseio dos evapotranspirômetros, foram adotadas as seguintes normas:

1. Manter a grama interna e externa dos vasos com a mesma densidade e porte, por meio de podas, replantas, acréscimo de terriço, de adubação etc. Sempre que a vegetação do tanque der sinal de amarelecimento, pela deficiência de nitrogênio, aplicar, em cobertura, cerca de 30 gramas de sulfato de amônio, ou outro adubo nitrogenado solúvel, em cada tanque.
2. Efetuar as coletas e mensurações da água percolada, bem como as regas dos tanques, durante a manhã, logo depois da observação meteorológica das 7 horas.
3. Adotar uma "base de rega" uniforme, para os três tanques da bateria. Essa base não será alterada enquanto proporcionar em todos os tanques pequeno percolado, de menos de um litro no dia seguinte à rega.
4. Quando necessário, alterar a "base de rega", a intervalos invariáveis de um litro, aumentando-a quando insuficiente e reduzindo-a quando excessiva.
5. Havendo percolação durante dois ou mais dias seguidos, em período sem chuvas, é sinal de que a "base de rega" está muito elevada. Deve então ser reduzida de um litro em cada irrigação subsequente, até que se obtenha apenas uma pequena percolação, inferior a um litro por tanque. Por outro lado, se não houver percolado algum em um ou mais tanques,

no dia posterior ao da rega, é sinal de que a "base de rega" está baixa, devendo ser aumentada de um litro, de cada vez, até a obtenção da percolação desejada. Normalmente, as regas e os recolhimentos dos percolados são feitos em dias alternados, a não ser por ocasião de chuvas abundantes, quando o percolado poderá ser recolhido e pesado diariamente e até mesmo várias vezes por dia.

6. Durante os períodos secos, irrigar o gramado da área circundante aos vasos dos evapotranspirômetros, na maior extensão possível e a intervalos aproximados de uma semana, com água suficiente para manter a vegetação verde, turgescente, visando prover a necessária área-tampão.

### 3.1.2 - Preparo dos dados

As irrigações aplicadas e as percolações recolhidas em cada tanque da bateria, bem como as precipitações pluviiais, são lançadas em quadros especiais, para dez dias. Com os totais de cada decêndio, expressos originalmente em litros por tanque, e depois transformados em milímetros, é determinada a evapotranspiração potencial para dez dias, segundo a expressão:

$$e = I + P - D$$

onde  $e$  é a evapotranspiração potencial,  $I$  a irrigação,  $P$  a precipitação e  $D$  a drenagem, ou o percolado recolhido.

Com os dados decendiais da evapotranspiração potencial assim obtidos, determinaram-se os valores mensais, individualmente, para tanque das baterias, os quais estão representados na figura 4a.

### 3.2 - Cálculo da evapotranspiração potencial

Apesar de bastante viável, a determinação da evapotranspiração potencial por meio dos evapotranspirômetros se mostra aplicável apenas em observatórios meteorológicos especializados ou estações experimentais aparelhadas para o trabalho. Por essa razão procura-se determinar esse valor a partir de elementos meteorológicos padrões, de mais fácil medição e regulamente observados em estações meteorológicas comuns. Estimando-se a evapotranspiração a partir desses elementos, torna-se possível a reconstituição do balanço hídrico e o levantamento das disponibilidades de água no solo, relativos a períodos anteriores.

São conhecidos, hoje, vários métodos baseados em diferentes

princípios, para cálculo da evapotranspiração potencial partindo de elementos meteorológicos comuns. Neste trabalho são empregados e estudados os métodos de Thornthwaite (1948), de Penman (1948) segundo nomograma de Bavel (1956), de Blaney & Griddle (1950) e uma modificação deste último adaptada às condições locais.

Método de Thornthwaite - É baseado em equação empírica, derivada da correlação de dados da evapotranspiração, medida em evapotranspirômetros e em bacias hidrográficas, com dados da temperatura média diária e do comprimento do dia Thornthwaite (1948). A equação básica para um mês de 30 dias é:

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

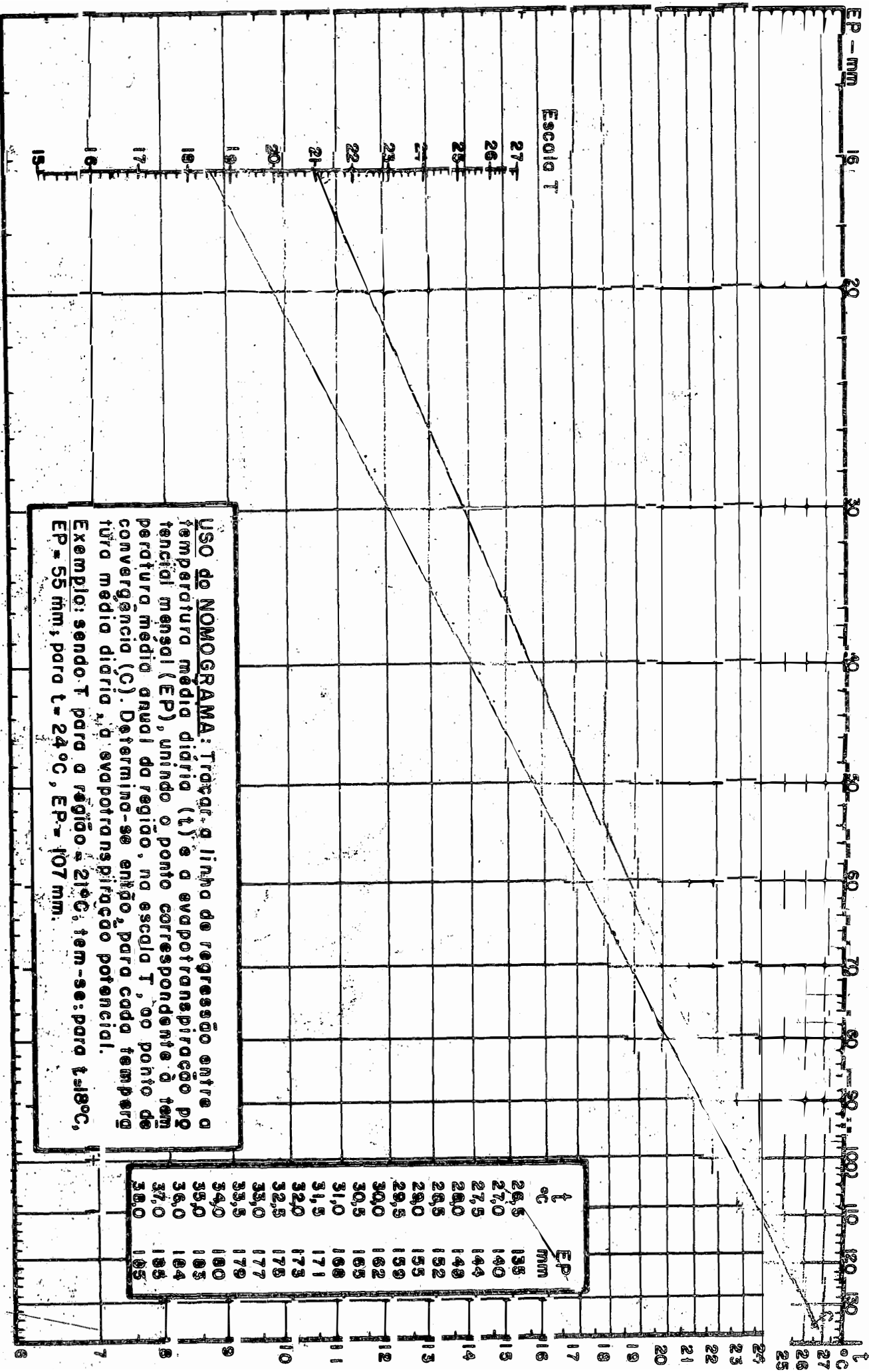
onde  $e$  é a evapotranspiração não ajustada, em cm;  $t$ , a temperatura média do mês, em °C;  $I$ , um índice de calor correspondente à soma de 12 índices mensais;  $i$ , dados pela expressão,  $i = (t/5)^{1,514}$ ; e  $a$ , uma função cúbica de  $I$ . Para se obter a evapotranspiração potencial mensal, o valor  $e$  é ajustado tendo em conta o comprimento do dia e o número de dias do mês.

A equação de Thornthwaite é complexa, mas pode ser facilmente aplicada com auxílio de nomogramas (figura 3) e tabelas especiais (quadro 2), que tornam as determinações bastante simples e rápidas.

Para facilitar ainda mais o cômputo da evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite, Camargo (1960), baseado em trabalho de Palmer & Havens (1958), substituiu, no nomograma, o índice  $I$  por um índice  $T$  correspondente diretamente à temperatura média anual da região, em graus centígrados. Os citados autores verificaram haver estreita correlação entre os índices  $I$  e a temperatura média para diferentes regiões. A figura 3 traz o nomograma, referido, para determinação da evapotranspiração potencial mensal para um mês indeterminado, de trinta dias, baseado na temperatura média do mês, em causa e na temperatura média anual normal da região. No quadro 6 são encontrados os fatores de correção ( $F$ ), para ajustar a evapotranspiração mensal ao comprimento do dia e ao número de dias do mês, nos doze meses do ano para as latitudes de hemisfério sul. O produto da multiplicação do valor da evapotranspiração mensal não ajustada, obtida no nomograma pelo fator de correção ( $F$ ), correspondente à latitude do lugar e ao mês considerado, dará a evapotranspiração potencial mensal procurada.

Método de Penman - É uma tentativa de colocar a estimativa da evapotranspiração potencial em bases físicas, mais racionais, utili-

FIGURA 3. -- Nomograma para cálculo da evapotranspiração potencial mensal, não ajustada, pelo método de Thornthwaite, em função da temperatura média diária e da anual normal. Para temperaturas diárias elevadas usar tabela especial.



**USO do NOMOGRAMA:** Traçar a linha de regressão entre a temperatura média diária (t) e a evapotranspiração potencial mensal (EP), unindo o ponto correspondente à temperatura média anual da região, na escala T, ao ponto de convergência (C). Determina-se então, para cada temperatura média diária, a evapotranspiração potencial.

Exemplo: sendo T para a região = 21°C, tem-se: para t = 18°C, EP = 55 mm, para t = 24°C, EP = 107 mm.



zando-se de dados meteorológicos colhidos em estações convencionais. São duas as equações empregadas (Penman 1948). A primeira, que estima o poder secativo do ar; é a seguinte:

$$E_a = 0,35 (e_a - e_d)(1 + 0,01 u) \text{ mm/dias}$$

onde  $E_a$  = uma quantidade auxiliar;  $e_a$  = pressão de saturação do vapor à temperatura média do ar, em mm Hg;  $e_d$  = pressão de saturação do vapor à temperatura média do ponto de orvalho;  $u$  = velocidade do vento, em milhas por dia. A segunda equação é uma determinação da energia disponível para evaporação e aquecimento,  $H$ , que é:

$$H = 0,95 R_A (0,18 + 0,55 n/N) - (\sigma T_a^4 (0,56 - 0,99 \sqrt{e_d})(0,10 + 0,90 n/N))$$

onde  $R_A$  = intensidade da radiação junto à superfície na ausência da atmosfera, em mm;  $n/N$  = duração relativa do brilho solar;  $\sigma T_a^4$  = radiação teoricamente emitida pela superfície na ausência da atmosfera;  $T_a$  = temperatura média do ar;  $\sigma$  = constante de Stefan.

A energia disponível,  $H$  é distribuída entre a evaporação e o aquecimento do ar, sendo a parte referente à primeira, determinada pela combinação das citadas equações, dando:

$$E_o = (0,27 E_a + \Delta H) / (0,27 + \Delta) \text{ mm/dia}$$

onde  $\Delta$  = inclinação da curva da pressão do vapor à temperatura média do ar (mm Hg/°F). Este valor de  $E_o$ , é para uma superfície livre de água. Para se obter a transpiração potencial ( $E_t$ ), correspondente à perda de água em uma superfície úmida vegetada, usam-se fatores de conversão apropriados.

Sendo a fórmula de Penman bastante complexa e trabalhosa, dependendo ainda de elementos meteorológicos menos frequentemente observados, Bavel (1956) propôs uma simplificação do método, preparando um nomograma simples para a determinação direta da evapotranspiração diária  $E_t$ , partindo apenas da radiação solar recebida, no tópo da atmosfera, expressa em milímetros de evaporação equivalente, da insolação relativa, seja da relação entre o número de horas de insolação, obtida em heliógrafo "Campbell-Stokes", e o número máximo de horas de insolação possíveis, e da temperatura média do ar. Este método simplificado, que apresenta, segundo seu autor, estreita correlação e dados muito próximos dos obtidos pelas fórmulas completas de Penman, foi empregado nes-

*Blaney*

te trabalho para comparação com dados medidos nos evapotranspirômetros.

A figura 4 traz o nomograma de Penman-Bavel, já adaptado para utilizar as unidades do sistema métrico decimal e a escala termométrica centígrada. Para obtenção da radiação solar diária no tampo da atmosfera, expressa em milímetros de evaporação equivalente, também foi elaborada uma tabela, apresentada no quadro 3, com dados correspondentes às latitudes encontradas no território brasileiro. O número máximo de horas diárias de insolação possível para os vários meses do ano, e diferentes latitudes do território brasileiro, são encontrados no quadro 4.

Método de Blaney & Criddle - Este método, como o de Thornthwaite, utiliza a temperatura média mensal e um fator ligado ao comprimento do dia. Os dados são obtidos em base mensal pela fórmula:

$$u = \frac{t \times p}{100} k$$

sendo:

u = uso consuntivo mensal, em polegadas,

t = temperatura média mensal, em °F,

p = porcentagem de horas diurnas do mês, sobre o total de horas diurnas do ano,

k = coeficiente empírico mensal, dependendo da cultura, do mês e da região. Para gramados, em plena vegetação, esse coeficiente é de 0,75.

Método de Blaney & Criddle modificado - É uma adaptação da equação de Blaney & Criddle, às condições do planalto paulista e ao uso das unidades do sistema métrico decimal e escala termométrica centígrada, proposta pelo autor desta. É a seguinte a fórmula de Blaney & Criddle, modificada:

$$e = (t - 0,5T)p$$

onde:

e = evapotranspiração potencial mensal, em mm,

t = temperatura média do mês considerado, em °C,

T = temperatura média anual normal da região, em °C,

p = porcentagem de horas diurnas do mês sobre o total de horas diurnas do ano (ver quadro 5).

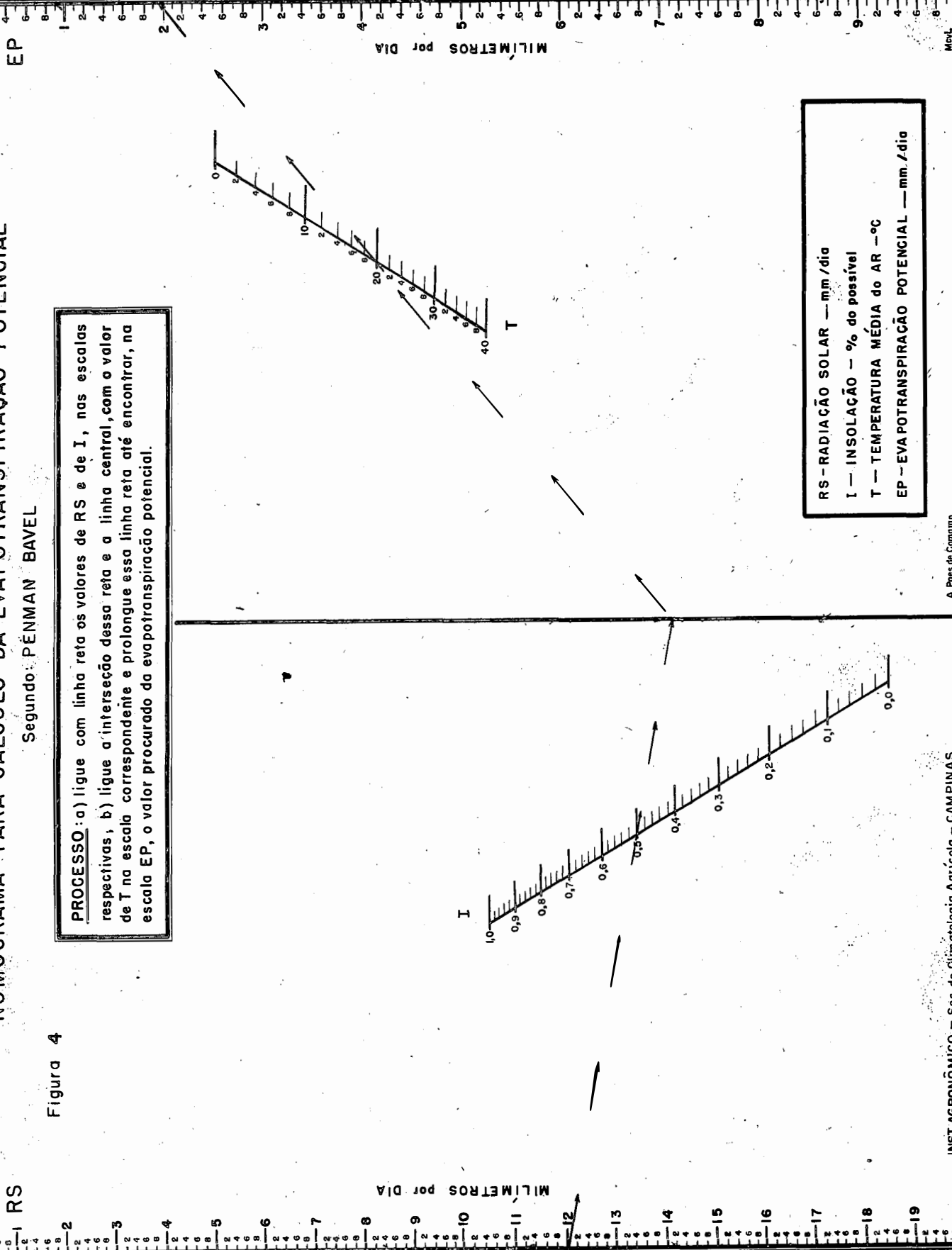
A modificação dá mais peso à temperatura média do mês e emprega, como o método de Thornthwaite, um fator de correção ligado à

# NOMOGRAMA PARA CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

Segundo PÉNMAN BAVEL

Figura 4

**PROCESSO:** a) ligue com linha reta os valores de RS e de I, nas escalas respectivas; b) ligue a interseção dessa reta e a linha central, com o valor de T na escala correspondente e prolongue essa linha reta até encontrar, na escala EP, o valor procurado da evapotranspiração potencial.



RS - RADIAÇÃO SOLAR — mm / dia  
 I — INSOLAÇÃO — % do possível  
 T — TEMPERATURA MÉDIA DO AR — °C  
 EP — EVA POTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL — mm. / dia

*W. S. ...*

temperatura média normal anual da região. Seus dados dão diretamente o uso consuntivo da água, para gramado bem provido de umidade no solo, sendo o coeficiente k sempre igual à unidade. Para se obter o uso consuntivo relativo à distintas culturas, em diferentes períodos do ano, será necessário, da mesma forma que no método original de Blaney & Criddle, utilizar os apropriados coeficientes k.

Dados utilizados nas equações - Como temperatura média diária, foram adotadas as médias entre as temperaturas máximas e mínimas. Essas médias mostram-se, em geral, mais elevadas que as compensadas, baseadas nas leituras das 7h, 14h e 21h. Por essa razão, os cálculos da evapotranspiração potencial, quando feitos pela média compensada  $(7h + 14h + 2 \times 21h)/4$ , dão geralmente valores mais baixos.

Em Pindamonhangaba e em Ribeirão Preto, os dados meteorológicos utilizados nos cálculos da evapotranspiração foram todos obtidos em estação meteorológica contígua aos evapotranspirômetros. Em Campinas, porém, não puderam ser utilizados os valores termométricos da estação meteorológica adjacente, por falha de dados. Utilizaram-se, por isso, dados da estação meteorológica da sede do Instituto Agrônomo, na cidade, situado cerca de 4 km dos evapotranspirômetros. Como os dados da temperatura média diária na cidade são, certamente, mais elevadas que no campo, pelo efeito da urbanização, é de se esperar que em Campinas estejam os valores calculados da evapotranspiração potencial, sobreestimados.

Correlação com dados medidos - Os dados, em bases mensais, fornecidos pelos diferentes métodos de cálculo, foram correlacionados com os correspondentes, medidos nos evapotranspirômetros, por meio de diagramas de pontos e através da determinação dos coeficientes de correlação e das equações de regressão, segundo método dos quadrados mínimos.

#### 4 - RESULTADOS OBTIDOS

##### 4.1 - Evapotranspiração medida

Os resultados mensais da evapotranspiração medida, em cada evapotranspirômetro, das baterias de Pindamonhangaba, de Ribeirão Preto e de Campinas, estão representados graficamente na figura 4a. Pode-se observar assim, visualmente, a baixa dispersão ou variabilidade dos dados obtidos, indicando ser alta a reprodutibilidade e a concordância entre eles. Apenas em certos casos, como de outubro de 1957 e de

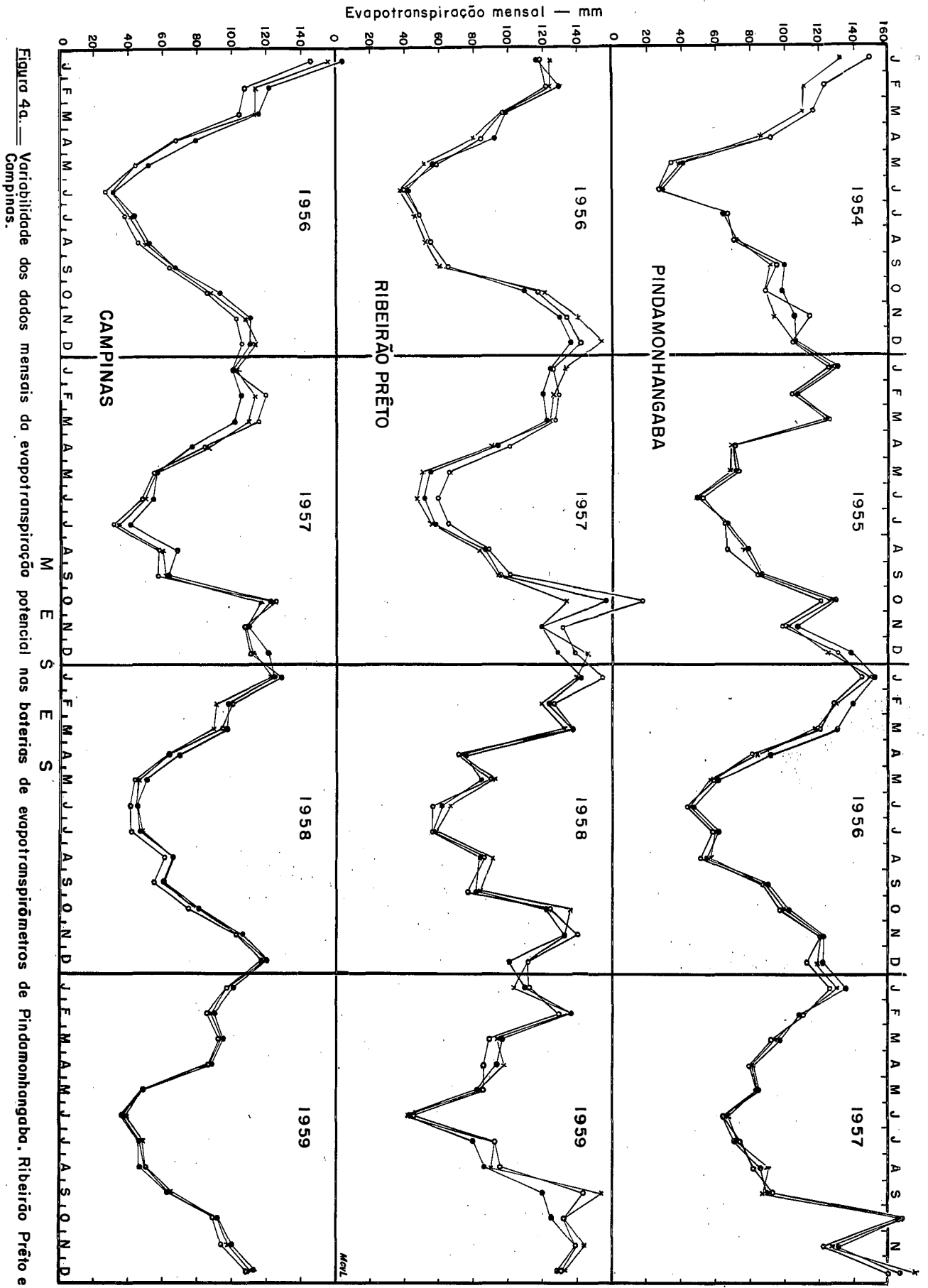


Figura 4a. — Variabilidade dos dados mensais da evapotranspiração potencial nas baterias de evapotranspirômetros de Pindamonhangaba, Ribeirão Preto e Campinas.

setembro de 1959, ambos na bateria de evapotranspirômetros de Ribeirão Preto, verificaram-se discrepâncias mais acentuadas entre os resultados dos diferentes evapotranspirômetros, fato que se pode atribuir a irregularidades e diferenciações no estado da vegetação dos vasos. No caso de outubro de 1957, em que foi maior a discrepância dos dados, o desvio padrão se elevou a 22,1 mm, correspondendo a um coeficiente de variação de 14,2%. No conjunto dos meses, porém, a variabilidade dos dados foi pequena. A mediana dos desvios padrões e dos coeficientes de variação foram, respectivamente, de 2,8 mm e 3,8% para a bateria de Pindamonhangaba, de 4,2 mm e 4,1% para a de Ribeirão Preto, e 3,2 mm e 4,1% para a de Campinas.

Como as regas e as colheitas do percolado dos evapotranspirômetros foram feitas, normalmente, em dias alternados, seus dados não permitem obter a evapotranspiração potencial diária. Mesmo para períodos de dois dias, os dados não são utilizáveis por se mostrar muito inconsistentes. Em períodos muito chuvosos, por exemplo, os dados poderão até se tornar negativos, em virtude da detenção anormalmente alta de água gravitativa no solo dos lisímetros. Após aguaceiros pesados e prolongados, grande quantidade de água gravitativa - a que se acha acima da capacidade de campo - fica temporariamente detida no vaso, sendo percolada por completo somente nos dias seguintes. Nessas condições, os dados dos evapotranspirômetros nos dias de detenção elevada podem indicar evapotranspiração maior que a verdadeira, uma vez que a umidade detida no vaso entrará no balanço como sendo água evaporada. No período seguinte, porém, a elevada percolação, resultante das chuvas anteriores, será interpretada como se fôsse umidade não evaporada e fará reduzir a evapotranspiração estimada, a qual poderá, então, se tornar negativa.

Para reduzir êsse efeito, da detenção incontrolada da umidade no solo dos lisímetros, utilizaram-se dados acumulados para períodos mais longos, de dez e de trinta dias. Os valores acumulados decendialmente, mostraram-se já bastante consistentes, como se pode verificar no diagrama da figura 6, que correlaciona valores decendiais medidos com calculados, segundo o método de Thornthwaite, para Campinas. A correlação entre êles mostrou-se bastante estreita, como indica o coeficiente de correlação ( $r$ ) que se elevou a 0,82 <sup>††</sup>. Para períodos de acumulação mais longos os dados se mostraram ainda mais consistentes. No diagrama de pontos da figura 9-A, que compara os mesmos dados acumulados mensalmente, pode-se verificar uma correlação bem mais acentuada dos dados medidos com os calculados. O respectivo coeficiente de correlação atingiu a 0,95 <sup>††</sup>.

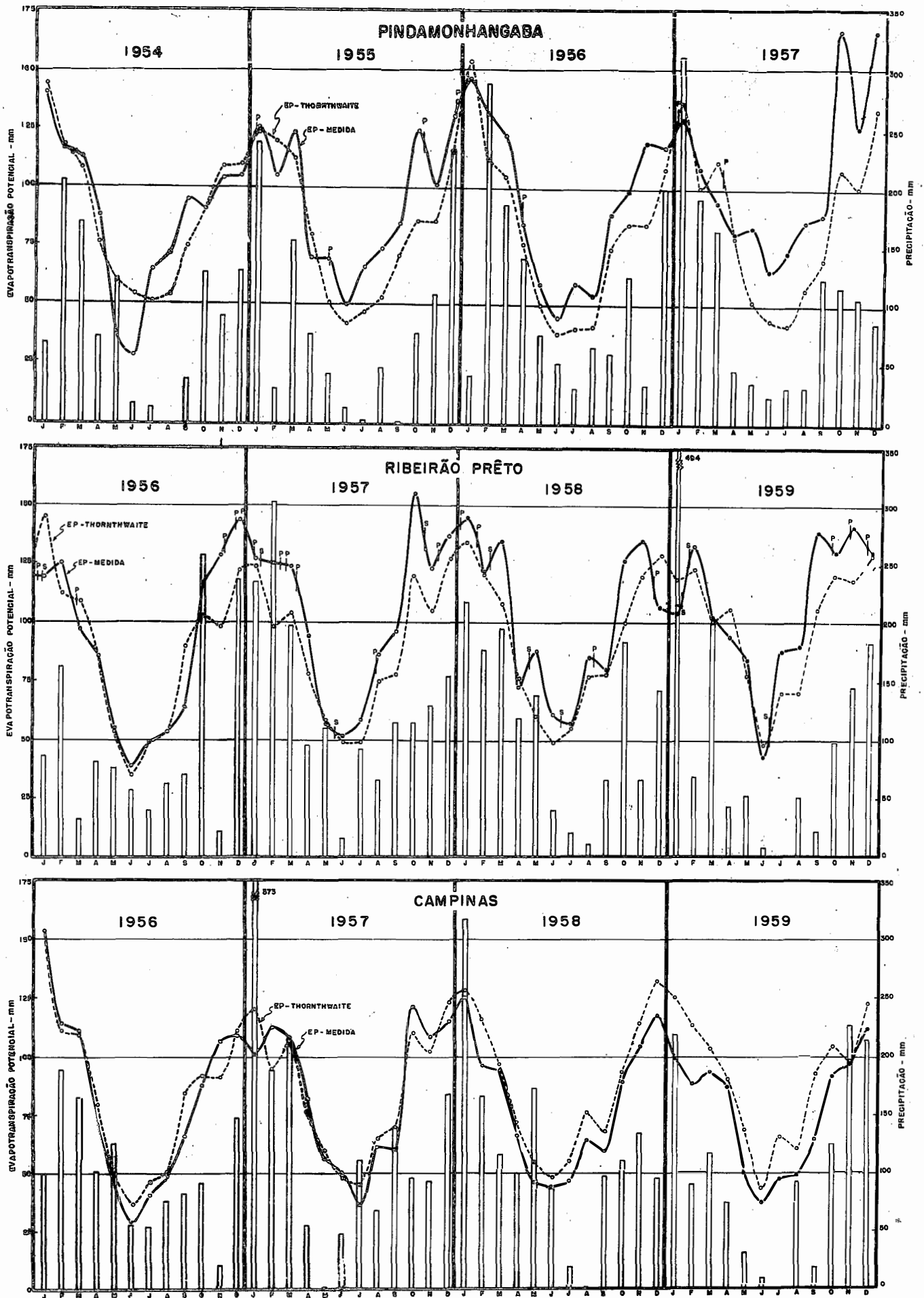
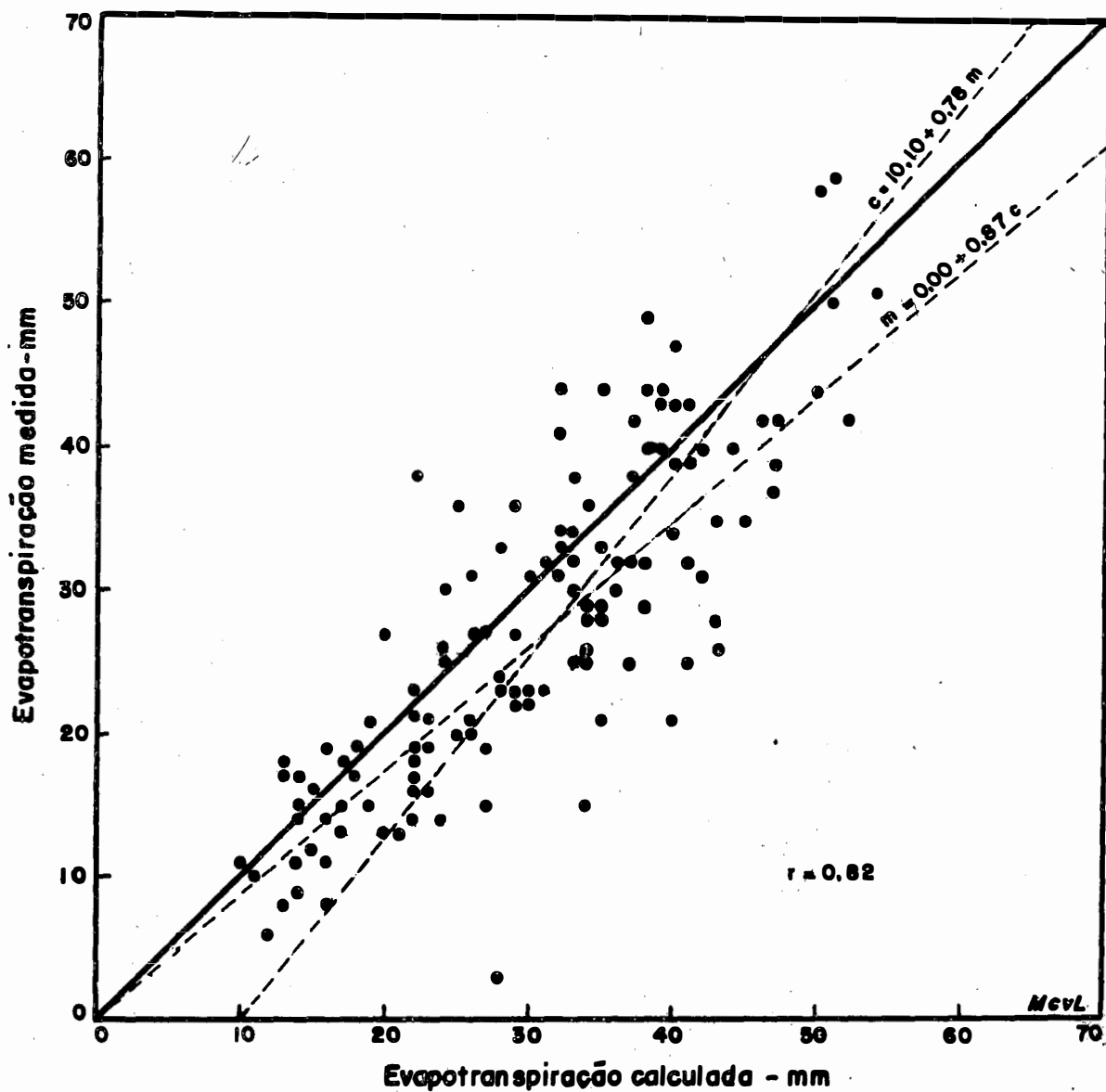


FIGURA 5. — Variação anual da Evapotranspiração Potencial mensal medida em evapotranspirômetros e calculada segundo Thornthwaite, bem como, da precipitação mensal nas localidades do planalto paulista onde foram instaladas baterias de evapotranspirômetros. Os pontos assinalados, na curva da evapotranspiração medida com a letra P, indicam poda da grama e os de letra S, aplicação de adubo nitrogenado.



**Figura 6.** — Correlação entre a Evapotranspiração Potencial medida em evapotranspirômetros e a calculada pela fórmula de Thornthwaite, para períodos de 10 dias, em Campinas, durante os anos de 1956-1959.



*Handwritten signature*

Sòmente depois de transcorridos vários meses, a partir da instalação, os evapotranspirômetros entraram em regime normal de funcionamento e apresentaram boa correlação com os dados calculados da evapotranspiração potencial. Esse período de adaptação mostrou-se necessário para se conseguir o completo desenvolvimento vegetativo tanto do gramado do vaso como da área circundante. Foi também necessário para completar o acamamento e acomodação do solo no tanque e obter-se a regularização da percolação. Por outro lado, depois de cinco ou seis anos de operação, o funcionamento dos evapotranspirômetros mostrou-se também prejudicado. O definhamento do gramado, causando irregularidade no revestimento vegetal dos tanques, e algumas vezes o afundamento dos vasos, foram a causa do defeito funcional. Na figura 5, podem ser vistos certos efeitos do estado da vegetação do gramado, dos tanques, comparando-se os dados medidos com os calculados da evapotranspiração. Nessa figura estão ilustradas, gráficamente, as marchas dos valores mensais da evapotranspiração potencial, nas três localidades durante quatro anos sucessivos após os períodos de adaptação.

No quadro 6 estão reunidos os dados mensais médios, dos tanques das diferentes baterias, referentes às quantidades de água administrada aos tanques por irrigação e precipitação, às quantidades de água percolada e às quantidades de água evapotranspirada, em milímetros.

#### 4.2 - Evapotranspiração calculada

Calculou-se a evapotranspiração potencial em bases mensais, pelos métodos de Thornthwaite, Penman-Bavel, Blaney & Criddle e de uma forma modificada dêste último. Nessas determinações foram utilizadas as tabelas e os nomogramas especiais já mencionados. Os dados obtidos e as fases principais das determinações, pelos vários métodos, estão indicados nos quadros 7, 8 e 9.

#### 4.3 - Correlação entre resultados mensais medidos e calculados

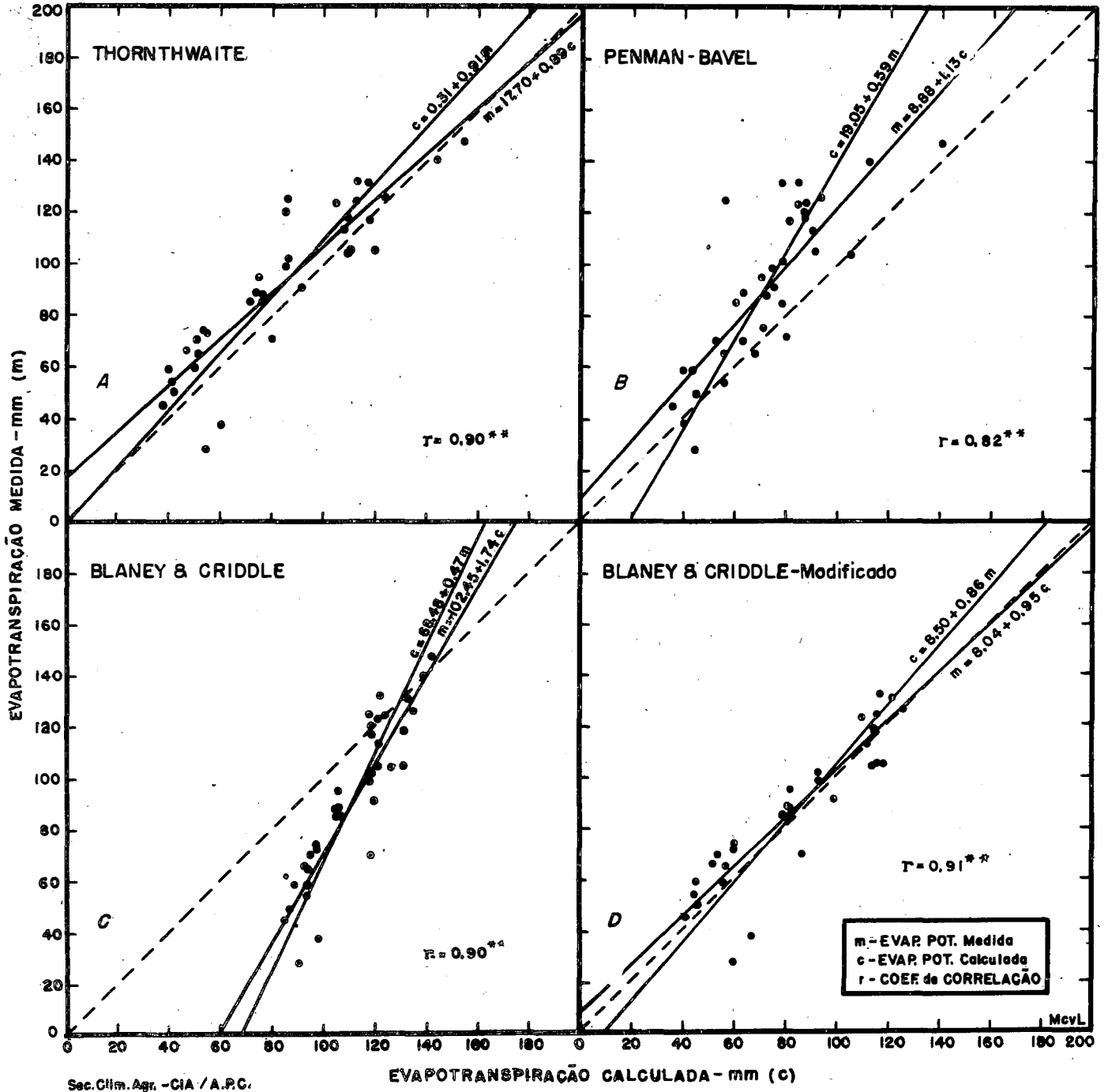
Os diagramas de dispersão contidos nas figuras 7, 8 e 9, representam os resultados mensais medidos nos evapotranspirômetros e os estimados pelo cálculo, segundo os vários métodos descritos. Com os diagramas são apresentadas as equações, as respectivas linhas de regressão e os coeficientes de correlação ( $r$ ).

Para as diversas localidades e métodos de cálculo, os coeficientes de correlação entre resultados mensais medidos e calculados, variaram entre 0,76 e 0,95 e se mostraram altamente significativos, indicando haver, em geral, correlação bastante estreita entre a evapo-

**Figura 7**

Correlação entre Evapotranspiração Potencial mensal medida em evapotranspirômetros vegetados com grama Batatais (*Paspalum notatum*), e calculada por diferentes formas.

Pindamonhangaba - Período de 1954-1956



*W. G. ...*

transpiração potencial medida e a calculada pelos vários métodos estudados. São os seguintes os coeficientes de correlação e respectivos limites de confiança, para 5% de probabilidade, para os vários casos:

<u>Método de cálculo</u>	Pindamonhangaba (N=36)		Ribeirão Preto (N=60)		Campinas (N=48)	
Thorntwaite.....	0,90	0,81 0,95	0,89	0,82 0,93	0,95	0,91 0,97
Penman-Bavel.....	0,82	0,68 0,90	0,76	0,63 0,85	0,89	0,81 0,94
Blaney & Criddle...	0,90	0,81 0,95	0,88	0,81 0,93	0,93	0,88 0,96
Blaney & Criddle modificado.....	0,91	0,83 0,95	0,90	0,84 0,94	0,94	0,80 0,97

Os resultados da equação de Penman-Bavel foram os que apresentaram menor correlação com os medidos nos evapotranspirômetros, nas três localidades. Os respectivos coeficientes de correlação obtidos, variaram de 0,76 a 0,89, ao passo que para os outros métodos de cálculos, os referidos coeficientes nunca se mostraram inferiores a 0,89.

## 5 - DISCUSSÃO

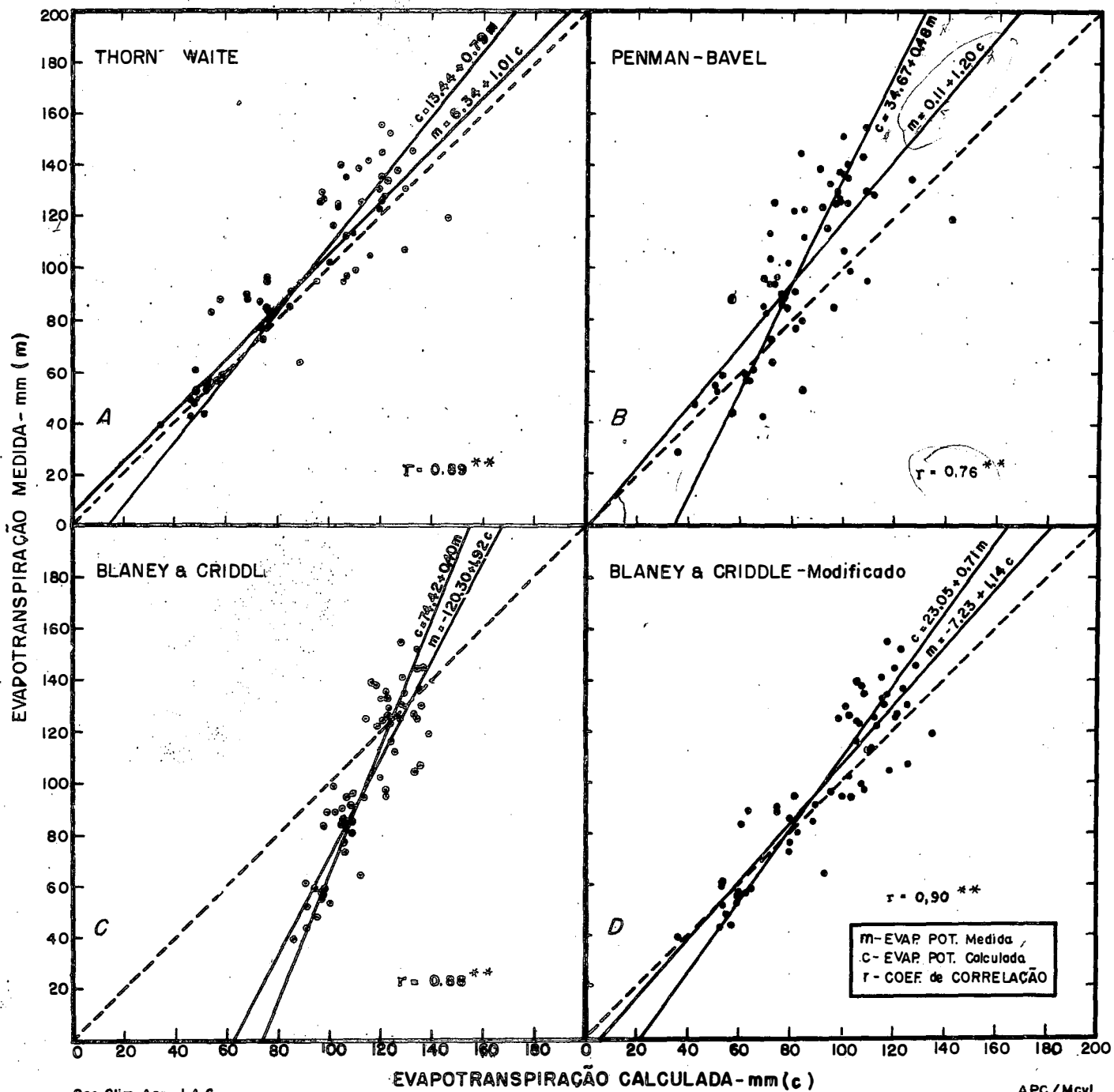
Pode-se verificar, na figura 5, que os dados da evapotranspiração potencial obtidos em base mensal, segundo método de Thorntwaite, acompanham bem de perto aqueles medidos nos evapotranspirômetros. Em geral, as discrepâncias nas curvas, entre dados medidos e calculados, se devem à irregularidade do estado da vegetação, quer no vaso, quer no terreno circundante.

Em Pindamonhangaba verificou-se que logo no início, nos meses de maio e junho de 1954 (ver figura 5), a evapotranspiração medida diminuiu consideravelmente. A causa foi o definhamento do gramado dos tanques provocado pela deficiência de aeração e de nitrogênio no solo, resultante da excessiva irrigação que vinha sendo feita. Com aplicação de nitrogênio, na forma de salitre do Chile e redução da quantidade e a frequência das irrigações, que de diárias passaram a ser de cada dois ou três dias, e em quantidade mínima, apenas o suficiente para provocar pequena percolação, a vegetação do gramado se refez e a evapotranspiração aumentou consideravelmente nos meses seguintes. Esse au-

Figura 8

CORRELAÇÃO ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL MENSAL MEDIDA EM EVAPOTRANSPIRÔMETROS, VEGETADOS COM GRAMA BATATAIS (*Paspalum notatum*), É CALCULADA POR DIFERENTES FORMAS.

Ribeirão Preto - Período de: 1955-1959



mento mostrou-se mesmo exagerado, a curva de dados medidos ultrapassando de muito a dos dados calculados no período seguinte, de julho, agosto e setembro, o que pode ser explicado por dois motivos: primeiro, pelo fato do porte do gramado interno ultrapassar bastante a do externo aos tanques, aumentando-lhe a exposição; segundo, pelo motivo de ter ocorrido um período de deficiência de chuvas e de água no solo circundante aos tanques, provocando aumento da capacidade evaporativa do ar e, conseqüentemente, também aumento da perda de água no tanque. Normalmente, esse efeito da seca deveria ser evitado com a manutenção de uma suficiente área tampão pela irrigação de extensa área do gramado circundante. Isso, todavia, não pôde ser efetuado regularmente na quantidade necessária, por falta de água para a irrigação no local.

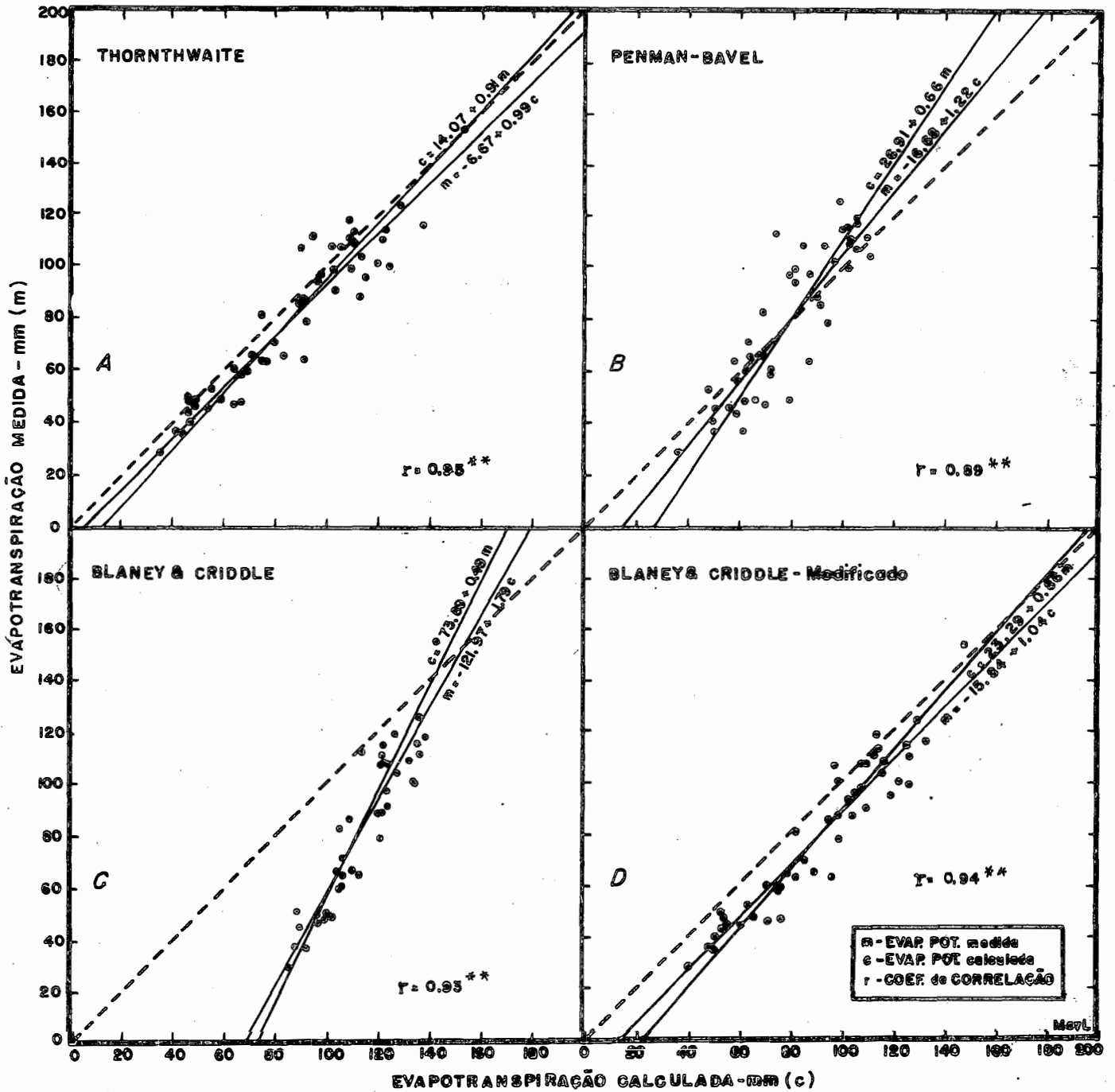
A condição de evapotranspiração subestimada, pela falta de nitrogênio e de aeração no solo dos tanques não mais ocorreu no resto do período de observações dessa bateria de Pindamonhangaba, como também nas demais. A experiência adquirida nesse primeiro ano de trabalho, em Pindamonhangaba, pôde ser aplicada com sucesso em seguida. Todavia, o controle da sobreestimação da evapotranspiração medida tornou-se mais difícil, especialmente em Pindamonhangaba, pela falta de água para irrigação do gramado circundante nos períodos de seca. Pode-se observar bem, na figura 5, que em todos os períodos de baixa precipitação, acentuou-se bastante a sobreestimativa da evapotranspiração potencial medida, nessa localidade. Já em Ribeirão Preto mostrou-se muito menor, e em Campinas praticamente nulo, o efeito da falta de chuvas. Nesta última localidade, a maior abundância de água para irrigação do gramado circundante permitiu mantê-lo em estado de turgescência numa extensão de cerca de uma dezena de metros de cada lado da bateria de evapotranspirômetros, provendo melhor efeito tampão.

No último ano de observações, em Pindamonhangaba, ou seja, em 1957, elevaram-se bastante os dados da evapotranspiração medida. Nesse caso, além da falta da área tampão, verificou-se outro efeito que contribuiu decisivamente para a sobreestimativa da evapotranspiração. Aconteceu que os tanques começaram a se afundar no solo, permitindo o transbordamento incontrolável de água da chuva de fora para dentro do tanque e vice-versa e, ainda, o que foi mais grave, o transpasse dos estolhos da grama por sobre o bordo dos vasos, fazendo com que parte da superfície do gramado externo transpirasse umidade proveniente do solo dos tanques. Isso fez aumentar consideravelmente a área de exposição do gramado dos tanques, e a evapotranspiração nos mesmos, tornando

Figura 9

Correlação entre Evapotranspiração Potencial mensal medida em evapotranspirômetros vegetados com grama Batatais (*Paspalum notatum*), e calculada por diferentes formas.

Campinas - Período de: 1956-1959



os seus resultados demasiado elevados e inconsistentes. Por essa razão, os dados de 1957 em diante foram desprezados nos estudos de correlação entre dados medidos e calculados.

Em Ribeirão Preto as discrepâncias foram menores. Mas também pode-se notar que as irregularidades da curva da evapotranspiração medida, em muitos pontos, está ligada ao porte mais alto da grama dos vasos e, em certos casos, à deficiência de umidade no gramado circundante aos evapotranspirômetros, como ocorreu nos meses de julho a setembro de 1959. Ver curvas correspondentes a Ribeirão Preto na figura 5.

A melhor concordância entre as curvas de resultados medidos e calculados verificou-se em Campinas. Isso pôde, em parte, ser atribuído ao fato de os evapotranspirômetros instalados nessa localidade terem sido operados com maior cuidado e perfeição.

Os resultados obtidos nos evapotranspirômetros mostraram a importância de se manter, o mais constante possível, a exposição correta, da superfície vegetada dos tanques dos evapotranspirômetros, para que se possam obter dados satisfatórios. Mostram ainda que, embora não seja fácil mantê-la em condições ideais, é possível obter resultados consistentes e representativos da evapotranspiração potencial com o uso de evapotranspirômetros, desde que instalados com os requisitos necessários, dando correta exposição aos lisímetros.

Com respeito à concordância ou à regressão, entre a evapotranspiração calculada e a medida, observaram-se diferenças bem acentuadas entre os resultados dos diversos métodos de cálculo. Os diagramas de pontos mostram que, tanto para Pindamonhangaba (fig. 7), como Ribeirão Preto (fig. 8), ou Campinas (fig. 9), os valores obtidos com o método de Thornthwaite e de Blaney & Criddle modificado, apresentaram maior exatidão pela maior aproximação aos medidos nos evapotranspirômetros. As linhas de regressão, sobretudo as representativas das equações de regressão em que a variável independente foi a evapotranspiração calculada, estão praticamente paralelas e mais próximas das respectivas linhas de valores iguais. Os coeficientes do termo A, das equações de regressão, foram os mais baixos e os do termo B os que mais se aproximaram da unidade.

No caso dos valores calculados pelos métodos de Penman-Bavel e de Blaney & Criddle, houve, em geral, sobreestimativa no período hibernal e subestimativa no período estival. O método de Penman-Bavel, foi o que mais subestimou a evapotranspiração na estação quente, ao passo que o método de Blaney & Criddle, a que mais sobreestimou, e acentuadamente mesmo, nos meses do inverno. As figuras 7, 8 e

9 mostram, claramente, esse comportamento dos métodos de Penman-Bavel e de Blaney & Criddle, com relação aos dados medidos nos evapotranspirômetros.

A acentuada discordância dos dados calculados pelo método de Blaney & Criddle com os medidos, nas condições climáticas do planalto paulista, sobreestimando exageradamente a evapotranspiração potencial, nos meses de maio, junho, julho e agosto, se justifica pelo fato de ter sido a equação de Blaney & Criddle derivada para as condições climáticas da Califórnia, onde o inverno é úmido e o verão seco, situação exatamente oposta à do planalto paulista. Com a equação de Blaney & Criddle modificada, os resultados mostram-se porém bem mais exatos, apresentando estreita concordância com os medidos pelos evapotranspirômetros.

Embora a equação de Thornthwaite seja mais universal, servindo para uso mais generalizado, pode-se utilizar, também, para as condições do planalto paulista, a forma modificada da equação de Blaney & Criddle, a qual tem a vantagem de ser mais simples e de dispensar o uso de nomogramas.

Mostraram-se muito consistentes e concordantes os resultados das determinações em três localidades: Pindamonhangaba, no Vale do Rio Paraíba, Ribeirão Preto, no norte do Estado e Campinas, no centro-sul do Estado como se pode verificar examinando as figuras 7, 8 e 9.

É verdade que essas três localidades têm condições climáticas semelhantes, com verão chuvoso e inverno relativamente seco. O balanço hídrico mensal de Thornthwaite (1955) assemelha-se muito nessas três regiões do Estado (Camargo, 1960), acusando excedentes normais de água no solo, no período de dezembro a março, da ordem de 250 a 400 mm, e deficiências normais no período de julho a setembro, variáveis de 30 e 65 mm. Setzer (1946) coloca as três localidades dentro do mesmo tipo Cwa, da classificação de Köppen.

A concordância encontrada no planalto paulista entre valores medidos e calculados pelo método de Thornthwaite, mostra-se mesmo mais perfeita que a observada em Seabrook, no sul de New Jersey, onde Thornthwaite realiza seus trabalhos. Mather (1954), relatando resultados obtidos em Seabrook, cita que durante o inverno a evapotranspiração potencial medida se mostrou mais de duas vezes superior à calculada, ao passo que no verão foi um pouco inferior.

McCloud & Dunavin (1954), trabalhando em Gainesville, na Flórida, encontraram comportamento praticamente oposto. No inverno, os valores medidos e calculados foram equivalentes, mas, no verão, os medi-



dos, em vez de inferiores, como em New Jersey, foram bem mais elevados que os calculados pelo método de Thornthwaite.

Os dados do método de Blaney & Criddle foram os que apresentaram, no planalto paulista, as maiores discrepâncias em relação àquelas medidas nos evapotranspirômetros, superestimando enormemente os do inverno (parte C, das figuras 7, 8 e 9). McCloud & Dunavin encontraram, para a Flórida, cujo clima é tipicamente marítimo, dados bem diferentes. O método, aí, superestimou um pouco a evapotranspiração calculada no inverno, mas a subestimou consideravelmente nos meses do verão, quando é maior a influência marítima no clima.

A modificação proposta aqui para a fórmula de Blaney & Criddle, fez com que apresentasse resultados muito semelhantes aos de Thornthwaite, como mostramos diagramas das partes A e D, das figuras 7, 8 e 9. Pela sua grande simplicidade poderá nas condições do planalto paulista, ter grande utilidade nos trabalhos em que se fazem necessárias determinações rápidas da evapotranspiração potencial.

O método de Penman-Bavel, apresentou dados de menor concordância com os valores medidos subestimando bastante os dados durante o verão. Foi o método, cujos dados mostraram correlação menos estreita com relação aos medidos, como indicado pelos coeficientes de correlação ( $r$ ) que foram os mais baixos.

As curvas das figuras 5 e 10 revelam que a evapotranspiração potencial medida nos evapotranspirômetros se mostrou, em geral, mais elevada que a estimada pela equação de Thornthwaite, nas localidades de Pindamonhangaba e Ribeirão Preto e que o oposto se deu em Campinas.

Esse fato pode ser atribuído ao porte do gramado dos lisímetros, geralmente mais elevado que o do externo nas duas primeiras localidades, o que faz intensificar a perda de água por evapotranspiração. Já, em Campinas, o gramado dos tanques foi mantido, por meio de podas mais frequentes, com o mesmo porte do circundante. Além disso, os dados de temperatura aí utilizados no cálculo da evapotranspiração potencial, foram obtidos em estação meteorológica situada em área urbana, alguns quilômetros distante, onde as médias termométricas, anormalmente elevadas, fazem obter dados sobreestimados da evapotranspiração.

No quadro 1 pode-se ver que a temperatura média, para o período de observações nos evapotranspirômetros, mostrou-se, em Campinas, mais elevada que a respectiva média para um período anterior de 10 anos, quando as cercanias da estação meteorológica se achava menos urbanizada. Nas outras duas localidades tal não se verificou, pois as temperaturas médias, durante o período de observações, não foram superiores à

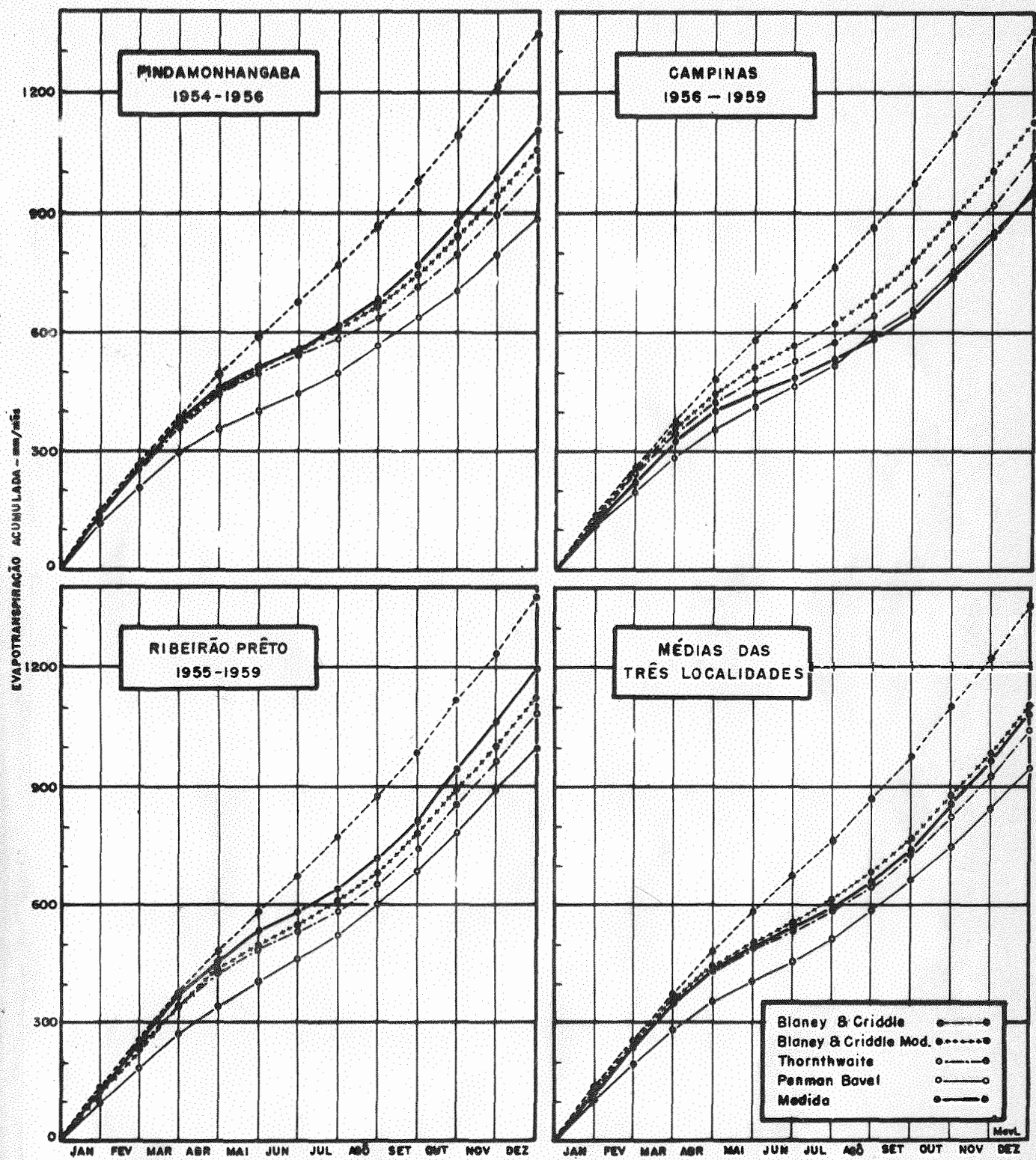


Figura 10. — Evapotranspiração potencial mensal média acumulada, medida em evapotranspirômetros e calculada por diferentes métodos.

normal. Com dados melhor representativos da temperatura, pode<sup>m</sup>se esperar valores calculados da evapotranspiração potencial mais aproximados ainda dos valores medidos.

Analisando na figura 10 os dados mensais acumulados da evapotranspiração potencial medida e calculada pelos vários métodos experimentados nas diferentes localidades, pode-se verificar que os valores dados pelas equações de Thornthwaite e de Blaney & Criddle-modificada, foram os que mais se aproximaram dos medidos nos evapotranspirômetros. Em Pindamonhangaba e em Ribeirão Preto, ambas as equações acusaram evapotranspiração um pouco inferior à medida, ocorrendo o oposto em Campinas. Como foi mencionado anteriormente, houve, nas duas primeiras localidades, ligeira sobreestimativa dos dados medidos, por não estar a superfície vegetada dos lisímetros em condições ideais de exposição e na última localidade uma sobreestimativa dos valores calculados pelo fato dos dados de temperatura, utilizados no cálculo, estarem anormalmente elevados, não representando bem as condições do local em que se achavam os evapotranspirômetros.

Em tôdas as localidades, a equação de Blaney & Criddle original, apresentou valores demasiado elevados, mantendo-se as curvas representativas bem acima das demais. Por sua vez, os mais baixos dados acumulados foram oferecidos pelo método de Penman-Bavel.

## 6 - CONCLUSÕES

Os resultados das mensurações da evapotranspiração no planalto paulista, e sua correlação com os valores calculados, permitiram as seguintes conclusões:

1 - Os evapotranspirômetros de Thornthwaite, do tipo modificado em Ibadan, apresentam resultados bastante consistentes e precisos, desde que instalados, vegetados e operados convenientemente.

2 - Para conseguir vegetação satisfatória com a grama batatais nos evapotranspirômetros, as irrigações nos tanques ou lisímetros devem ser reduzidas, ao mínimo, em quantidade apenas suficiente para provocar pequena percolação.

3 - A fim de manter boa aeração no solo do tanque e reduzir as perdas de nitrogênio, por lixiviação, as irrigações nos tanques não devem ser diárias mas sim feitas em dias alternados. Num dia se faz a irrigação e no outro a coleta do percolado.

4 - Como tanque, nos evapotranspirômetros, podem ser empregadas com sucesso as caixas de cimento-amianto de tipo padrão existentes no comércio. Elas são duráveis, econômicas e muito práticas.

5 - É indispensável impedir a entrada ou saída de enxurrada nos tanques e também que os estolhos da grama transpassem o bordo dos vasos e enraizem ao mesmo tempo, dentro e fora do vaso.

6 - Para evitar deficiência de nitrogênio causada pela lavagem do solo, é necessário aplicar, periodicamente, em cobertura, um adubo nitrogenado solúvel, sempre que o gramado do tanque apresentar mostras de amarelecimento.

7 - Os dados dos primeiros seis meses de funcionamento dos evapotranspirômetros são normalmente inconsistentes. Somente depois de passar o período de acomodação do solo e da estabilização da vegetação devem os dados ser utilizados.

8 - A equação de Thornthwaite apresenta, nas condições do planalto paulista, resultados mensais muito próximos dos obtidos por medição nos evapotranspirômetros. Dentre os métodos de cálculo utilizados, foi o que apresentou dados com mais estreita correlação e de maior concordância com os medidos.

9 - A menor correlação com dados medidos, embora ainda bastante elevada, foi obtida com os resultados da equação de Penman-Bavel. Esse método, por sua vez, subestima acentuadamente os dados da evapotranspiração durante o verão e os sobreestima levemente no inverno.

10 - Os dados da equação de Blaney & Criddle original, embora apresentam estreita correlação com os medidos, mostram-se bastante inexactos, para as condições do planalto paulista, uma vez que sobreestimam exageradamente os valores da evapotranspiração na maior parte do ano, sobretudo, durante o inverno.

11 - A equação modificada de Blaney & Criddle apresenta dados bastante consistentes e concordantes com os medidos aproximando-se bem dos da equação de Thornthwaite. Como é muito simples, não exigindo uso de nomogramas, torna-se útil para o cálculo da evapotranspiração potencial para as condições em que foi experimentada no planalto paulista.

RESUMO

Em baterias de evapotranspirômetros, do tipo "Thorntwaite-modificado" (Mather, 1951), estimou-se a evapotranspiração potencial em base mensal, para as localidades de Pindamonhangaba, Ribeirão Preto e Campinas, tôdas situadas no planalto paulista. Foram empregadas nos evapotranspirômetros, como vasos ou lisímetros, caixas retangulares de cimento-amianto de  $0,65 \text{ m}^2$ , vegetadas com grama batatais (Paspalum notatum Flüggé).

Os resultados obtidos mostram que a evapotranspiração potencial apresenta, no planalto paulista, valores aproximadamente duas vezes mais elevados no verão em relação aos do inverno. Em média ultrapassa a 130 mm em janeiro e não alcança a 60 mm em julho. Tais resultados diferem bastante dos que se obtêm com os evaporímetros comuns, de Piche, montados à sombra em abrigos meteorológicos, os quais estimam elemento muito distinto, ou seja, a capacidade evaporativa do ar. Enquanto a evapotranspiração potencial tem seus valores mais elevados nos meses mais quentes do ano, de dezembro a fevereiro, a capacidade evaporativa do ar os têm no período mais sêco, ou seja, de agosto e setembro, quando ultrapassa os 200 mm mensais.

Os valores medidos nos evapotranspirômetros, considerados reais, foram correlacionados com os calculados pelas equações de Thornthwaite (1948), de Penman, simplificada por Bavel (1956), de Blaney & Criddle (1950) e por um forma modificada desta última, para adaptação às condições locais. As correlações, entre valores medidos e calculados, mostraram-se de modo geral bastante elevadas. Apenas no caso da comparação com os resultados do método de Penman-Bavel verificou-se correlação um pouco inferior. Nas determinações de Campinas os coeficientes de correlação (r), com os valores medidos, obtidos para os quatro métodos de cálculo da evapotranspiração potencial, foram os seguintes: Thornthwaite e Blaney & Criddle-modificado = 0,95, Blaney & Criddle-original = 0,93, Penman-Bavel = 0,89.

Maior exatidão, ou concordância com os resultados da evapotranspiração potencial medida, também foi obtida com os valores estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Blaney & Criddle-modificado. O método de Blaney & Criddle-original, resultou as maiores discrepâncias com os valores medidos, superestimando acentuadamente os valores durante o in-

verno e subestimando-os no verão. Por sua vez, o método de Penman-Bavel também apresentou discrepâncias, embora menos acentuadas, subestimando os resultados na estação estival.

Em Campinas, os resultados calculados, pelos quatro métodos, foram em geral mais elevados do que os medidos. O contrário, todavia, ocorreu nas outras duas localidades estudadas. Os totais anuais da evapotranspiração potencial (EP) medidos e calculados, segundo Thornthwaite, foram os seguintes para as três localidades:

<u>Localidade</u>	EP medida mm	EP calculada mm
Campinas .....	962	1.043
Pindamonhangaba .....	1.105	1.003
Ribeirão Preto .....	1.198	1.106

A razão da obtenção em Campinas de valores mais altos da evapotranspiração potencial calculada, parece ser devida ao fato de a temperatura média utilizada no cálculo ter sido anormalmente elevada, por estar o abrigo meteorológico, que forneceu os dados, situado em área urbanizada, distante vários quilômetros da bateria de evapotranspirômetros. Por sua vez, em Pindamonhangaba e em Ribeirão Preto são os valores medidos que parecem estar sobrestimados, possivelmente, pelo fato de os gramados internos dos tanques terem se apresentado, em parte do tempo, com porte mais elevado do que a do gramado do terreno circundante.

Nomogramas e tabelas especiais, preparados para o hemisfério sul e empregando unidades do sistema métrico decimal, foram apresentados para facilitar a determinação da evapotranspiração potencial pelos vários métodos de cálculo empregados.

*Camargo*

- 36 -

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bavel, C.H.M. van. A nomogram to estimate maximum evapotranspiration. North Carolina State Col. 1956 (mimeografado).
- Blaney, Harry F. & Criddle, Wayne D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Washington, Soil Conservation Service (48 p) 1950.
- Camargo, A. Paes de. Possibilidades climáticas da cultura da seringueira em São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 20 p. Bol. 110, 1959.
- \_\_\_\_\_ O balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 15 p. Bol. 116, 1960.
- Deacon, E.L., Priestly, C.H.B. & Swinbank, W.C. Evaporation and the water balance. Climatology. Reviews of research. Paris, pp.9-34, 1958.
- Harold, L.L. & Dreibelbis, F.R. Agricultural hydrology lysimeters. U.S. Dept. of Agr., Tech. Bull. n° 1050, 1951.
- King, K.M., Tanner, C.B. & Suomi, V.E. A floating Lysimeter and its evaporation recorder. Trans. Amer. Geophys. Union. 37: 738-742, 1956.
- Kohler, Max A. Lake and pan evaporation. In Water-Loss Investigations: Lake Hefner Studies, Technical Report. Geological Survey Professional Paper 269. Dept. of Interior, pp. 127-148, 1954.
- Mather, John R. Design and evaluation of a modified evapotranspirometer. Micrometeorology on the layer of the atmosphere. John Hopkins University (Interin. report n° 15) 1951. (separata).
- \_\_\_\_\_ A summary of evapotranspiration at Seabrook, New Jersey, 1947-1953. In The Measurement of Potential Evapotranspiration. Publications in Climatology. The Johns Hopkins Univ., Lab. of Climatology, vol. VII, n° 1, pp 7-28, 1954.

*C. B. Barry*

- 37 -

- Mather, John R. A summary of additional and evapotranspiration measurements. In The Measurement of Potential Evapotranspiration. Publications in Climatology. The Johns Hopkins Univ., Lab. of Climatology, vol. VII, nº 1, pp 177-200, 1954.
- McCloud, D.E. & Dunavin, L.S. Agrohydrologic balance studies at Gainesville, Florida. In The Measurement of Potential Evapotranspiration. Publications in Climatology. The Johns Hopkins Univ., Lab. of Climatology, vol. VII, nº 1, pp 55-68, 1954.
- Paiva, J.E. (netto), Catani, R.A., Klipper, A. (e outros). Observações gerais sobre os grandes tipos de solo do Estado de São Paulo. Bragantia 11: 227-253. 1951.
- Palmer, Wayne C. & Havens, A. Vaughn. A graphical technique for determining evapotranspirations by the Thornthwaite method. Monthly Weather Review 86: 123-128. 1958.
- Penman, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. 193: 120-145. 1948.
- \_\_\_\_\_ Experiments on irrigation of sugar beet. J. Agric. Sci. 42: 286-292. 1952.
- \_\_\_\_\_ Evaporation an introductory survey. Neth. J. Agr. Sc. 4: 9-29. 1956.
- Physics on Agriculture. Proc. Inf. meeting on 1956. Conclusions reached after discussions concerning evaporation. Neth. J. Agr. Sc. 4: 95-97. 1956.
- Prescott, J.A. & Stirk, G.B. Studies on the Piche evaporimeter. Australian J. Applied Sci. 2: 243-256, 1951 (separata).
- Pruitt, W.O. Relation of consumptive use of water to climate. Trans. Am. Soc. Agr. Engineers 3: 9-17. 1960 (separata).
- Schroeder, R. Distribuição e curso anual das precipitações no Estado de São Paulo. Bragantia 15: 194-249. 1956.
- Thornthwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geog. Rev. vol. 38, pp. 55-94, 1948.



Thornthwaite, C.W. A re-examination of the concept and measurement of potential evapotranspirometer. In the measurement of potential evapotranspiration. Publications in climatology. vol. VII, pp. 200-209, Seabrook, New Jersey, 1954.

\_\_\_\_\_ & Mather, J.R. The Water Balance. Publications in Climatology. vol. VIII, nº 1. Centerton N.J., 104 p. 1955.

\_\_\_\_\_, Wilm, H.G. (e outros) Report of the Committee on Transpiration and Evaporation, 1943-44. Amer. Geophys. Union Trans. Part V, p. 687, 1944.

Setzer, J. Contribuição para o estudo do clima no Estado de São Paulo, Escolas Profissionais Salesianas, 239 p., 1946.

Quadro 2. - Fatores de correção da evapotranspiração potencial mensal, dada pelo nomograma de Thornthwaite (figura 3) para ajustá-la ao número de dias do mês e à duração do brilho solar diário, nos vários meses de ano e latitudes entre 15 graus norte e 37 graus sul.

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agô	Set	Out	Nov	Dez
15°N .....	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10°N .....	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
5°N .....	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
Equador ..	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,04	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5°S .....	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10°S .....	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15°S .....	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20°S .....	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22°S .....	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23°S .....	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24°S .....	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25°S .....	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26°S .....	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27°S .....	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28°S .....	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29°S .....	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30°S .....	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31°S .....	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32°S .....	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33°S .....	1,22	1,04	1,06	0,94	0,90	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34°S .....	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,16	1,24
35°S .....	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
36°S .....	1,24	1,04	1,06	0,94	0,88	0,81	0,86	0,94	1,00	1,13	1,17	1,26
37°S .....	1,25	1,05	1,06	0,94	0,88	0,80	0,86	0,93	1,00	1,14	1,18	1,27

Fonte: Burgos, J.J. & Vidal, A.L. Los climas de la República Argentina segun la nueva classificacion de Thornthwaite. Buenos Aires. Servicio Meteorológico Nacional. 1951, 32p (Publication No. 3, Série Agrometeorológica).

Quadro 3. - Radiação solar recebida na ausência da atmosfera, em milímetros de evaporação equivalente, no 15º dia de cada mês, para latitudes de 10 graus norte e 40 graus sul. Os dados entram na escala RS do nomograma de Bavel (figura 4), para obtenção da evapotranspiração potencial diária.

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agô	Set	Out	Nov	Dez
10°N .....	12,8	13,8	14,8	15,0	14,8	14,7	14,8	14,9	14,7	14,0	13,0	12,4
8°N .....	13,2	14,1	14,9	14,9	14,6	14,5	14,6	14,8	14,8	14,2	13,3	12,7
6°N .....	13,5	14,3	14,9	14,8	14,4	14,2	14,4	14,6	14,8	14,4	13,6	13,1
2°N .....	14,1	14,7	15,0	14,6	14,0	13,6	13,8	14,3	14,8	14,7	14,2	13,8
Equador ..	14,4	14,9	15,0	14,5	13,7	13,3	13,5	14,1	14,7	14,8	14,5	14,1
2°S .....	14,6	15,0	15,0	14,4	13,4	13,0	13,2	13,9	14,7	14,9	14,8	14,4
4°S .....	14,9	15,2	15,0	14,2	13,2	12,7	12,8	13,7	14,6	15,0	15,0	14,8
6°S .....	15,2	15,3	15,0	14,0	12,8	12,4	12,6	13,5	14,6	15,2	15,2	15,1
8°S .....	15,4	15,4	14,9	13,8	12,5	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,3
10°S .....	15,6	15,6	14,8	13,6	12,2	11,6	11,9	13,0	14,4	15,2	15,5	15,6
12°S .....	15,9	15,6	14,7	13,4	11,8	11,2	11,6	12,8	14,2	15,2	15,7	15,8
14°S .....	16,1	15,7	14,6	13,1	11,5	10,8	11,2	12,5	14,2	15,3	15,9	16,0
16°S .....	16,2	15,8	14,5	12,8	11,2	10,4	10,8	12,2	14,0	15,3	16,0	16,2
18°S .....	16,4	15,8	14,4	12,6	10,8	10,0	10,5	11,9	13,8	15,3	16,2	16,5
20°S .....	16,6	15,8	14,2	12,2	10,4	9,6	10,1	11,6	13,6	15,2	16,3	16,7
22°S .....	16,8	15,8	14,0	11,9	10,0	9,2	9,7	11,2	13,4	15,2	16,4	16,8
24°S .....	16,8	15,8	13,8	11,6	9,6	8,8	9,3	10,9	13,2	15,2	16,4	17,0
26°S .....	16,9	15,7	13,6	11,2	9,2	8,4	8,8	10,6	12,9	15,1	16,5	17,2
28°S .....	17,0	15,6	13,4	10,9	8,8	7,8	8,4	10,2	12,6	15,0	16,6	17,3
30°S .....	17,0	15,6	13,2	10,5	8,4	7,4	8,0	9,8	12,4	14,8	16,6	17,4
32°S .....	17,1	15,4	13,0	10,1	8,0	6,9	7,6	9,4	12,1	14,7	16,6	17,5
34°S .....	17,1	15,3	12,6	9,8	7,6	6,4	7,0	9,0	11,8	14,6	16,6	17,6
36°S .....	17,1	15,2	12,4	9,4	7,1	6,0	6,6	8,6	11,4	14,4	16,6	17,6
38°S .....	17,1	15,0	12,1	9,0	6,6	5,6	6,2	8,2	11,0	14,2	16,5	17,7
40°S .....	17,0	14,9	11,7	8,6	6,1	5,0	5,7	7,8	0,7	14,0	16,4	17,7

Fonte: Dados interpolados e convertidos a milímetros de: Shaw, Napier. Manual of Meteorology: volume II, Comparative Meteorology, Cambridge, University press. xviii 472p. Dados da pág. 4, em kWh por 100 m<sup>2</sup> de superfície horizontal, multiplicados por 0,0146 para obter milímetros de evaporação equivalente.

Quadro 4. - 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 e se destinam ao cálculo da insolação relativa que entra na escala I do nomograma de Bavel (figura 4).

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agô	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	12,1	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	12,2	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	10,7	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

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

**Quadro 5.** - Percentagens mensais de horas diurnas sobre o total anual. Valores de  $p$  empregados na equação de Blaney & Criddle para cálculo de uso consuntivo da água ( $u$ ), para as latitudes compreendidas entre 10 graus norte e 40 graus sul.

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agô	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°N .....	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°N .....	8,28	7,54	8,47	8,34	8,69	8,47	8,70	8,62	8,25	8,40	8,03	8,21
4°N .....	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°N .....	8,41	7,63	8,48	8,26	8,57	8,30	8,56	8,55	8,23	8,46	8,15	8,40
Equador ..	8,50	7,66	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°S .....	8,63	7,74	8,50	8,17	8,38	8,06	8,35	8,41	8,20	8,55	8,35	8,66
6°S .....	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°S .....	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°S .....	8,82	7,88	8,53	8,06	8,20	7,82	8,14	8,28	8,18	8,63	8,56	8,90
12°S .....	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°S .....	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°S .....	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°S .....	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°S .....	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°S .....	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°S .....	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°S .....	9,55	8,22	8,61	7,81	7,56	7,14	7,46	7,84	8,10	8,91	9,19	9,66
28°S .....	9,65	8,27	8,62	7,78	7,49	7,04	7,38	7,78	8,08	8,95	9,20	9,76
30°S .....	9,75	8,32	8,64	7,73	7,44	6,93	7,28	7,70	8,07	8,99	9,26	9,88
32°S .....	9,85	8,37	8,66	7,70	7,36	6,82	7,18	7,62	8,06	9,03	9,35	10,00
34°S .....	9,96	8,43	8,67	7,66	7,25	6,70	7,08	7,55	8,05	9,07	9,44	10,14
36°S .....	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°S .....	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°S .....	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, 6ª ed., 1951, tabela 171.



Quadro 6. - Dados mensais médios de precipitação, irrigação, percolação e evapotranspiração potencial, das baterias de evapotranspirômetros de Pindamonhangaba, Ribeirão Preto e de Campinas, durante o período de 1954 a 1959.

Meses	Pindamonhangaba				Ribeirão Preto				Campinas			
	Preci- pita- ção	Irri- gação	Perco- lação	Evap. poten- cial	Preci- pita- ção	Irri- gação	Perco- lação	Evap. poten- cial	Preci- pita- ção	Irri- gação	Perco- lação	Evap. poten- cial
<u>1954</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>
Jan ..	66	364	290	140	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev ..	205	177	265	117	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar ..	170	128	185	113	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr ..	72	117	101	88	-	-	-	-	-	-	-	-
Mai ..	121	75	158	38	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun ..	17	37	26	28	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul ..	13	80	28	65	-	-	-	-	-	-	-	-
Agô ..	0	105	33	72	-	-	-	-	-	-	-	-
Set ..	35	105	45	95	-	-	-	-	-	-	-	-
Out ..	125	60	94	91	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov ..	91	98	85	104	-	-	-	-	-	-	-	-
Dez ..	129	72	96	105	-	-	-	-	-	-	-	-
Ano ..	1.044	1.418	1.406	1.056								
<u>1955</u>												
Jan ..	236	49	159	126	209	92	149	152	-	-	-	-
Fev ..	29	93	17	105	151	82	95	138	-	-	-	-
Mar ..	154	85	115	124	262	39	188	113	-	-	-	-
Abr ..	75	58	63	70	110	45	64	91	-	-	-	-
Mai ..	42	72	44	70	20	75	12	83	-	-	-	-
Jun ..	13	58	21	50	14	51	21	44	-	-	-	-
Jul ..	3	79	16	66	0	66	7	59	-	-	-	-
Agô ..	46	72	44	74	33	74	30	77	-	-	-	-
Set ..	2	96	13	85	0	107	8	99	-	-	-	-
Out ..	76	84	35	125	127	71	86	112	-	-	-	-
Nov ..	108	59	65	102	100	53	58	95	-	-	-	-
Dez ..	233	66	168	131	333	34	242	125	-	-	-	-
Ano ..	1.017	871	760	1.128	1.359	789	960	1.188				
<u>1956</u>												
Jan ..	41	134	28	147	88	66	35	119	100	136	81	155
Fev ..	290	70	228	132	163	59	97	125	189	40	115	114
Mar ..	187	51	115	123	33	81	17	97	166	90	145	111
Abr ..	140	68	123	85	81	48	44	85	102	80	111	71
Mai ..	75	51	67	59	76	33	54	55	126	24	104	46
Jun ..	52	42	49	45	58	15	34	39	56	23	50	29
Jul ..	30	53	24	59	40	28	20	48	54	30	43	41
Agô ..	65	65	76	54	63	44	54	53	77	46	74	49
Set ..	60	65	36	89	71	50	57	64	83	61	78	66
Out ..	125	48	74	99	257	79	220	116	92	79	83	88
Nov ..	33	96	9	120	23	107	1	129	21	112	26	107
Dez ..	199	39	120	118	237	59	152	144	148	72	111	109
Ano ..	1.297	782	949	1.130	1.190	669	785	1.074	1.214	793	1.021	986

Quadro 6. - (continuação)

Meses	Pindamonhangaba				Ribeirão Preto				Campinas			
	Preci- pita- ção	Irri- gação	Perco- lação	Evap. poten- cial	Preci- pita- ção	Irri- gação	Perco- lação	Evap. poten- cial	Preci- pita- ção	Irri- gação	Perco- lação	Evap. poten- cial
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<u>1957</u>												
Jan ..	229	74	173	130	235	19	127	127	363	38	300	101
Fev ..	192	34	117	109	304	23	202	125	188	42	118	112
Mar ..	185	41	132	94	198	44	118	124	214	98	204	108
Abr ..	45	69	33	81	96	51	53	94	55	91	64	82
Mai ..	35	78	29	84	122	46	111	57	2	84	30	56
Jun ..	22	72	29	65	16	50	14	52	48	61	59	50
Jul ..	32	62	21	73	100	45	86	59	112	31	107	36
Agô ..	31	71	16	86	66	66	46	86	68	54	61	61
Set ..	124	46	81	89	115	51	70	96	139	30	109	60
Out ..	116	156	105	167	114	104	63	155	96	106	81	121
Nov ..	108	61	42	127	129	75	81	123	94	102	88	108
Dez ..	83	107	23	167	155	54	72	137	168	68	121	115
Ano ..	1.202	871	801	1.272	1.650	628	1.043	1.235	1.547	805	1.342	1.010
<u>1958</u>												
Jan ..	-	-	-	-	217	95	167	145	318	80	273	125
Fev ..	-	-	-	-	178	66	122	122	157	79	140	96
Mar ..	-	-	-	-	193	60	118	135	118	68	92	94
Abr ..	-	-	-	-	119	51	97	73	100	68	102	66
Mai ..	-	-	-	-	140	33	85	88	173	34	161	46
Jun ..	-	-	-	-	40	56	35	61	89	64	109	44
Jul ..	-	-	-	-	21	46	10	57	18	50	22	46
Agô ..	-	-	-	-	11	82	8	85	1	90	27	64
Set ..	-	-	-	-	66	74	60	80	97	44	82	59
Out ..	-	-	-	-	184	47	105	126	110	66	97	79
Nov ..	-	-	-	-	66	88	19	135	135	88	119	104
Dez ..	-	-	-	-	143	60	96	107	96	93	70	119
Ano ..					1.378	758	922	1.214	1.412	824	1.294	942
<u>1959</u>												
Jan ..	-	-	-	-	495	17	404	108	219	36	155	100
Fev ..	-	-	-	-	69	101	37	133	90	57	59	88
Mar ..	-	-	-	-	200	22	127	95	127	45	79	93
Abr ..	-	-	-	-	42	67	15	94	75	69	57	87
Mai ..	-	-	-	-	52	66	34	84	30	60	40	50
Jun ..	-	-	-	-	9	48	14	43	8	51	22	37
Jul ..	-	-	-	-	0	89	1	88	0	61	14	47
Agô ..	-	-	-	-	50	57	17	90	91	34	76	49
Set ..	-	-	-	-	22	123	6	139	18	76	30	64
Out ..	-	-	-	-	106	100	76	130	125	62	96	91
Nov ..	-	-	-	-	176	47	82	141	227	28	158	97
Dez ..	-	-	-	-	184	43	97	130	214	41	144	111
Ano ..					1.405	780	910	1.275	1.224	620	930	914

Quadro 7. - Dados do cálculo da evapotranspiração potencial mensal, por diferentes métodos, em Pindamonhangaba. A evapotranspiração não ajustada ( $E_i$ ) e os fatores de correção (F), do método de Thornthwaite, são obtidos respectivamente, com o nomograma da figura 3 e no quadro 2. Os valores de  $E_t$ , de Penman-Bavel, são estimados com o nomograma da figura 4, e os de  $p$ , do método de Blaney & Criddle, encontram-se no quadro 5.

Meses	Temp. média (M+m)/2 t	Método de Thornthwaite		Método de Penman-Bavel		Método de Blaney & Criddle		Mét. de Blaney & Criddle modf.	
		Evapot. não ajust. $E_i$	Evapot. potenc. ( $E_i \times F$ )	Insol. relat.	$E_t$ mensal	$t^2 F \times p$ 100 (a)	Uso consuntivo (25,4ak) (k=0,75)	t=0,5T (b) T=21,4	Uso consuntivo (bp)
	°C	mm	mm		mm	poles.	mm	°C	mm
<u>1954</u>									
Jan ..	25,6	125	144	0,56	112	7,29	139	14,9	139
Fev ..	25,0	118	118	0,48	81	6,26	119	14,3	116
Mar ..	23,8	103	108	0,58	90	6,42	122	13,1	112
Abr ..	21,1	78	76	0,60	72	5,50	105	10,4	82
Mai ..	19,4	63	60	0,43	40	5,17	98	8,7	67
Jun ..	19,0	60	54	0,59	45	4,78	91	8,3	60
Jul ..	18,2	54	51	0,77	68	4,95	94	7,5	57
Agô ..	18,3	55	54	0,78	80	5,16	98	7,6	60
Set ..	20,8	75	75	0,52	70	5,60	106	10,1	82
Out ..	21,9	84	91	0,41	75	6,30	120	11,2	99
Nov ..	23,4	99	109	0,59	105	6,62	126	12,7	114
Dez ..	23,0	95	110	0,46	91	6,88	131	12,3	116
Ano ..	21,6	-	1.050	0,56	929	-	1.349	10,9	1.104
<u>1955</u>									
Jan ..	24,2	108	124	0,46	93	7,10	135	13,5	126
Fev ..	25,2	120	120	0,59	101	6,34	121	14,5	118
Mar ..	24,2	108	113	0,55	87	6,50	124	13,5	116
Abr ..	21,8	83	80	0,52	63	6,28	119	11,1	87
Mai ..	18,2	54	51	0,57	53	5,01	95	7,5	54
Jun ..	17,1	47	42	0,58	45	4,56	87	6,4	46
Jul ..	17,6	50	47	0,65	56	4,87	93	6,9	52
Agô ..	18,2	54	53	0,68	71	5,16	98	7,5	60
Set ..	20,4	71	71	0,60	78	5,61	106	9,7	79
Out ..	21,3	79	86	0,33	56	6,21	118	10,6	94
Nov ..	21,1	78	86	0,45	78	6,26	119	10,4	93
Dez ..	23,6	101	117	0,38	78	7,00	133	12,9	122
Ano ..	21,1	78	990	0,53	859	-	1.348	10,4	1.047
<u>1956</u>									
Jan ..	26,4	134	154	0,67	140	7,48	142	15,7	147
Fev ..	24,6	113	113	0,47	84	6,42	122	13,9	117
Mar ..	23,5	100	105	0,54	84	6,40	121	12,8	110
Abr ..	21,2	78	76	0,51	60	5,50	105	10,5	82
Mai ..	18,0	53	50	0,42	40	4,94	94	7,3	56
Jun ..	16,4	42	38	0,47	36	4,50	85	5,7	41
Jul ..	16,6	43	40	0,51	43	4,71	89	5,9	45
Agô ..	16,4	42	41	0,55	56	4,92	94	5,7	45
Set ..	20,7	74	74	0,46	63	5,60	106	10,0	81
Out ..	21,2	78	85	0,46	74	6,20	118	10,5	93
Nov ..	21,0	77	85	0,49	87	6,26	119	10,3	92
Dez ..	22,9	94	109	0,45	87	6,88	131	12,2	115
Ano ..	20,7	74	970	0,50	854	-	1.326	10,0	1.024



Quadro 8. - Dados do cálculo da evapotranspiração potencial mensal, por diferentes métodos, em Ribeirão Preto. A evapotranspiração não ajustada ( $E_i$ ) e os fatores de correção ( $F$ ), do método de Thornthwaite, são obtidos respectivamente, com o nomograma da figura 3 e no quadro 2. Os valores de  $E_t$ , Penman-Bavel, são estimados com o nomograma da figura 4, e os dados de  $p$ , do método de Blaney & Criddle, encontram-se no quadro 5.

Meses	Temp. média (M+m)/2 t	Método de Thornthwaite		Método de Penman-Bavel		Método de Blaney & Criddle		Mét. de Blaney & Criddle modif.	
		Evapot. não ajust. $E_i$	Evapot. potens. ( $E_i \times F$ )	Insol. relat.	$E_t$ mensal	$t^2 F \times p$ 100 (a)	Uso consuntivo (25,4ak) (k=0,75)	t-0,5T (b) T=22,5	Uso consuntivo (bp)
	°C		mm		mm	poleg.	mm	°C	mm
<b>1955</b>									
Jan ..	24,4	109	125	0,49	99	7,05	134	13,2	123
Fev ..	24,6	111	111	0,59	98	6,47	118	13,4	108
Mar ..	24,2	106	111	0,57	71	6,47	123	13,0	111
Abr ..	22,6	90	87	0,64	81	5,73	109	11,4	90
Mai ..	19,0	58	56	0,70	70	5,15	98	7,8	61
Jun ..	19,0	58	53	0,66	57	4,86	92	7,8	57
Jul ..	19,6	63	60	0,65	62	5,18	98	8,4	65
Agô ..	21,2	76	75	0,69	81	5,61	106	10,0	80
Set ..	24,5	110	110	0,67	102	5,37	102	13,3	108
Out ..	23,6	99	107	0,48	84	6,58	125	12,4	110
Nov ..	22,5	89	97	0,63	109	6,44	122	11,3	100
Dez ..	24,2	106	122	0,49	96	7,06	134	13,0	121
Ano ..	22,4	89	1.114	0,60	1.010	-	1.361	11,2	1.134
<b>1956</b>									
Jan ..	25,8	127	145	0,72	142	7,29	139	14,6	136
Fev ..	24,7	112	112	0,58	101	6,68	127	13,5	113
Mar ..	24,0	104	109	0,65	74	6,44	122	12,8	109
Abr ..	22,5	89	86	0,54	69	5,71	109	11,3	89
Mai ..	18,8	56	54	0,50	50	5,11	97	7,6	59
Jun ..	16,1	38	35	0,47	36	4,48	86	4,9	36
Jul ..	18,3	52	49	0,60	42	5,00	95	7,1	55
Agô ..	18,6	54	53	0,75	84	5,24	100	7,4	59
Set ..	22,6	90	90	0,49	72	5,91	112	11,4	93
Out ..	23,2	95	103	0,54	93	6,51	124	12,0	106
Nov ..	22,7	90	98	0,63	111	6,47	123	11,5	102
Dez ..	24,2	106	122	0,54	107	7,06	134	13,0	121
Ano ..	21,8	84	1.056	0,58	981	-	1.368	10,6	1.078

Quadro 8. - (continuação)

Meses	Temp. média (M+m)/2 t	Método de Thornthwaite		Método de Perman-Bavel		Método de Blaney & Criddle		Método de Blaney & Criddle modif.	
		Evapot. não ajust. E <sub>i</sub>	Evapot. pot. (E <sub>i</sub> x F)	Insol. relat.	E <sub>t</sub> mensal	t <sup>2</sup> F x p / 100 (a)	Uso consuntivo (25,4ak) (k=0,75)	t=0,5T (b) T=22,5	Uso consuntivo (bp)
	°C		mm		mm	poleg.	mm	°C	mm
<b>1957</b>									
Jan ..	24,3	108	124	0,49	98	7,04	133	13,1	122
Fev ..	23,4	97	97	0,44	73	6,01	115	12,2	99
Mar ..	23,6	99	104	0,57	91	6,38	121	12,4	106
Abr ..	21,6	80	78	0,57	71	5,60	107	10,4	82
Mai ..	19,3	60	59	0,62	62	5,19	98	8,1	63
Jun ..	18,6	54	49	0,59	51	4,81	91	7,4	54
Jul ..	18,1	51	49	0,55	53	4,97	94	6,9	53
Agô ..	21,2	76	75	0,64	76	5,61	106	10,0	80
Set ..	21,4	78	78	0,48	69	5,73	109	11,8	96
Out ..	24,6	111	120	0,61	108	6,74	128	13,4	118
Nov ..	23,3	96	105	0,46	84	6,56	124	12,1	107
Dez ..	24,5	110	127	0,50	100	7,11	135	13,3	124
Ano ..	22,0	85	1.065	0,54	936	-	1.361	10,9	1.104
<b>1958</b>									
Jan ..	25,1	117	134	0,40	83	7,18	136	13,9	129
Fev ..	25,3	120	120	0,46	80	6,28	119	14,1	114
Mar ..	23,9	103	108	0,64	101	6,42	122	12,7	109
Abr ..	21,4	78	76	0,59	72	5,56	106	10,2	80
Mai ..	19,5	62	60	0,59	57	5,22	99	8,3	64
Jun ..	18,6	54	49	0,77	65	4,81	91	7,4	54
Jul ..	19,0	58	55	0,68	63	5,10	97	7,8	60
Agô ..	21,4	78	77	0,81	91	5,64	107	10,2	82
Set ..	21,4	78	78	0,60	84	5,73	109	10,2	83
Out ..	22,9	92	100	0,58	98	6,47	123	11,7	103
Nov ..	24,5	110	120	0,70	126	6,76	129	13,3	118
Dez ..	24,7	112	129	0,50	100	7,15	136	13,5	126
Ano ..	22,3	88	1.106	0,61	1.025	-	1.374	11,1	1.122
<b>1959</b>									
Jan ..	24,0	104	119	0,35	71	6,99	133	12,8	119
Fev ..	25,5	123	123	0,55	94	6,31	120	14,3	116
Mar ..	23,3	96	101	0,49	78	6,32	120	12,1	103
Abr ..	24,4	109	106	0,79	73	5,99	114	13,2	104
Mai ..	21,7	81	78	0,75	78	5,53	105	10,5	82
Jun ..	18,4	53	48	0,81	69	4,78	91	7,2	53
Jul ..	21,0	74	70	0,79	77	5,37	102	9,8	75
Agô ..	20,6	71	70	0,65	76	5,53	105	9,4	75
Set ..	24,2	106	106	0,60	90	6,15	117	13,0	106
Out ..	24,5	110	120	0,55	97	6,73	128	13,3	117
Nov ..	24,3	108	118	0,54	101	6,73	128	13,1	116
Dez ..	24,7	112	129	0,56	109	7,15	136	13,5	126
Ano ..	23,0	95	1.188	0,62	1.013	-	1.399	11,8	1.192

Quadro 9. - Dados do cálculo da evapotranspiração potencial mensal, por diferentes métodos, em Campinas. A evapotranspiração não ajustada ( $E_i$ ) e os fatores de correção ( $F$ ), do método de Thornthwaite, são obtidos respectivamente, com o nomograma da figura 3 e no quadro 2, Os valores de  $E_t$  de Penman-Bavel, são estimados com o nomograma da figura 4, e os dados de  $p$ , do método de Blaney & Criddle, encontram-se no quadro 5.

Meses	Temp. média (M+m)/2 t	Método de Thornthwaite		Método de Penman-Bavel		Método de Blaney & Criddle		Mét. de Blaney & Criddle modif.	
		Evapot. não ajust. $E_i$	Evapot. potenc. ( $E_i \times F$ )	Insol. relat.	$E_t$ mensal	t°F x p 100 (a)	Uso consuntivo (25,4ak) (k=0,75)	t-0,5T (b) T=21,4	Uso consuntivo (bp)
	°C		mm		mm	poleg.	mm	°C	mm
<b>1956</b>									
Jan ..	26,4	134	154	0,72	149	7,43	142	15,7	148
Fev ..	24,5	111	111	0,58	99	6,43	122	13,8	117
Mar ..	23,9	104	109	0,65	102	6,43	122	13,2	113
Abr ..	21,7	83	80	0,53	63	5,57	106	11,0	86
Mai ..	18,0	53	50	0,50	47	4,97	94	7,3	56
Jun ..	16,3	42	37	0,47	36	4,44	85	5,6	41
Jul ..	17,6	50	48	0,60	50	4,85	92	6,9	52
Agô ..	17,8	51	50	0,75	79	5,09	97	7,1	56
Set ..	21,8	84	84	0,49	69	5,79	110	11,1	90
Out ..	21,9	84	92	0,54	90	6,33	121	11,2	99
Nov ..	21,7	83	91	0,63	105	6,35	121	11,0	98
Dez ..	23,1	96	111	0,54	102	6,94	132	12,4	117
Ano ..	21,2	-	1.017	0,58	991	-	1.344	10,5	1.073
<b>1957</b>									
Jan ..	23,9	104	120	0,49	96	7,01	134	13,2	123
Fev ..	23,0	95	95	0,44	73	5,97	114	12,3	100
Mar ..	23,6	101	106	0,57	92	6,38	122	12,9	110
Abr ..	21,3	79	76	0,57	69	5,52	105	10,6	83
Mai ..	19,0	60	57	0,62	59	5,11	98	8,3	64
Jun ..	18,1	54	48	0,59	48	4,68	89	7,4	54
Jul ..	17,4	48	45	0,55	50	4,82	92	6,7	51
Agô ..	19,8	66	65	0,64	72	5,37	102	9,1	72
Set ..	20,2	70	70	0,48	63	5,55	106	9,5	77
Out ..	23,6	101	110	0,61	105	6,60	126	12,9	114
Nov ..	22,8	93	102	0,46	84	6,53	124	12,1	108
Dez ..	24,1	106	123	0,50	101	7,11	135	13,4	126
Ano ..	21,4	-	1.017	0,54	912	-	1.347	10,7	1.082

Quadro 2. - (continuação)

Meses	Temp. média (M+m)/2 t	Método de Thornthwaite		Método de Penman-Bavel		Método de Blaney & Criddle		Mét. de Blaney & Criddle modf.	
		Evapot. não a-just. E <sub>i</sub>	Evapot. potenc. (E <sub>i</sub> x F)	Insol. relat.	E <sub>t</sub> mensal	t <sup>o</sup> F x p 100 (a)	Uso consuntivo (25,4ak) (K=0,75)	t-0,5T (b) T=21,4	Uso consuntivo (bp)
	<u>°C</u>		<u>mm</u>		<u>mm</u>	<u>poleg.</u>	<u>mm</u>	<u>°C</u>	<u>mm</u>
<u>1958</u>									
Jan ..	24,6	112	<u>129</u>	0,48	98	7,13	<u>136</u>	13,9	130
Fev ..	24,9	116	<u>116</u>	0,47	79	6,49	<u>124</u>	14,2	120
Mar ..	22,7	92	<u>97</u>	0,54	81	6,25	<u>119</u>	12,0	103
Abr ..	20,9	75	<u>72</u>	0,56	64	5,46	104	10,2	80
Mai ..	18,8	58	<u>55</u>	0,57	51	5,08	97	8,1	62
Jun ..	18,1	54	48	0,75	59	4,68	89	7,4	54
Jul ..	18,9	59	55	0,65	56	5,03	96	8,2	62
Agô ..	21,1	77	76	0,76	87	5,56	106	10,4	83
Set ..	20,0	68	68	0,55	72	5,53	105	9,3	76
Out ..	22,0	85	93	0,57	94	6,35	121	11,3	100
Nov ..	23,8	103	114	0,61	110	6,69	127	13,1	117
Dez ..	24,8	114	132	0,53	105	7,23	138	14,1	133
Ano ..	21,7	-	1.055	0,59	956	-	1.362	11,0	1.120
<u>1959</u>									
Jan ..	24,3	109	125	0,51	102	7,08	135	13,6	127
Fev ..	24,8	113	113	0,53	90	6,31	120	14,1	115
Mar ..	23,3	98	103	0,52	81	6,33	121	12,6	108
Abr ..	22,8	93	90	0,73	91	5,73	109	12,1	95
Mai ..	20,7	72	<u>68</u>	0,73	62	5,37	102	10,0	77
Jun ..	17,5	47	43	0,79	61	4,63	88	6,8	49
Jul ..	20,1	69	65	0,76	70	5,20	99	9,4	72
Agô ..	19,1	61	60	0,61	66	5,28	100	8,4	67
Set ..	22,7	92	92	0,40	58	5,93	113	12,0	97
Out ..	23,1	96	104	0,51	87	6,53	124	12,4	110
Nov ..	22,5	90	98	0,49	87	6,49	124	11,8	106
Dez ..	24,2	106	122	0,55	109	7,14	136	13,5	127
Ano ..	22,1	-	1.083	0,59	964	-	1.371	11,4	1.150