

MODIFICAÇÃO DO RADIÔMETRO DE GUNN-BELLANI PARA MEDIDAS DA  
RADIÇÃO SOLAR E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

por

Reinaldo Godoy

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

PIRACICABA - ESTADO DE SÃO PAULO

BRASIL

1961

À memoria do Prof. José Benedicto de Camargo

A meus pais

- AGRADECIMENTOS -

Expressamos aqui os nossos melhores a gradecimentos ao Dr. Jesus Marden dos Santos pela orientação e pelo auxílio prestados durante a realização d'êste trabalho; ao Dr. Justo Moretti Filho e ao Prof. Admar Cervellini pelas sugestões e críticas apresentadas; ao Dr. Roland Vencovsky pela orientação na análise estatística; à Fundação Rockefeller pela doação de parte do material utilizado; e a todos que, de várias formas, prestaram-nos sua valiosa colaboração.

## Í N D I C E

1 - <u>INTRODUÇÃO</u> . . . . .	1
2 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u> . . . . .	4
3 - <u>MATERIAL</u> . . . . .	7
3.1 - PIRELIÔMETRO DE EPPLEY . . . . .	7
3.2 - ACTINÓGRAFO DE ROBITZSCH . . . . .	8
3.3 - ANEMÓGRAFOS . . . . .	8
3.3.1 - Anemógrafo de contacto de 500 m . . . . .	8
3.3.2 - Anemógrafo de contacto de 100 m . . . . .	9
3.4 - TERMO-HIGRÓGRAFO . . . . .	9
3.5 - PSICRÔMETRO COM ASPIRADOR DE ASSMAN . . . . .	10
3.6 - TERMÔMETROS . . . . .	10
3.6.1 - Termômetro de máxima . . . . .	10
3.6.2 - Termômetro de mínima . . . . .	10
3.7 - CÁPSULAS DE BELLANI . . . . .	11
3.8 - ATMÔMETROS DE LIVINGSTON . . . . .	12
3.9 - RADIÔMETRO INTEGRADOR DE GUNN-BELLANI . . . . .	13
3.9.1 - Características principais . . . . .	13
3.9.2 - Funcionamento do aparelho . . . . .	15
3.10 - RADIÔMETRO DE SUPERFÍCIE PLANA ("ESALQ") . . . . .	15



3.10.1 - Características principais . . . . .	15
3.10.2 - Funcionamento do aparelho . . . . .	16
3.11 - MATERIAL UTILIZADO NOS TESTES DE LABORATÓRIO	16
4 - <u>MÉTODOS</u> . . . . .	25
4.1 - MÉTODOS DE MONTAGEM NO CAMPO . . . . .	25
4.2 - MÉTODOS DE LEITURA E COTAÇÃO DOS APARELHOS .	28
4.3 - MÉTODO DE CAMPO PARA DETERMINAÇÃO DAS TEMPE- RATURAS DO RADIÔMETRO "ESALQ" . . . . .	30
4.4 - MÉTODO DE PENMAN UTILIZADO NO CÁLCULO DE EVA- POTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL . . . . .	33
4.5 - MÉTODO ESTATÍSTICO . . . . .	33
4.5.1 - Radiação solar . . . . .	33
4.5.2 - Evapotranspiração potencial . . . . .	35
5 - <u>RESULTADOS OBTIDOS</u> . . . . .	37
6 - <u>ANÁLISE ESTATÍSTICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u> . .	45
6.1 - RADIAÇÃO SOLAR . . . . .	45
6.1.1 - Dias descobertos . . . . .	45
6.1.2 - Dias encobertos . . . . .	46
6.1.3 - Comparação entre dias descobertos e dias encobertos . . . . .	46
6.2 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL . . . . .	51

7 - <u>CONCLUSÕES</u> . . . . .	63
7.1 - CONCLUSÕES GERAIS . . . . .	63
7.2 - CONCLUSÕES OBTIDAS COM BASE NOS ENSAIOS DE CAMPO . . . . .	64
7.2.1 - Radiação solar . . . . .	64
7.2.2 - Evapotranspiração potencial . . . . .	65
8 - <u>RESUMO</u> . . . . .	67
9 - <u>BIBLIOGRAFIA CITADA</u> . . . . .	70

## 1. - INTRODUÇÃO:

Um dos problemas, com que nos defrontamos nos estudos de irrigação, é aquêlê relativo ao cálculo da quantidade de água necessária para o bom suprimento da cultura.

Várias são as formas de se determinar êsse total de água, mas todos os métodos propostos dependem implícita ou explicitamente da quantidade de água perdida por evaporação e evapotranspiração, pela cultura. Uma vez conhecida essa quantidade de água, temos que repô-la, levando-se em conta as perdas inevitáveis que essa aplicação acarretará.

A radiação solar, velocidade do vento, déficit de saturação do vapor d'água, variações de temperatura, condições fisiológicas da planta e propriedades físicas do solo são as variáveis que devem ser consideradas para os cálculos da evaporação e da evapotranspiração potencial ou real.

Diversos instrumentos têm sido usados com o fito de se conhecer a evaporação latente (ROBERTSON, 1956a, 1956b), a evapotranspiração potencial (THORNTHWAITE, 1948) e a transpiração vegetal (LIVINGSTON, 1935). Para a utilização desses aparelhos devemos considerar certas generalizações, tais como:

a) o solo deve ser totalmente coberto pela vegetação em estudo;

b) deve ser homogêneo e ter um suprimento constante de água;

c) consideram-se tôdas as espécies vegetais, a priori, como retirando igual quantidade de água do solo, nas mesmas condições de ambiente, desde que os itens a e b sejam

obedecidos.

Com os resultados fornecidos pela evaporação latente ou pela evapotranspiração potencial, estaremos em condições de conduzir uma irrigação de modo satisfatório.

Meteorologistas e irrigacionistas têm feito estudos com a finalidade de se obterem dados concernentes à radiação solar e à evapotranspiração, quer utilizando-se de fórmulas teóricas, quer de aparelhos. Alguns dêsses aparelhos têm sido sucessivamente modificados, buscando-se com o aperfeiçoamento dos mesmos, resultados de maior precisão.

THORNTHWAITE (1948), PENMAN (1948, 1956) BLANEY & CRIDDLE (1950), bem como outros pesquisadores têm proposto fórmulas teóricas para o cálculo da evapotranspiração potencial, exigindo tôdas elas a obtenção de certos dados de campo. Algumas requerem manipulação trabalhosa dêstes dados, porém os resultados obtidos são satisfatórios. Outras, de mais simples manuseio, apresentam pequena vantagem de cálculo, mas fornecem pouca precisão nos resultados, os quais deverão ser corrigidos pela realização de estudos locais.

Pesquisadores vêm efetuando estudos com aparelhos que possam indicar o valor da evapotranspiração potencial, evitando desta forma as possíveis dificuldades que surgem para a aplicação dos dados nas fórmulas teóricas. Foram construídos instrumentos com esta finalidade, e alguns outros foram adaptados ou usados para êste mesmo fim. PEREIRA (1959) tem feito estudos sôbre o problema, utilizando-se do radiômetro integrador de Gunn-Bellani, obtendo resultados satisfatórios.

Baseando-nos em pesquisas anteriores (PEREIRA, 1959) tentamos uma modificação do radiômetro integrador de

Gunn-Bellani, para estudos de radiação solar e de evapotranspiração potencial. A modificação proposta, objeto da tese, diz respeito à forma da superfície receptora, que sendo esférica no aparelho original, foi transformada em superfície plana equivalente. Como uma cultura qualquer, em seu todo, se assemelha a uma superfície plana e não a uma superfície esférica (o que seria verdadeiro no caso de se considerar uma planta isolada, achamos de interêsse a transformação da superfície receptora esférica, do radiômetro de Gunn-Bellani, em uma superfície plana e horizontal.

O aparelho assim modificado foi testado em experimentos de campo e de laboratório. É um instrumento rústico, próprio para a utilização de campo, de fácil manejo, requerendo apenas cuidados nas leituras e na sua conservação.

Dada a simplicidade e rusticidade do aparelho, pudemos verificar que a sua confecção não é custosa, possibilitando a produção em larga escala, através da indústria nacional.

... /// ...



## 2. - REVISÃO DA LITERATURA

Quanto à revisão bibliográfica, tivemos sempre em mira utilizarmos-nos de trabalhos que estivessem de fato intimamente ligados aos nossos estudos, quer sob o aspecto teórico, quer sob o aspecto prático. E desses trabalhos, aproveitamos apenas as citações que se restringiam ao problema a que nos propuzemos tratar.

Assuntos tais, como radiação solar, evapotranspiração potencial e irrigação, são estudados por especialistas nos diversos ramos da ciência agrônômica e da Física, e, sendo assim, vamos encontrar inúmeras citações bibliográficas em níveis distintos de tratamento. Muitos dos problemas focalizados são resolvidos por processos empíricos, outros por processos práticos e outros ainda recebem uma solução teórica.

Nos estudos de evapotranspiração potencial, tivemos que adotar as generalizações propostas por THORNTHWAITE (1948), ROBERTSON (1956b) e diversos outros. Estas generalizações se referem à própria definição da expressão evapotranspiração potencial que é a perda máxima de água que se realiza por evaporação e transpiração ocorrente em um campo inteiramente vegetado, exposto à radiação global, estando o solo com uma umidade próxima a de sua Capacidade de Campo, durante todo o período estudado.

Com base nas generalizações acima citadas, é que encontramos na bibliografia especializada, numerosos estudos, cuja preocupação principal é a de realizar o controle da água disponível para a planta, em todo o seu estágio de de-

envolvimento, pelo emprêgo de aparelhos ou mesmo de cálculos.

No que se relaciona ao uso de aparelhos para o estudo da evaporação e da evapotranspiração, podemos citar os trabalhos de BLOODGOOD, PATTERSON & SMITH (1954), onde se procedeu a uma comparação entre todos os tanques de evaporação utilizados nos U.S.A. O estudo mais completo nestes últimos anos foi realizado no Lago Hefner (Oklahoma), por uma grande equipe de técnicos americanos (1957).

Além dos tanques de evaporação, são empregados, principalmente por fisiologistas vegetais, os atmômetros de superfície porosa (papel ou porcelana). Os trabalhos mais notáveis são aqueles de BELLANI (1920), LIVINGSTON (1935), ROBERTSON (1956a), VEIHMEYER & HENDRICKSON (1957) e HOLMES & ROBERTSON (1959).

Há, presentemente, muitos métodos para o cálculo do total de água perdida por uma cultura. Alguns, como já salientamos, são métodos empíricos, outros práticos e outros ainda são os métodos teóricos denominados métodos do balanço térmico e os da moderna teoria da transferência de massa.

Dos métodos de cálculo estudados, escolhemos aquele proposto por PENMAN (1948) e modificado pelo próprio PENMAN (1956) e por MAKKINK (1957), cuja formulação se baseava numa combinação de método do balanço térmico e do método que emprega a moderna teoria da transferência de massa.

Igualmente nos utilizamos dos trabalhos de radiação solar que realmente interessam à nossa pesquisa.

PROHASKA & WIERZEJEWSKI (1947), GUNN & YEO (1951) e COURVOISIER & WIERZEJEWSKI (1954) desenvolveram a teoria sobre o radiômetro integrador de Gunn-Bellani. PEREIRA (1957

e 1959) estudando o emprêgo dêste radiômetro, estabelece a sua utilização para contrôle da irrigação, comparando resultados de dez anos de observações entre o radiômetro integrador de Gunn-Bellani e tanques de evaporação com diâmetro de 120 cm e 35 cm de profundidade, enterrados no solo.

O escopo de nossa tese é, exatamente, o aproveitamento de um radiômetro integrador para medidas de radiação solar e de evapotranspiração potencial, segundo proposta de PEREIRA (1959), porém com uma modificação do modelo original fabricado por Baird & Tatlock. Esta modificação consiste em se utilizar de uma superfície plana receptora de radiação, ao invés da superfície esférica dos aparelhos empregados por PEREIRA (1959).

/// ...



### 3. - MATERIAL

O experimento foi instalado no parque da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em local de horizonte aberto. Os aparelhos recebiam radiação desde o nascer ao pôr do sol, sem interferência de obstáculos.

O material utilizado neste trabalho constou de: um pireliômetro de Eppley; um actinógrafo de Robitzsch; um anemógrafo de contacto de 500 m; um anemógrafo de contacto de 100 m; um termo-higrógrafo; um psicrômetro com aspirador de Assman; dois termômetros de máxima, de mercúrio em vidro; dois termômetros de mínima, de álcool em vidro; três pares de cápsulas (atmômetros) de Bellani; um par de atmômetros de Livingston; dois radiômetros integradores de Gunn-Bellani e cinco radiômetros com superfície receptora plana, que denominamos "ESALQ".

#### 3.1 - PIRELIÔMETRO DE EPPLEY

O pireliômetro utilizado é de procedência norte-americana e fabricado pelo The Eppley Laboratory, Inc. de Newport, R.I., sendo seu número de fabricação 2.879. Com a finalidade de registrar os impulsos do pireliômetro, utilizamos um potenciômetro Speedomax, tipo G, da Leeds and Northrup Company, Philadelphia, Penn. U.S.A.

O pireliômetro de Eppley é um padrão secundário, usado para a medida da radiação global. É sensível a todos os comprimentos de onda desde 3.000 a 50.000 Å<sup>0</sup>.

### 3.2 - ACTINÓGRAFO DE ROBITZSCH

O actinógrafo usado é de procedência alemã, fabricado por R. Fuess (Berlim-Steglitz), sob referência Nr. 58c. Seu sistema de funcionamento é mecânico e é utilizado para medir a radiação global recebida em uma determinada superfície. Foram usados o pireliômetro e este actinógrafo para a medida da radiação global, porque tendo um sistema elétrico (Eppley) e um sistema mecânico (Robitzsch) não haveria possibilidade de falhas nas observações, na hipótese de faltar energia elétrica no campo.

### 3.3 - ANEMÓGRAFOS

#### 3.3.1 - Anemógrafo de contacto de 500 m.

Este aparelho é fabricado por R. Fuess (Berlim-Steglitz) sob referência Nr. 926 (500) e consta de três conchas hemisféricas de metal, fixas em torno de um eixo vertical. A velocidade do vento necessária para início de funcionamento é 0,7 m/s, e a velocidade máxima permissível é 50 m/s.

Na parte interna do anemógrafo, encontra-se um sistema de engrenagens de modo a estabelecer um contacto de corrente elétrica, por meio de um interruptor de mercúrio, ao percorrer o vento 500 m.

### 3.3.2 - Anemógrafo de contacto de 100 m.

É de mesma fabricação que o de 500 m, tendo a referência Nr. 926 (100).

Obedece ao mesmo sistema de construção que o anterior, estabelecendo contactos cada 100 m percorridos pelo vento.

### 3.4 - TERMO-HIGRÓGRAFO

O termo-higrógrafo é de procedência alemã, fabricado por R. Fuess, (Berlim-Steglitz). Sua finalidade é registrar a temperatura e a umidade relativa do ar, tendo a escala de temperatura uma amplitude variável de  $-35^{\circ}\text{C}$  a  $45^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa variando de 0 a 100%.

O aparelho possui uma lâmina constituída por dois metais soldados, de expansões térmicas distintas. Qualquer variação na temperatura é refletida nesta lâmina, sendo registrada num diagrama com o auxílio de uma pena.

A umidade se mede por meio de um feixe de cabelos especialmente preparados que se distende ou se contrae conforme a variação da referida umidade. Essa variação é registrada num diagrama da mesma maneira como são assinaladas as temperaturas, isto é, com uma pena. O mecanismo de relojoaria é de rotação diária. A precisão das medidas para aparelhos bem aferidos é aproximadamente de  $0,2^{\circ}\text{C}$  e 2% para a temperatura do ar e umidade relativa, respectivamente.



### 3.5 - PSICRÔMETRO COM ASPIRADOR DE ASSMAN

É fabricado por R. Fuess (Berlim-Steglitz), e determina com precisão a umidade do ar. Constitui-se de dois termômetros sensíveis colocados lado a lado. Um deles indica a temperatura do ar, enquanto o outro tem o seu bulbo coberto com musselina úmida. Na extremidade oposta aos bulbos há um mecanismo de relojoaria, que aciona um aspirador, originando uma corrente constante de ar nos dois reservatórios dos termômetros.

### 3.6 - TERMÔMETROS

#### 3.6.1 - Termômetro de máxima

É semelhante ao termômetro clínico comum, tendo um estrangulamento na coluna de mercúrio, logo acima do bulbo. Com a expansão do mercúrio, este é obrigado a passar pelo estrangulamento, de forma que, quando houver um abaixamento de temperatura, o mercúrio não conseguirá retornar ao bulbo. Ficará indicada, então, a temperatura máxima obtida no intervalo de tempo considerado.

A escala do termômetro permite leituras de  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.6.2 - Termômetro de mínima

É semelhante na haste e na graduação ao termômetro comum, e caracteriza-se pela maneira de registrar a temperatura mínima em determinado intervalo de tempo. O líquido termométrico usado é o álcool etílico. Apresenta um bulbo duplo em forma de U, possibilitando maior contacto com o ar atmosférico. Imerso na coluna de álcool, na haste do termômetro, há um indicador em forma de haltere, correndo livremente por toda a extensão da coluna. Contraíndo-se o líquido, devido à queda de temperatura, o indicador é transportado pela superfície livre do álcool, registrando-se a temperatura mínima.

Havendo elevação da temperatura, o indicador permanecerá fixo no ponto mínimo. São possíveis leituras de  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $54^{\circ}\text{C}$ .

Foram usados dois termômetros de máxima e dois de mínima, sendo todos de fabricação R. Fuess (Berlim-Steglitz).

### 3.7 - CÁPSULAS DE BELLANI

As cápsulas usadas são de procedência norte-americana, fabricadas por B.E.Livingston. Os números de fabricação, cor da superfície evaporante e fatores de correção são os seguintes:

<u>Nº de fabricação</u>	<u>Cor</u>	<u>Fator de correção</u>	<u>Nº no campo</u>
BD - 57 - 123 ...	preta	..... 0,90	..... 1
BD - 57 - 209 ...	"	..... 0,90	..... 2
BD - 57 - 228 ...	"	..... 0,90	..... 3
BD - 60 - 204 ...	"	..... 0,95	..... 4
BD - 60 - 119 ...	"	..... 0,91	..... 5
BD - 57 - 6 ...	branca	..... 0,91	..... 6



As cápsulas de Bellani são instrumentos sensíveis e práticos para medir a evaporação latente. Constam, essencialmente, de uma placa plana de porcelana porosa, suportada por um funil de cerâmica branco. A placa plana receptora de radiação pode ser preta ou branca e evapora a água contida no interior da cápsula, devido à porosidade da mesma. Na extremidade inferior da cápsula há um pequeno tubo aberto, o qual dá entrada a um tubo plástico que estabelece a ligação entre cada cápsula e sua respectiva fonte de suprimento d'água. O diâmetro da placa negra superficial é de 8 cm e tem uma espessura de 3 mm, aproximadamente (Fig. 1).

### 3.8 - ATMÔMETROS DE LIVINGSTON

São da mesma procedência e fabricação das cápsulas de Bellani.

Os atmômetros utilizados apresentam as seguintes características:

<u>Nº de fabricação</u>	<u>Côr</u>	<u>Fator de correção</u>	<u>Nº no campo</u>
B - 57 - 121 ..	preta	..... 0,80 .....	7
S - 57 - 145 ..	branca	..... 0,80 .....	8

Os atmômetros de Livingston são de forma esférica, constituindo-se de porcelana porosa e de cor branca ou preta. Na parte inferior da esfera há um pequeno cilindro aberto, de cerâmica, por onde penetra um tubo plástico que liga o atmômetro ao reservatório de água. Este suprimento continuamente de líquido a esfera, permitindo evaporação de água graças à superfície porosa do instrumento. O diâmetro da

esfera dos aparelhos usados é de 5,64 cm, sendo as paredes da mesma de 3 mm aproximadamente, de espessura (Fig. 2).

### 3.9 - RADIÔMETRO INTEGRADOR DE GUNN-BELLANI

#### 3.9.1 - Características principais

Foram utilizados dois radiômetros de Gunn-Bellani, pertencentes à Secção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas e cedidos por especial deferência, pelo Dr. Hernani Godoy e Dr. Angelo Paes de Camargo. São de procedência inglesa e fabricados pela firma Baird & Tatlock (London). Seus números de fabricação são 245 e 236.

O radiômetro de Gunn-Bellani consta de um reservatório de cobre, de forma esférica, com água destilada e de superfície receptora negra. Este reservatório é protegido por um invólucro de vidro cuja semi-esfera superior é de espessura constante (Fig. 5).

A parte inferior do aparelho constitui-se de uma bureta, graduada de 0 a 43 ml, com subdivisões de 0,1 ml. A bureta penetra no envoltório de vidro externo e também no reservatório esférico; possui em seu corpo um condensador de cobre.

Entre o invólucro protetor e o reservatório existe vácuo, o mesmo acontecendo no tubo graduado. A finalidade é evitar qualquer movimento de convecção no interior do aparelho.



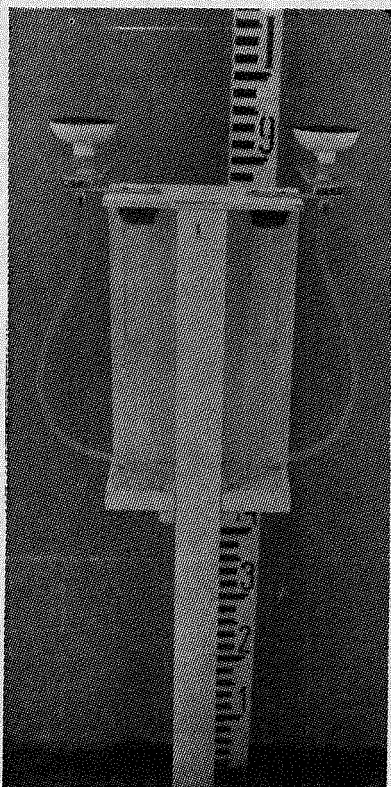


Fig. 1 — Cápsulas de Bellani

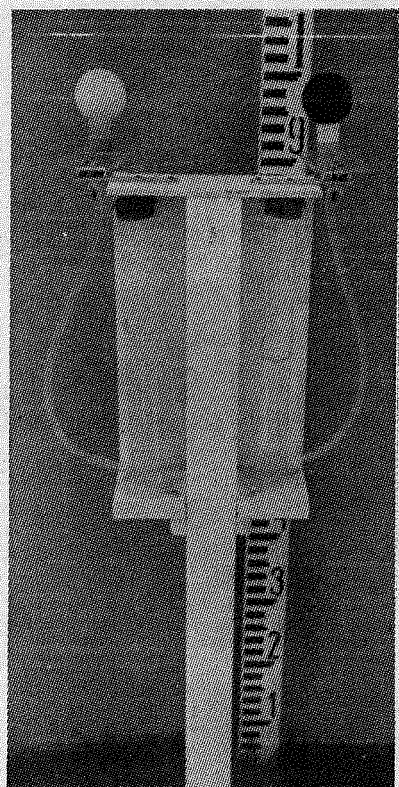


Fig. 2 — Atmômetros de Livingston

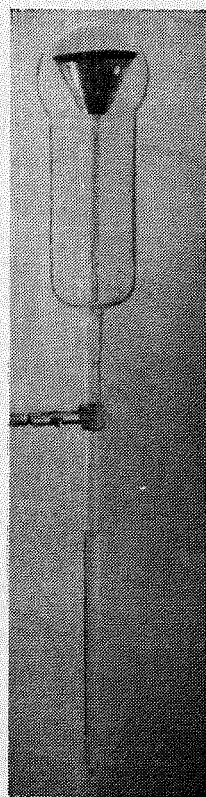


Fig. 3 — Radiômetro "ESALQ"

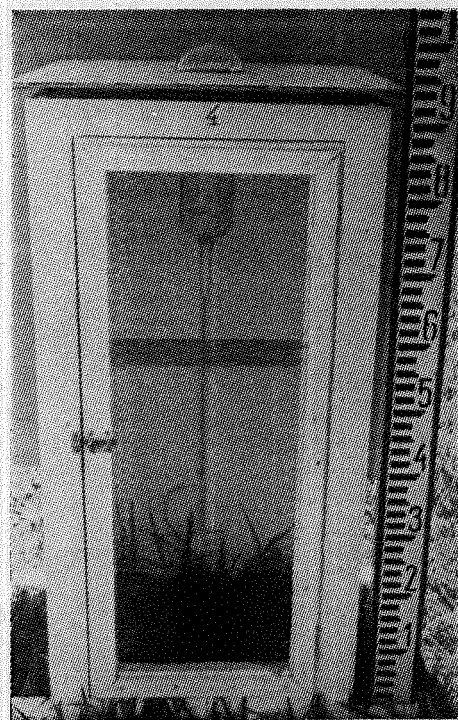


Fig. 4 — Abrigo do radiômetro "ESALQ"



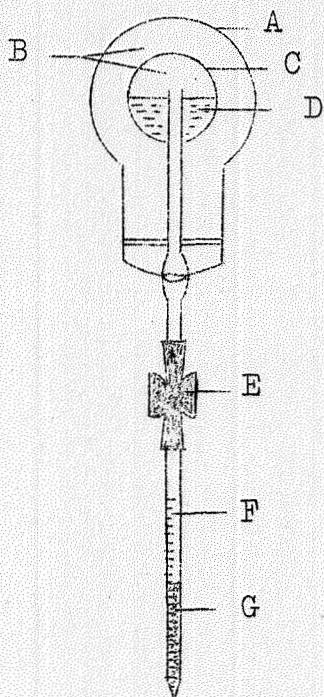


Fig. 5 - Esquema do radiômetro integrador de Gunn-Bellani.

- A - invólucro de vidro, protetor
- B - câmaras de vácuo
- C - esfera de cobre que constitui o reservatório de água (preta, externamente - superfície receptora de radiação)
- D - água destilada
- E - condensador de cobre
- F - tubo graduado em  $\text{cm}^3$
- G - água condensada

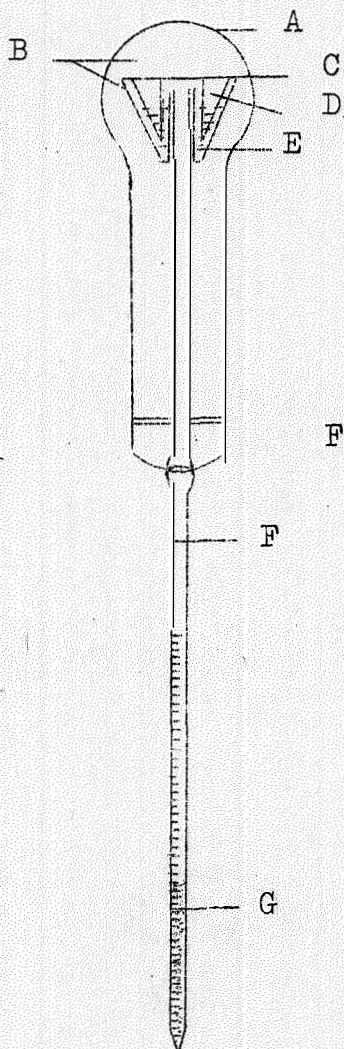


Fig. 6 - Esquema do radiômetro "ESALQ".

- A - invólucro de vidro, protetor
  - B - câmaras de vácuo
  - C - placa de cobre do reservatório de água (preta, externamente - superfície receptora de radiação).
  - D - placa interna de cobre
  - E - reservatório de água
    - espessura das paredes entre o tubo e a placa superior... = 2 mm
  - F - tubo graduado em  $\text{cm}^3$
  - G - água condensada
- $\left. \begin{array}{l} \text{Ø da placa} = 7,5 \text{ cm} \\ \text{Ø da base} = 2,5 \text{ cm} \\ \text{Ø do tubo} = 1,4 \text{ cm} \end{array} \right\}$

### 3.9.2 - Funcionamento do aparelho

O funcionamento se baseia num processo de distilação, sendo o calor das paredes do reservatório transmitido à água existente no seu interior, com conseqüente evaporação da mesma. A água evaporada encontra uma temperatura mais baixa nas paredes do tubo de vidro graduado, condensa-se e vai acumular-se na parte inferior do mesmo.

## 3.10 - RADIÔMETRO DE SUPERFÍCIE PLANA ("ESALQ")

### 3.10.1 - Características principais

Foram usados no experimento, cinco radiômetros de superfície plana, fabricados em São Paulo. A parte metálica foi construída na Oficina Mecânica da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", e as partes de vidro pela firma Andrade, Pedrosa & Cia.

O radiômetro "ESALQ" (Fig. 3) é constituído de um reservatório de cobre, em forma de tronco de cone invertido, protegido por um invólucro de vidro, cuja semi-esfera superior é de espessura uniforme. O vidro usado foi do tipo "pyrex" de fabricação nacional.

O reservatório consta de uma placa plana de cobre eletrolítico, com superfície equivalente à da semi-esfera do aparelho de Gunn-Bellani (Fig. 6). Colamos a placa ao corpo do reservatório, com o adesivo "araldite". A referida placa de cobre recebeu uma pintura de tinta negra especial,



opaca. Para se evitar falhas na pintura, em seguida à primeira demão aquecemos a placa com uma lâmpada, de raios infra-vermelhos; só depois aplicamos as duas demãos subsequentes. Em cada demão, usamos a mínima quantidade de tinta, e quantidades iguais em tôdas as placas.

O corpo do reservatório foi cromado, uma vez que a tinta branca utilizada no início não resistiu à alta temperatura necessária à confecção da parte de vidro do aparelho.

Na parte inferior do reservatório, o tubo foi graduado de 0 a 58 ml, permitindo leituras até décimos de ml.

Entre o invólucro e o reservatório e no tubo graduado, fêz-se vácuo.

### 3.10.2 - Funcionamento do aparelho

O funcionamento do aparelho se baseia no processo de destilação idêntico ao radiômetro de Gunn-Bellani.

### 3.11 - MATERIAL UTILIZADO NOS TESTES DE LABORATÓRIO

(Determinação da condensação com o auxílio de lâmpada solar)

Êstes testes foram efetuados utilizando-se dois radiômetros, sendo um de superfície plana e outro de superfície esférica. Usamos uma lâmpada solar com as seguintes características:

Marca Pope, 120 V, 500 W, Photo-Flood, tipo P 1.007

Para a efetivação dos testes construímos um semi-círculo de ferro com 0,60 m de raio. As extremidades dêsse suporte foram parafusadas a uma tábua de suporte pintada de prêto, tendo em sua parte central um orifício de 0,11 m de diâmetro. Abaixo dêsse orifício, por meio de parafusos com mola, acoplamos uma placa de duratex, onde assentamos o radiômetro. Com o auxílio dos parafusos procedemos ao nivelamento do aparelho.

O soquete que mantinha a lâmpada, apresentava um dispositivo de fixação no arco de ferro, na posição desejada. Ainda quanto à montagem da lâmpada, utilizou-se de um dispositivo dotado de diafragmas, a fim de se obter um feixe luminoso uniforme que incidisse unicamente na placa receptora do radiômetro.

A Fig. 7 representa o esquema da montagem para os testes de laboratório.

No suporte de ferro assinalamos as posições correspondentes aos ângulos de 90°, 60°, 45° e 30°, que foram ocupadas pela lâmpada no espaço de tempo de 7 horas, destinado a cada posição.

Os testes foram realizados em recinto fechado e completamente escuro, para a eliminação de quaisquer interferências.

O primeiro teste efetuado constituiu-se de duas partes:

a) verificar a variação da evaporação em intervalos iguais de tempo, nos dois radiômetros. Assim poderíamos determinar a constância ou não de suas respostas. Para o radiômetro "ESALQ" o teste teve a duração de 14 horas e para o radiômetro de Gunn-Bellani, 17 horas. Os valores en-

contrados acham-se nos Quadros 1 e 2.

b) enquanto o radiômetro de superfície esférica ocupou apenas a posição zenital, com o radiômetro de superfície plana, aplicamos a fonte de luz nas posições de  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $30^\circ$ , cujo teste teve a duração de 7 horas em cada posição. As leituras foram feitas com intervalos de 30 minutos e os resultados obtidos acham-se no Quadro 3.

Observou-se que a evaporação total obtida em cada posição foi inversamente proporcional ao cosseno do ângulo que o fluxo luminoso fazia com a posição zenital. As relações entre os totais encontrados e os valores esperados encontram-se abaixo:

$$\cos 30^\circ = 0,87 \quad \text{valor obtido} = \frac{24,7}{27,4} = 0,90$$

$$\cos 45^\circ = 0,71 \quad \text{valor obtido} = \frac{18,4}{27,4} = 0,67$$

$$\cos 60^\circ = 0,50 \quad \text{valor obtido} = \frac{14,4}{27,4} = 0,52$$

As Figs. 8 e 9, nos dão a representação gráfica destes testes.

No segundo teste, a série de observações nos permitiu determinar o tempo durante o qual a água continuou a evaporar, após desligada a lâmpada. Procedemos da seguinte maneira: duas horas depois de iniciado o teste, desligamos a luz, tendo sido feitas leituras a partir desse instante, de 15 em 15 minutos. Os resultados se acham no Quadro 4.



Quadro 1 - Teste de laboratório. Variação da evaporação no radiômetro "ESALQ", na posição zenital.

P o s i ç ã o      Z e n i t a l			
Horas	Condensação	Horas	Condensação
8,50	6,0	16,20	30,5
9,20	6,2	16,50	32,1
9,50	7,3	17,20	34,0
10,20	8,7	17,50	36,0
10,50	10,8	18,20	37,9
11,20	12,9	18,50	39,3
11,50	15,0	19,20	41,4
12,20	16,7	19,50	43,0
12,50	19,1	20,20	45,1
13,20	20,3	20,50	46,5
13,50	22,3	21,20	48,4
14,20	23,9	21,50	50,2
14,50	25,4	22,20	51,9
15,20	27,2	22,50	53,7
15,50	28,8	-	-

Quadro 2 - Teste de laboratório. Variação da evaporação no radiômetro de Gunn-Bellani, na posição zenital.

P o s i ç ã o      Z e n i t a l			
Horas	Condensação	Horas	Condensação
7,20	0,3	16,20	16,9
7,50	0,5	16,50	17,9
8,20	1,1	17,20	18,9
8,50	2,0	17,50	19,9
9,20	3,0	18,20	20,8
9,50	4,0	18,50	21,8
10,20	4,5	19,20	22,7
10,50	5,5	19,50	23,6
11,20	6,5	20,20	24,5
11,50	7,5	20,50	25,3
12,20	8,5	21,20	26,4
12,50	9,5	21,50	27,2
13,20	10,5	22,20	28,1
13,50	11,2	22,50	29,0
14,20	12,2	23,20	29,9
14,50	13,1	23,50	30,7
15,20	15,0	0,20	31,6
15,50	15,9	-	-

Quadro 3 - Teste de laboratório, Variação da evaporação no radiômetro "ESALQ", em diferentes posições.

90°		60°		45°		30°	
Hora	Conden- sação	Hora	Conden- sação	Hora	Conden- sação	Hora	Conden- sação
11,35	6,8	10,00	6,3	8,00	5,8	7,30	6,7
12,05	7,0	10,30	6,5	8,30	6,0	8,00	6,9
12,35	8,1	11,00	7,3	9,00	6,6	8,30	7,4
13,05	9,7	11,30	9,1	9,30	7,9	9,00	8,4
13,35	12,1	12,00	11,0	10,00	9,3	9,30	9,4
14,05	14,4	12,30	12,8	10,30	10,6	10,00	10,5
14,35	17,2	13,00	14,8	11,00	12,2	10,30	11,5
15,05	19,3	13,30	16,7	11,30	13,6	11,00	12,4
15,35	21,4	14,00	18,7	12,00	15,5	11,30	13,7
16,05	23,5	14,30	20,7	12,30	16,9	12,00	14,9
16,35	25,9	15,00	22,6	13,00	18,5	12,30	16,2
17,05	27,9	15,30	24,7	13,30	20,1	13,00	17,4
17,35	29,9	16,00	26,8	14,00	21,7	13,30	18,6
18,05	32,1	16,30	29,0	14,30	22,5	14,00	19,9
18,35	34,2	17,00	31,0	15,00	24,2	14,30	21,1



Quadro 4 - Teste de laboratório. Variação da evaporação no radiômetro "ESALQ" após a retirada da fonte de luz.

P o s i ç ã o	Z e n i t a l
Horas	Condensação
13,15	4,9
13,45	5,1
14,15	6,3
14,45	7,9
15,15	9,9
Retirada a fonte de luz	
15,30	10,4
15,45	10,8
16,00	10,8
16,15	10,8
16,30	10,8
16,45	10,8
17,00	10,8

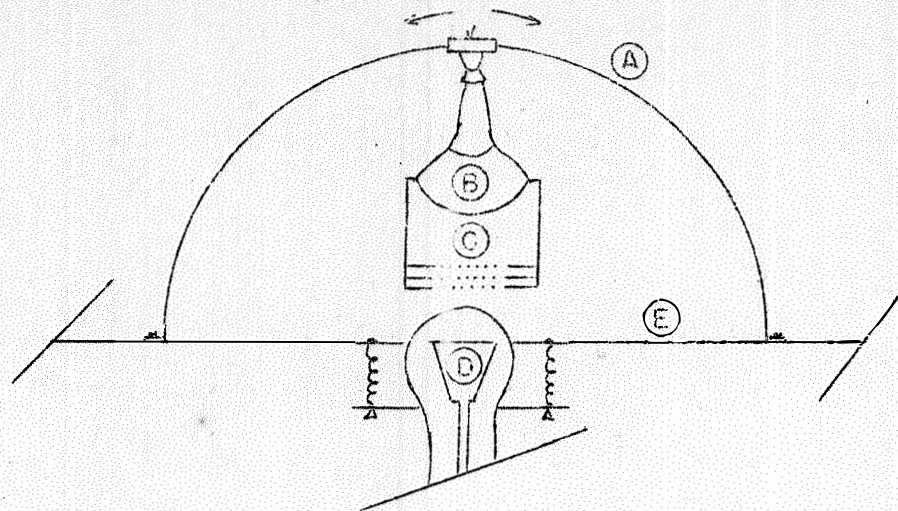


Fig. 7 - Teste de laboratório. Esquema da montagem.

- A - suporte de ferro
- B - lâmpada solar
- C - cilindro de foco diafragmático
- D - radiômetro "ESALQ"
- E - suporte de madeira

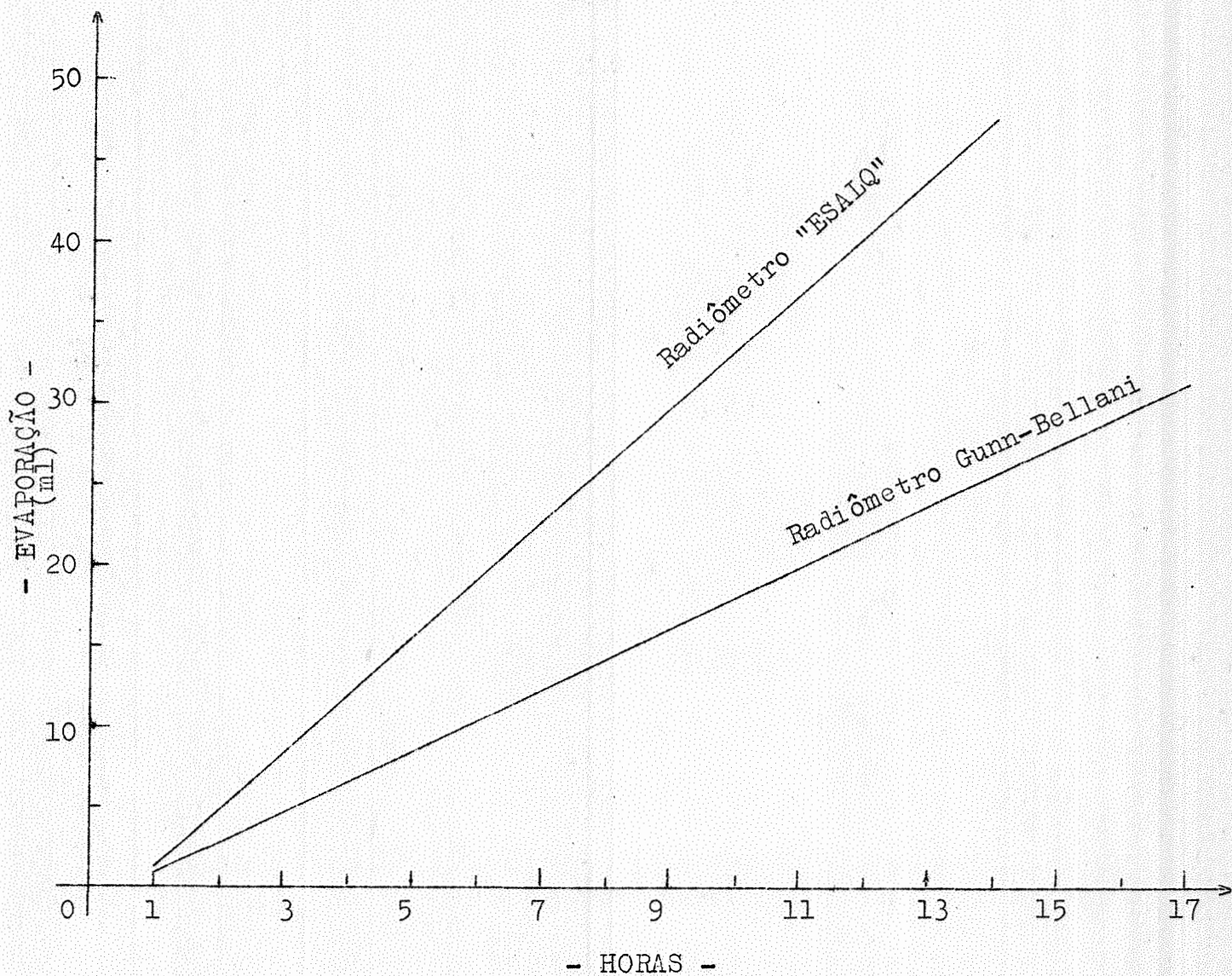


Fig. 8 - Teste de laboratório. Gráfico acumulativo dos incrementos da evaporação nos radiômetros "ESALQ" e de Gunn-Bellani.





Fig. 9 - Teste de laboratório. Gráfico acumulativo da variação da evaporação sob diversas posições.

#### 4. - MÉTODOS.

##### 4.1 - MÉTODOS DE MONTAGEM NO CAMPO

O pireliômetro de Eppley foi instalado a um metro do solo, no t<sup>o</sup>po de um mastro com 7,5 cm de diâmetro. Instalação idêntica foi adotada em relação ao actinógrafo de Robitzsch. Em ambos os casos providenciamos um sistema de nivelamento dos instrumentos. Este sistema era de simples e fácil manejo, possibilitando uma aferição constante do nível. Cuidados especiais foram tomados para evitar o sombreamento da superfície receptora da radiação solar de cada aparelho.

Os anemógrafos de contacto de 500 e 100 metros foram instalados a dois metros de altura, sôbre um mastro de 2,5 cm de diâmetro. A localização dos mesmos foi feita de tal forma que as suas sombras não incidissem sôbre qualquer dos instrumentos de medida utilizados.

No abrigo termométrico instalamos o termo-higrógrafo, os termômetros de máxima e de mínima e o psicrômetro. Todos êstes instrumentos situaram-se a um metro do solo.

A montagem das cápsulas de Bellani e dos atmômetros de Livingston se fêz aos pares. Em cada suporte de madeira (Fig. 1 e 2) instalou-se um par de cápsulas. Tivemos o cuidado de construir um sistema de nivelamento bastante simples, o que facilitou sobremaneira o contrôle do nível da superfície plana das cápsulas de Bellani. Após a instalação no campo experimental, os suportes receberam números ,

cuja especificação de montagem se vê abaixo:

<u>Nº do suporte</u>	<u>Nº das cápsulas no campo</u>	<u>Tipo</u>
1 .....	1 e 2 ...	Bellani (par prêto)
2 .....	6 e 5 ...	Bellani (par branco e prêto)
3 .....	7 e 8 ...	Livingston (par branco e prêto)
4 .....	3 e 4 ...	Bellani (par prêto)

As superfícies livres dos atmômetros de Livingston e das cápsulas de Bellani ficaram distantes cêrca de 1 metro do solo.

Os radiômetros de Gunn-Bellani foram instalados , segundo as especificações da fábrica, em um suporte cilíndrico enterrado no solo.

Os radiômetros "ESALQ" foram intalados em abrigos especialmente construídos, situando-se a um metro do solo (Fig. 4).

Os abrigos construídos para os radiômetros "ESALQ", possuíam em sua parte superior, um sistema de nivelamento.

Como todo aparelho de superfície receptora plana necessita estar perfeitamente nivelado, a fim de eliminar os erros sistemáticos que possam advir, como consequência dos diferentes ângulos de inclinação de suas superfícies, cuidou-se de obter um perfeito nivelamento no pireliômetro de Eppley, no actinógrafo de Robitzsch, nas cápsulas de Bellani e nos radiômetros "ESALQ".

A disposição dos aparelhos no campo é representada pelas Figs. 10 e 11.



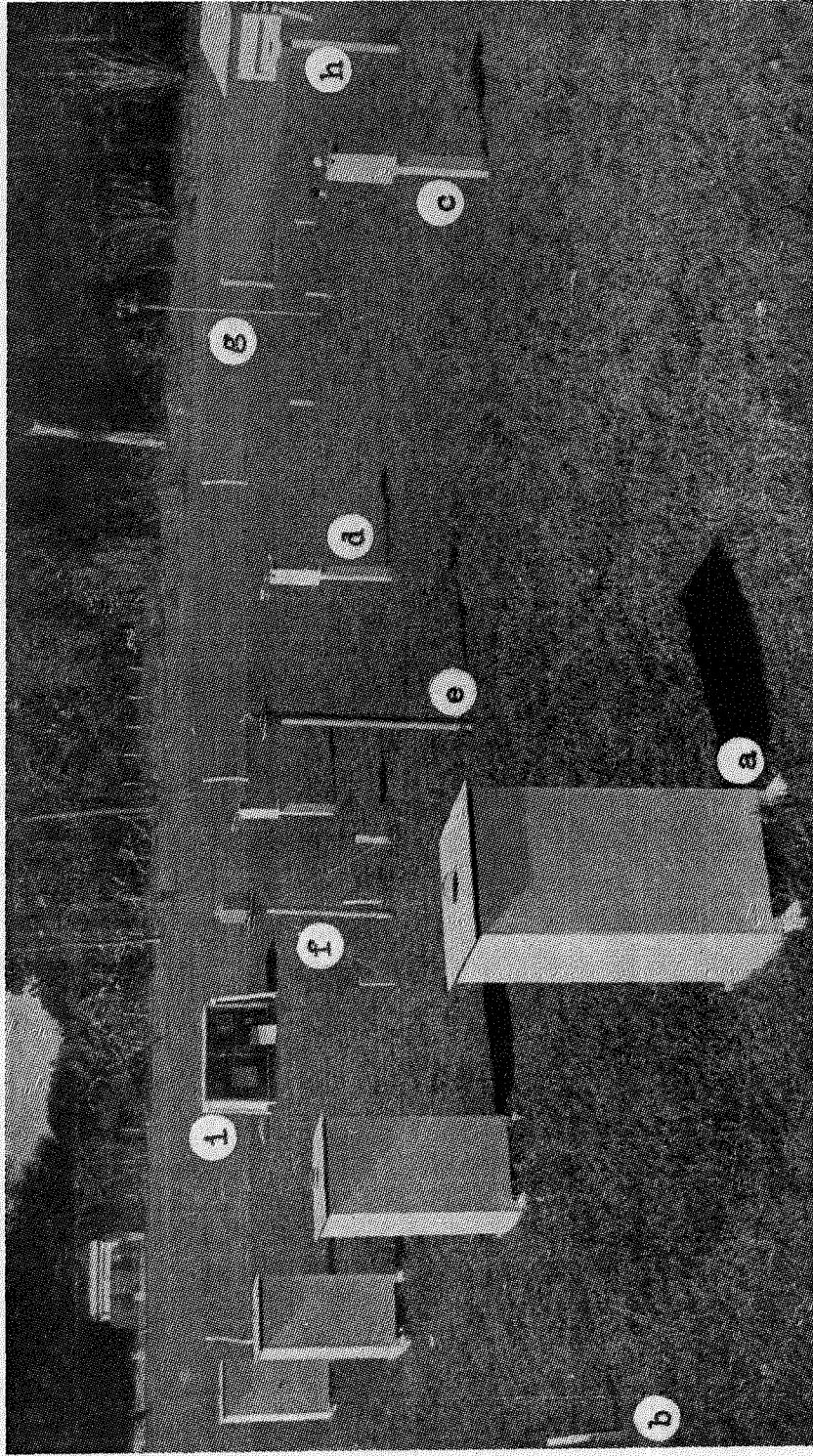


Fig. 7 — Vista do campo experimental, onde se vêem os aparelhos utilizados no experimento

- a — radiômetros "ESALQ"
- b — radiômetros de Gunn-Bellani
- c — atmômetros de Livingston
- d — cápsulas de Bellani
- e — pireliômetro de Eppley

- f — actinógrafo de Robitzsch
- g — anemógrafo
- h — abrigo termométrico
- i — abrigo do potenciômetro e do registrador dos anemógrafos

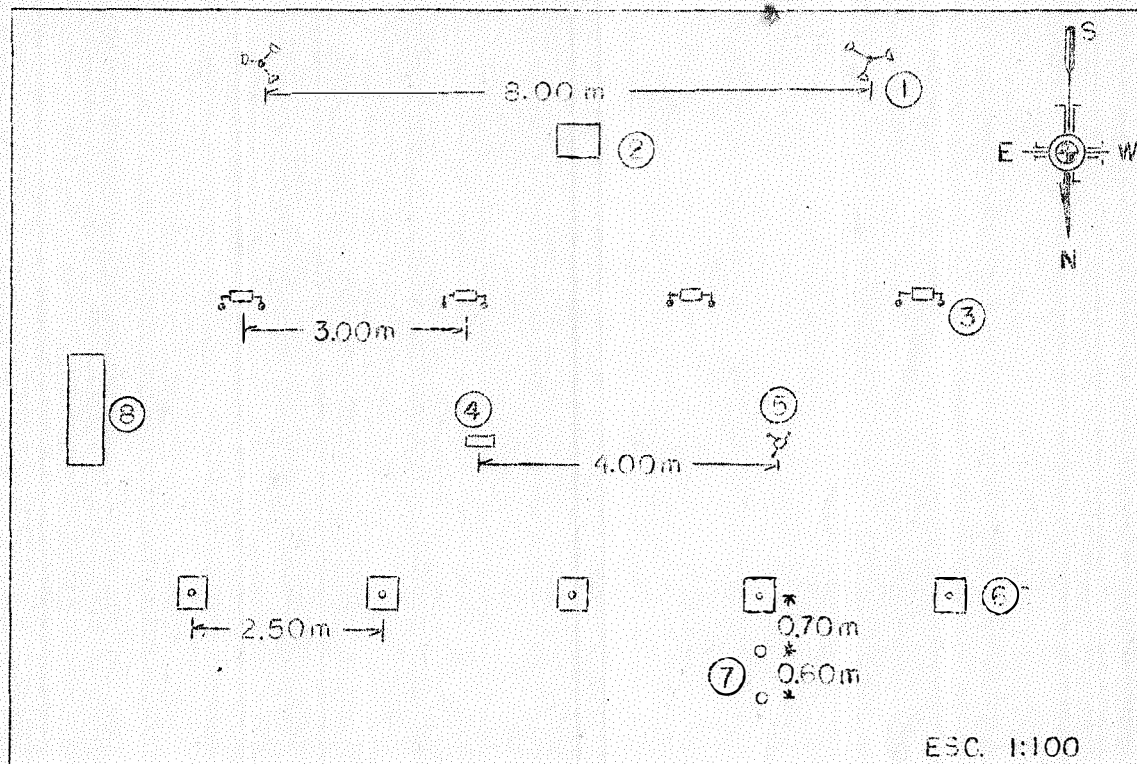


Fig. 11 - Planta do campo experimental indicativa da disposição dos aparelhos no campo.

- 1 - anemógrafos
- 2 - abrigo termométrico
- 3 - cápsulas de Bellani e atmômetros de Livingston
- 4 - actinógrafo de Robitzsch
- 5 - pireliômetro de Eppley
- 6 - radiômetros "ESALQ"
- 7 - radiômetros de Gunn-Bellani
- 8 - abrigo do potenciômetro e do registrador dos anemógrafos



#### 4.2 - MÉTODOS DE LEITURA E COTAÇÃO DOS APARELHOS

Nesta série de observações possuíamos no campo experimental, além dos aparelhos no abrigo termométrico e dos anemógrafos, instrumentos para medida da radiação solar e da evaporação de água.

Durante o período de observações foram feitas comparações das leituras do pireliômetro de Eppley e do actinógrafo de Robitzsch.

Após 100 dias de observações, escolhemos aqueles de condições características de céu sem nuvem e céu completamente encoberto.

A cotação dos diagramas do pireliômetro de Eppley e dos diagramas do actinógrafo de Robitzsch foram feitas por meio de um planímetro polar Amsler (Tipo 10 Nº 8115). A área total obtida foi transformada no total de calorias recebidas em um centímetro quadrado durante o período de insolação (do nascer ao pôr do sol).

As leituras de destilado nos radiômetros "ESALQ" foram feitas ao nascer e ao pôr do sol. Entretanto, nos dias de muito boa insolação, quando a evaporação da água era intensa, evitávamos que o destilado ultrapassasse o valor de 25 ml na escala graduada, a fim de não permitir uma diminuição acentuada do volume de água do reservatório receptor de radiação.

Com os radiômetros de Gunn-Bellani, o procedimento foi idêntico àquele seguido para o caso dos radiômetros "ESALQ"; por diferença entre leituras obtivemos o total de água evaporada no dia.

Para as cápsulas de Bellani e para os atmômetros



de Livingston fizemos as leituras seguindo o mesmo critério adotado para os radiômetros, isto é, pela diferença entre as leituras ao nascer e ao pôr do sol, calculamos o total diário evaporado.

Os volumes foram obtidos em ml, tanto para os radiômetros, como para as cápsulas e atmômetros. Para cálculos da radiação solar os volumes de água evaporada foram convertidos em  $\text{cal/cm}^2/\text{dia}$ , e para as medidas de evapotranspiração potencial, reduzimo-los a mm de altura d'água, tendo por base as superfícies de evaporação. No caso das cápsulas de Bellani e atmômetros de Livingston, aquelas conversões foram baseadas nos estudos realizados por ROBERTSON (1956a) e HALKIAS, VEIHMEYER & HENDRICKSON (1955).

Os anemógrafos de 100 e 500 metros tiveram seus registros trocados antes do nascer do sol. Assinalamos o início e o fim de cada período de observação. As cotações foram efetuadas seguindo o critério recomendado pela fábrica dos citados aparelhos: procedemos à contagem horária do número de contactos assinalados no diagrama; com o auxílio dos gráficos de cada aparelho, elaboramos uma tabela de valores de velocidade em m/s.

No caso do termo-higrógrafo, como fizemos nos demais aparelhos, assinalamos diariamente o início e o fim do período de insolação. As cotações foram efetuadas de hora em hora, obtendo-se o valor médio horário tanto para o termógrafo como para o higrógrafo. Este foi aferido, tendo-se por base as determinações realizadas com o psicrômetro. Adotou-se idêntico procedimento para o termógrafo.

Nas leituras de temperatura máxima e de temperatura mínima, foram utilizados dois termômetros para cada uma

destas determinações. Com isto procuramos evitar erros de leitura ou falhas devidas a possíveis acidentes com os aparelhos, e ao mesmo tempo, comparar os valores obtidos pelos dois processos, isto é, do termógrafo e dos termômetros.

#### 4.3 - MÉTODO DE CAMPO PARA DETERMINAÇÃO DAS TEMPERATURAS DO RADIÔMETRO "ESALQ"

Para obtermos informações acêrca das temperaturas internas reinantes no aparelho, praticamos um pequeno orifício no envoltório protetor, de vidro, de um dos radiômetros de superfície plana e dois outros no tubo graduado, sendo um na parte superior e outro na parte inferior.

Através dos orifícios introduzimos pares termoelétricos, com a finalidade de avaliarmos as temperaturas seguintes: da água no reservatório metálico, da câmara formada pela superfície receptora de radiação e pela superfície da água no reservatório, da água condensada no tubo graduado, e do ambiente logo acima da água condensada.

Os orifícios foram vedados de modo a manter os fios, dos pares termoelétricos, colados ao vidro. Para tanto, foi utilizado o adesivo "araldite".

Esse conjunto de pares termoelétricos instalados no interior do radiômetro, conforme Fig. 13, e mais um outro par utilizado para determinações da temperatura do ar, foram ligados a um potenciômetro. Os resultados da conversão de milivolts para graus centígrados estão expostos no Quadro 5 e também representados gráficamente na Fig. 12.

Quadro 5 - Teste de campo. Temperaturas internas do radiômetro "ESALQ" (°C), obtidos por pares termoeletrônicos.

Hora	Câmara	Água do re- servatório	Tubo graduado	Água do tubo	Ar
8,36	23,3	24,6	19,2	18,9	19,3
8,45	24,7	25,7	20,5	19,5	20,2
9,00	27,3	28,9	21,5	20,8	21,6
9,15	30,3	31,8	22,2	21,6	21,9
9,30	34,2	35,7	23,6	23,2	23,4
9,45	36,1	39,0	24,0	23,5	23,7
10,00	38,8	40,5	24,9	24,3	24,1
10,15	41,9	43,8	26,4	25,2	25,4
10,30	44,6	46,6	27,4	26,4	26,3
10,45	47,1	48,9	28,0	27,2	27,8
11,00	49,5	51,4	28,5	27,7	27,9
11,15	52,4	54,3	29,2	28,2	29,2
11,30	54,2	56,2	30,1	29,2	29,3
11,45	56,2	58,2	31,4	30,3	29,7
12,00	58,0	59,8	31,7	31,1	30,5
12,15	59,3	61,1	31,7	31,2	31,2
12,30	60,5	62,3	32,4	31,5	31,3
12,45	61,7	63,1	32,5	31,6	31,6



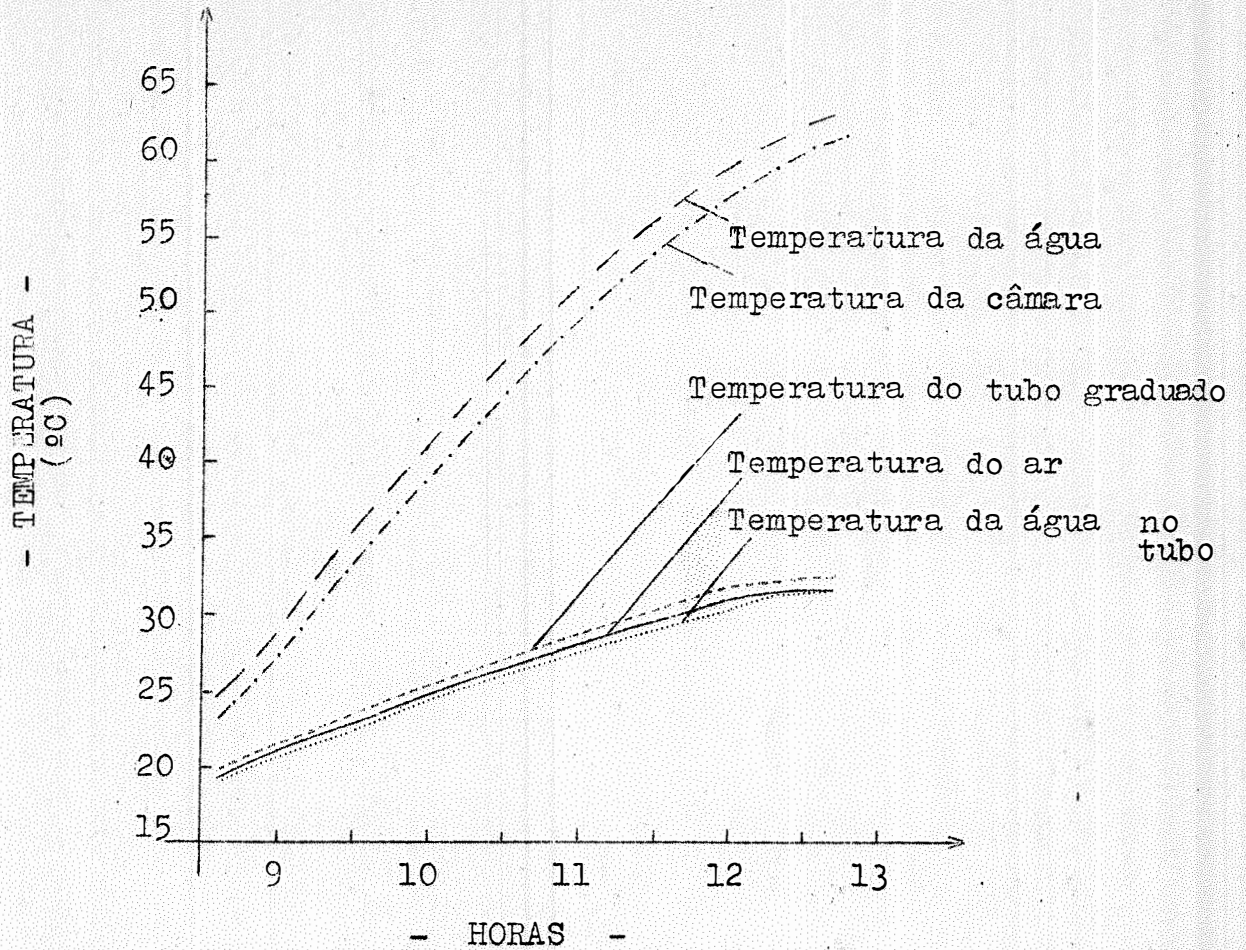


Fig. 12 - Teste de campo. Curvas das temperaturas internas do radiômetro "ESALQ", obtidas com os pares termoeletricos.

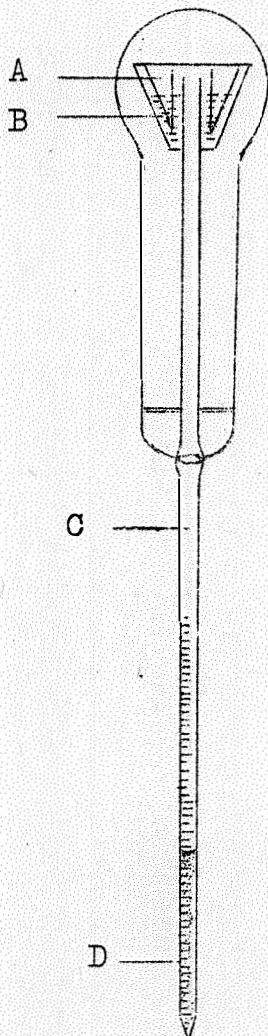


Fig. 13 - Teste de campo. Esquema da medida das temperaturas internas do radiômetro "ESALQ".

- A - par termoeletrico na câmara do reservatório
- B - par termoeletrico na água do reservatório
- C - par termoeletrico na bureta
- D - par termoeletrico na água da bureta.

#### 4.4 - MÉTODO DE PENMAN UTILIZADO NO CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

O método que adotamos para o cálculo da evapotranspiração potencial foi aquele proposto por PENMAN (1948) e modificado pelo próprio PENMAN (1956) e por MAKKINK (1957).

A descrição do método e das modificações propostas não serão focalizadas neste trabalho, pois a bibliografia citada traz com pormenores tôdas as considerações teóricas e práticas relativas ao problema.

Nas aplicações para nossos estudos transformamos as fórmulas, para o emprêgo dos resultados obtidos, em unidades do sistema métrico decimal e da escala centígrada.

#### 4.5 - MÉTODO ESTATÍSTICO

##### 4.5.1 - Radiação solar

###### a) Dias descobertos

Procedemos à determinação da correlação e regressão entre os dados obtidos.

Determinamos os coeficientes de correlação entre as séries de observações referentes ao radiômetro "ESALQ", ao radiômetro Gunn-Bellani, à cápsula de Bellani e ao atmômetro de Livingston, todos em relação ao padrão secundário, isto é, ao pireliômetro de Eppley, para a determinação da radiação solar.

Isto foi realizado com a finalidade de se equacionar



nar os dados e se conhecer a exatidão da equação representativa da relação entre os resultados obtidos com os aparelhos.

Nos casos em que se verificou correlação, determinamos a equação da curva representativa dos dados e o seu coeficiente de regressão.

Os valores desses coeficientes, tanto de correlação como de regressão, acham-se no Quadro 9.

#### b) Dias encobertos

Seguimos o mesmo critério adotado para os dias descobertos. Desta maneira, determinamos a correlação entre os dados fornecidos pelos aparelhos e, em seguida, calculamos os valores dos coeficientes de regressão. Os coeficientes de correlação e os de regressão determinados estão citados no Quadro 10.

Não foram usados neste estudo, os dados da cápsula de Bellani e do atmômetro de Livingston, em virtude da impossibilidade de utilização dos referidos aparelhos em dias de chuva.

#### c) Comparação entre dias descobertos e dias encobertos

Fizemos as comparações entre o valor do coeficiente de correlação para dias descobertos, com o valor do coeficiente de correlação para dias encobertos, com os dados do aparelho "ESALQ". O mesmo fizemos para o radiômetro de Gunn-Bellani. Os resultados são encontrados no Quadro 11. O teste utilizado foi o  $\sigma$ , correspondente ao teste  $t$  com infinitos graus de liberdade.

Em seguida, procedemos à comparação entre os coeficientes de correlação para dias descobertos e encobertos, do aparelho "ESALQ", e os coeficientes correspondentes do a



parelho de Gunn-Bellani. Para a efetivação desta comparação, utilizamo-nos do valor médio dos dois coeficientes de cada radiômetro. Os resultados desta análise se encontram no Quadro 12.

Aplicamos também o teste da covariância (SNEDECOR, 1957), visando comparar os coeficientes de regressão e as médias ajustadas, de dias descobertos com os de dias encobertos. Isto para cada aparelho. Os resumos dessa análise encontram-se nos Quadros 13 e 14, estando os valores obtidos, condensados no Quadro 15.

A seguir comparamos os coeficientes de regressão do radiômetro "ESALQ" com os coeficientes de regressão do radiômetro de Gunn-Bellani, para dias descobertos. O mesmo se fez para dias encobertos. Os resultados encontrados, pela análise da covariância, acham-se nos Quadros 16 e 17 e resumidos no Quadro 18.

Finalmente, com base nas análises efetuadas, pudemos determinar as equações de regressão de cada aparelho em relação ao pireliômetro de Eppley, tanto para dias descobertos como para dias encobertos. Estas equações estão representadas nos Quadros 19 e 20, bem como os intervalos de confiança dos respectivos coeficientes com 95% de probabilidade.

#### 4.5.2 - Evapotranspiração potencial

Os dados obtidos foram analisados obedecendo ao seguinte critério: determinamos, inicialmente, os coeficientes de correlação do radiômetro "ESALQ" com a fórmula de Penman modificada, com a cápsula de Bellani e com o atmôme

tro de Livingston. O mesmo foi feito com o radiômetro de Gunn-Bellani. Os valores encontrados estão no Quadro 21.

Após isto, procedemos à comparação entre os coeficientes de correlação dos dados dos aparelhos que mostraram correlação significativa; estas comparações estão no Quadro 22, e o teste usado foi o  $\delta$ .

A seguir comparamos os coeficientes de correlação entre dados dos aparelhos "ESALQ" e Gunn-Bellani, utilizando nos dos valores médios encontrados na comparação de cada um desses radiômetros com os demais aparelhos. Os aparelhos encontram-se no Quadro 23.

Pela análise da covariância, comparamos os coeficientes de regressão e as médias ajustadas, entre os dados do radiômetro "ESALQ" e os do radiômetro de Gunn-Bellani, ambos calculados em relação à fórmula teórica de Penman modificada. Esta análise está resumida no Quadro 24.

Para completar o estudo, determinamos as equações de regressão, com os respectivos intervalos de confiança dos coeficientes, com 95% de probabilidade. As equações determinadas dizem respeito somente aos dados dos aparelhos em que se verificou dependência estatística e estão apresentadas no Quadro 25.

... /// ...

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

A série de observações obtida nesta pesquisa teve seu início no dia 17 de abril e o seu término no dia 6 de agosto de 1961.

Os primeiros dias serviram para a realização de testes preliminares e para o estabelecimento de métodos de observação.

Após o período de estudos, tínhamos em mãos um total de cem dados correspondentes aos dias cujas condições meteorológicas foram satisfatórias.

Fizemos um estudo preliminar dos registros do pireliômetro de Eppley e do actinógrafo de Robitzsch, procurando separar os dias caracteristicamente encobertos, desde o nascer ao pôr do sol, daqueles de insolação muito boa. O total de dias encobertos ou nublados foi de treze, segundo demonstramos no Quadro 7.

Dos oitenta e sete dados restantes sorteamos setenta dias para a realização dos estudos de evapotranspiração; destes setenta, por sorteio, eliminamos vinte, e os cinquenta dias restantes foram escolhidos para procedermos aos estudos de radiação solar.

Os Quadros 6 e 8 fornecem um resumo de todos os cálculos realizados.

No Quadro 6, a terceira coluna apresenta valores médios obtidos com três radiômetros "ESALQ"; na quarta coluna encontramos os valores médios obtidos com dois radiômetros de Gunn-Bellani. Os dados da quinta coluna se referem aos resultados obtidos com cinco cápsulas de Bellani; final



mente, na sexta coluna são apresentados os valores reais obtidos apenas com um atmômetro de Livingston.

No Quadro 8, as colunas 4 e 5 apresentam valores médios obtidos, tendo por base os mesmos aparelhos utilizados para os dados das colunas correspondentes do Quadro 6. Os valores da terceira coluna são médias de três radiômetros "ESALQ", e a coluna de número 6 apresenta valores de evapotranspiração obtidos a partir da diferença de evaporação do atmômetro de Livingston de superfície branca e o de superfície preta.

Quadro 6 - Radiação solar. Total diário de radiação solar para dias descobertos (cal/cm<sup>2</sup>/dia).

Dia	Rad.Solar	"ESALQ"	Gunn-Bellani	Bellani	Livingston
29/4	449,42	318,60	320,96	192,34	159,89
30/4	488,00	364,03	365,80	234,82	179,95
1 <sup>a</sup> /5	466,06	354,59	351,64	267,86	189,98
7/5	426,50	318,01	311,52	306,21	209,45
11/5	463,08	344,56	325,68	310,34	209,45
12/5	492,00	350,46	343,38	273,76	194,70
14/5	417,00	284,38	269,04	226,56	159,89
15/5	415,92	302,67	300,90	227,15	159,89
16/5	428,20	315,65	311,52	267,86	200,01
17/5	420,94	304,44	290,28	349,28	239,54
21/5	463,80	307,98	299,72	244,85	174,64
22/5	404,52	310,93	309,16	244,85	179,95
26/5	417,19	304,44	297,36	240,72	179,95
27/5	447,00	303,26	298,54	243,08	179,95
28/5	450,60	303,26	309,16	303,85	229,51
29/5	435,88	315,65	320,96	302,08	234,82
30/5	438,31	315,06	317,42	341,02	248,98
31/5	431,91	315,65	299,72	351,64	256,06
1 <sup>a</sup> /6	428,73	315,65	300,90	346,92	249,57
2/6	425,73	306,80	285,56	367,57	259,60
7/6	398,89	289,69	290,28	302,08	224,79
9/6	403,36	299,13	315,06	355,18	259,60
18/6	416,40	287,33	299,72	244,85	179,95
19/6	429,20	291,46	309,16	302,08	224,79
25/6	425,31	274,35	284,38	335,12	224,79

Quadro 6 - Continuação

Dia	Rad. Solar	"ESALQ"	Gunn-Bellani	Bellani	Livingston
26/6	415,68	298,54	302,08	351,64	254,88
28/6	418,56	235,41	221,84	356,95	244,85
1º/7	408,64	299,13	309,16	342,79	249,57
2/7	403,20	276,12	276,12	369,64	259,60
10/7	416,91	274,35	272,58	277,89	204,73
11/7	411,66	292,05	295,00	285,56	204,73
12/7	415,80	288,51	316,24	418,31	284,38
13/7	414,28	290,28	315,06	487,93	329,81
14/7	427,20	294,41	342,20	369,34	269,63
15/7	423,67	312,11	325,68	444,86	319,78
16/7	423,90	320,96	337,48	395,89	284,38
19/7	431,76	307,98	354,00	443,09	309,75
20/7	439,21	312,70	355,18	493,83	349,28
21/7	422,58	314,47	350,46	526,87	349,28
24/7	416,52	295,00	332,76	361,67	254,88
25/7	451,80	309,16	346,92	443,07	304,44
27/7	403,22	332,17	316,24	303,50	210,04
29/7	428,50	248,98	300,90	316,24	229,51
30/7	453,20	318,60	359,90	345,15	234,82
31/7	425,78	311,52	346,92	369,93	264,91
1º/8	412,76	308,57	326,86	327,45	229,51
3/8	426,62	303,85	335,12	355,18	254,88
4/8	456,65	330,99	394,12	443,09	314,47
5/8	456,79	339,84	395,30	438,96	309,75
6/8	489,00	351,64	413,00	493,83	344,56



Quadro 7 - Radiação solar. Total diário de radiação solar para dias encobertos (cal/cm<sup>2</sup>/dia).

Dia	Rad. Solar	"ESALQ"	Gunn-Bellani
19/4	201,00	115,05	84,96
25/4	310,00	197,96	181,72
2/5	321,73	227,15	187,62
3/5	171,60	91,45	82,60
18/5	259,00	178,18	156,94
20/5	288,74	192,34	141,60
6/6	287,44	201,78	198,24
11/6	209,92	131,57	133,34
14/6	91,72	41,39	21,24
16/6	133,20	70,21	28,32
17/6	179,40	92,63	57,82
22/6	244,80	165,20	132,16
8/7	172,50	94,40	56,64

Quadro 8 - Evapotranspiração potencial. Total diário de evapotranspiração potencial (altura de água em mm).

Dia	Penman	"ESALQ"	Gunn-Bellani	Bellani	Livingston
29/4	2,9	5,4	5,4	1,7	3,2
30/4	3,0	6,2	6,2	2,0	3,6
1º/5	3,1	6,0	6,0	2,2	3,8
7/5	3,2	5,4	5,3	2,4	3,4
11/5	3,3	5,8	5,5	2,3	3,4
12/5	3,1	5,9	5,8	2,2	3,0
14/5	2,9	4,8	4,6	1,8	3,2
15/5	2,9	5,1	5,1	1,8	3,6
16/5	2,9	5,4	5,3	2,1	2,7
17/5	2,9	5,2	4,9	2,8	3,2
19/5	3,0	5,1	4,8	2,7	3,0
21/5	2,9	5,2	5,1	1,9	3,0
22/5	2,8	5,3	5,2	2,0	3,2
23/5	2,3	3,8	3,8	1,4	2,8
25/5	2,6	4,8	4,4	1,6	3,0
26/5	2,6	5,2	5,0	1,9	3,2
27/5	2,6	5,1	5,1	1,9	3,2
28/5	3,0	5,1	5,2	2,4	3,6
29/5	2,9	5,4	5,4	2,4	3,6
30/5	3,1	5,3	5,4	2,7	3,6
31/5	3,1	5,4	5,1	2,8	3,4
1º/6	3,0	5,4	5,1	2,8	3,4
2/6	3,1	5,2	4,8	2,9	3,4
3/6	3,0	4,5	4,8	2,6	3,0
5/6	2,8	4,5	4,6	2,5	3,0

Quadro 8 - Continuação

Dia	Penman	"ESALQ"	Gunn- Bellani	Bellani	Livingston
7/6	2,8	4,9	4,9	2,4	3,2
8/6	3,0	4,9	4,8	3,1	3,0
9/6	3,2	5,1	5,3	2,8	3,8
10/6	3,2	5,1	5,0	3,0	3,2
12/6	2,7	3,6	4,3	2,2	3,0
13/6	2,4	3,7	3,4	2,1	2,6
18/6	2,9	4,9	5,1	2,0	3,2
19/6	3,0	4,9	5,2	2,4	3,6
20/6	3,0	4,4	4,6	2,2	3,0
23/6	2,6	4,6	4,4	1,9	3,0
24/6	2,8	5,0	5,0	2,2	3,4
25/6	2,8	4,6	4,8	2,7	2,6
26/6	2,9	5,1	5,1	2,8	3,4
27/6	2,3	4,2	3,9	2,7	3,0
28/6	3,1	4,0	3,8	2,9	3,0
1 <sup>a</sup> /7	2,8	5,1	5,2	2,7	3,0
2/7	3,0	4,7	4,7	2,9	3,0
4/7	2,6	4,3	4,6	3,3	2,6
7/7	3,1	4,9	5,4	2,8	2,6
9/7	2,5	4,6	4,4	2,1	3,0
10/7	2,8	4,6	4,6	2,2	3,0
11/7	2,8	5,0	5,0	2,2	2,8
12/7	2,8	4,9	5,4	3,3	2,8
13/7	3,4	4,9	5,3	3,8	2,8
14/7	3,2	5,0	5,8	2,9	2,8



Quadro 8 - Continuação

Dia	Penman	"ESALQ"	Gunn- Bellani	Bellani	Livingston
15/7	3,4	5,3	5,5	3,5	3,0
16/7	3,2	5,4	5,7	3,2	3,0
19/7	3,3	5,2	6,0	3,5	2,4
20/7	3,3	5,3	6,0	3,9	3,2
21/7	3,3	5,3	5,9	4,2	2,6
22/7	3,2	4,5	5,0	3,4	2,4
23/7	2,8	5,1	5,5	2,6	2,8
24/7	3,2	5,0	5,6	2,9	2,8
25/7	3,3	5,2	5,9	3,5	2,8
27/7	3,1	5,6	5,4	2,4	3,0
28/7	2,1	3,9	3,5	2,1	1,7
29/7	2,5	4,2	5,1	2,6	3,0
30/7	3,0	5,4	6,1	2,7	2,8
31/7	2,9	5,3	5,9	2,9	2,8
1 <sup>a</sup> /8	3,1	5,2	5,5	2,6	3,0
2/8	2,8	4,6	4,7	2,6	2,4
3/8	3,0	5,2	5,7	2,8	2,6
4/8	3,3	5,6	6,7	3,5	2,8
5/8	3,2	5,8	6,7	3,5	2,8
6/8	3,4	6,0	7,0	3,9	2,9

## 6. - ANÁLISE ESTATÍSTICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente. Todas as análises realizadas se encontram resumidas nas tabelas abaixo.

### 6.1 - RADIAÇÃO SOLAR

#### 6.1.1 - Dias descobertos

Quadro 9 - Coeficientes de correlação e de regressão entre os dados dos aparelhos para dias descobertos.

A P A R E L H O S		C O E F I C I E N T E S	
x	y	r	$b_{y/x}$
"ESALQ"	e Eppley	0,892 <sup>+++</sup>	0,831 ± 0,006
Gunn-Bellani	e Eppley	0,764 <sup>+++</sup>	0,506 ± 0,006
Bellani	e Eppley	0,000	-
Livingston	e Eppley	0,013	-

<sup>+++</sup> = significa que a probabilidade do valor ser igual a zero é menor que 1%.

Como houve correlação significativa apenas entre os dados do radiômetro "ESALQ" e os do radiômetro de Gunn-Bellani com o pireliômetro de Eppley, procedemos à determinação dos coeficientes de regressão somente para estes dois casos.



A não dependência estatística entre os aparelhos de superfície porosa e o pireliômetro de Eppley é explicável, considerando-se que os mesmos são apropriados para medir evapotranspiração potencial, não se prestando para medir radiação solar.

6.1.2 - Dias encobertos

Quadro 10 - Coeficientes de correlação e de regressão entre os dados dos aparelhos, para dias encobertos.

A P A R E L H O S		C O E F I C I E N T E S	
x	y	r	$b_{y/x}$
"ESALQ"	e Eppley	0,990 <sup>+++</sup>	1,196 ± 0,005
Gunn-Bellani	e Eppley	0,818 <sup>+++</sup>	1,110 ± 0,011

6.1.3 - Comparação entre dias descobertos e dias encobertos.

Quadro 11 - Confronto entre os coeficientes de correlação dos dados dos dois aparelhos, obtidos para dias descobertos e os coeficientes de correlação para dias encobertos - Teste  $\delta$

APARELHOS	C O E F I C I E N T E S (r)		$\delta$
	Dias descobertos	Dias encobertos	
"ESALQ"	0,892 <sup>+++</sup>	0,990 <sup>+++</sup>	3,51 <sup>+++</sup>
Gunn-Bellani	0,764 <sup>+++</sup>	0,818 <sup>+++</sup>	0,46



Como se pode observar, houve diferença significativa entre os dois valores de  $r$  para o radiômetro "ESALQ", o que não aconteceu com o radiômetro de Gunn-Bellani.

Quadro 12 - Confronto entre os coeficientes de correlação médios entre aparelhos.

A P A R E L H O S	$\bar{r}$	$\delta$
"ESALQ"	1,64	3,26 +++
Gunn-Bellani	1,03	

Pelo resultado do teste, notamos que os resultados obtidos com os dois aparelhos diferem estatisticamente e com isso podemos dizer que a sensibilidade do radiômetro "ESALQ" é maior que a do radiômetro de Gunn-Bellani.

Quadro 13 - Análise da covariância. Comparação entre os coeficientes de regressão e médias ajustadas de dias descobertos e dias encobertos, para o radiômetro "ESALQ" e radiômetro de Eppley.

FONTES DE VARIAÇÃO	DESVIOS DA REGRESSÃO				J
	G.L.	S.Q.	Q.M.	s	
Entre coeficientes de regressão	1	2.415,43	2.415,43	49,13	+++ 4,79
Entre dias dentro dos dois períodos	59	6.200,09	105,09	10,25	
Entre médias ajustadas Comum	1 60	3.783,43 8.615,52	3.783,43 143,59	61,52 11,96	+++ 5,14
Total	61	12.398,95			

Quadro 14 - Análise da covariância. Comparação entre os coeficientes de regressão e médias ajustadas, de dias descobertos e dias encobertos, para os dados do radiômetro de Gunn-Bellani e os do pireliômetro de Eppley.

FONTES DE VARIACÃO	DESVIOS DA REGRESSÃO				U
	G.L.	S.Q.	Q.M.	s	
Entre coeficientes de regressão	1	9.269,37	9.269,37	96,28	5,86 <sup>+++</sup>
Entre dias dentro dos dois períodos	59	15.915,74	269,76	16,42	
Entre médias ajustadas Comum	1	6.181,99	6.181,99	78,62	3,84 <sup>++</sup>
	60	25.185,11	419,75	20,49	
Total	61	31.367,10			

Quadro 15 - Resumo dos dois quadros anteriores.

APARELHOS	COEFICIENTES (b)				U
	Dias descobertos		Dias encobertos		
"ESALQ"	0,831	± 0,006	1,196	± 0,005	4,79 <sup>+++</sup>
Gunn-Bellani	0,506	± 0,006	1,110	± 0,011	5,86 <sup>+++</sup>

Verificamos que o valor de  $b$  dos dados do radiômetro "ESALQ" para dias descobertos difere estatisticamente do valor de  $b$  dos dados do mesmo aparelho para dias encobertos.

Conclusão idêntica foi obtida para o radiômetro de Gunn-Bellani.

Quadro 16 - Análise da covariância. Comparação entre o coeficiente de regressão dos dados do radiômetro "ESALQ" e o coeficiente de regressão dos dados do radiômetro de Gunn-Bellani, para dias descobertos.

FONTES DE VARIACÃO	DESVIOS DA REGRESSÃO				J
	G.L.	S.Q.	Q.M.	s	
Entre coeficientes de regressão	1	2.008,12	2.008,12	44,79	+++ 3,54
Entre dias dentro dos dois aparelhos	96	15.424,47	160,67	12,67	
Total	97	17.432,59			

Quadro 17 - Análise da covariância. Comparação entre o coeficiente de regressão dos dados do radiômetro "ESALQ" e o coeficiente de regressão dos dados do radiômetro de Gunn-Bellani, para dias encobertos.

FONTES DE VARIACÃO	DESVIOS DA REGRESSÃO				J
	G.L.	S.Q.	Q.M.	s	
Entre coeficientes de regressão	1	158,43	158,43	12,58	0,72
Entre dias dentro dos dois aparelhos	22	6.691,36	304,15	17,44	
Total	23	6.849,75			



Quadro 18 - Resumo dos dois quadros anteriores.

APARELHOS	C O E F I C I E N T E S (b)			
	Dias descobertos		Dias encobertos	
"ESALQ"	0,831	± 0,006	1,196	± 0,005
Gunn-Bellani	0,506	± 0,006	1,110	± 0,011
U		3,54 <sup>+++</sup>	0,72	

Como se pode notar, o coeficiente de regressão para dias descobertos dos dados do radiômetro "ESALQ" difere estatisticamente do coeficiente de regressão dos dados do radiômetro de Gunn-Bellani. Entretanto, para dias encobertos, os coeficientes não diferem.

Quadro 19 - Determinação das equações de regressão e os respectivos intervalos de confiança dos coeficientes, para dias descobertos.

APARELHOS		Equações de regressão	Intervalos de confiança
y	x		
Eppley e	"ESALQ"	$y = 175,62 + 0,831x$	0,843 ↔ 0,819
Eppley e	Gunn-Bellani	$y = 269,55 + 0,506x$	0,518 ↔ 0,494

Quadro 20 - Determinação das equações de regressão e os respectivos intervalos de confiança dos coeficientes, para dias encobertos.

APARELHOS		Equações de regressão	Intervalos de confiança
y	x		
Eppley	e "ESALQ"	y= 55,31 + 1,196x	1,207 ↔ 1,185
Eppley	e Gunn-Bellani	y= 95,91 + 1,110x	1,134 ↔ 1,086

6.2 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL.

Quadro 21 - Coeficientes de correlação e de regressão entre os dados dos aparelhos.

A P A R E L H O S		C O E F I C I E N T E S	
x	y	r	b <sub>y/x</sub>
"ESALQ"	e Penman	0,576 <sup>+++</sup>	0,331 ± 0,049
"ESALQ"	e Bellani	0,486 <sup>+++</sup>	0,236 ± 0,042
"ESALQ"	e Livingston	0,539	0,290 ± 0,076
Gunn-Bellani	e Penman	0,536 <sup>+++</sup>	0,288 ± 0,034
Gunn-Bellani	e Bellani	0,652 <sup>+++</sup>	0,425 ± 0,029
Gunn-Bellani	e Livingston	0,285	-

Como não houve correlação significativa entre os dados do radiômetro de Gunn-Bellani e os do atmômetro de Livingston, não determinamos o coeficiente de regressão para este caso.

Quadro 22 - Comparação, pelo teste  $\delta$ , entre os coeficientes de correlação dos dados dos aparelhos.

APARELHOS	"ESALQ"	GUNN-BELLANI	$\delta$
Penman	0,576 <sup>+++</sup>	0,536 <sup>+++</sup>	0,35
Bellani	0,486 <sup>+++</sup>	0,652 <sup>+++</sup>	1,41
Livingston	0,539 <sup>+++</sup>	0,285	-

Não foram comparados os valores de  $r$  do último caso (radiômetro de Gunn-Bellani e atmômetro de Livingston), pois um deles se mostrou significativo e o outro não. Achamos isto suficiente para considerar que êsses coeficientes não são semelhantes estatisticamente.

Verificamos que os coeficientes de regressão não diferem estatisticamente, no caso em questão.

Quadro 23 - Comparação pelo teste  $\delta$  das médias dos coeficientes de correlação entre aparelhos.

APARELHOS	$\bar{z}$		$\delta$
	"ESALQ"	Gunn-Bellani	
Penman	0,65	0,60	
Bellani	0,54	0,78	
Livingston	0,60	0,29	
Médias	0,60	0,59	0,10

Notamos que o radiômetro "ESALQ" e o radiômetro de Gunn-Bellani não diferem estatisticamente.



Quadro 24 - Análise da covariância. Comparação entre os coeficientes de regressão dos dados do radiômetro "ESALQ" e o dos dados do radiômetro de Gunn-Bellani, ambos tomados em relação à fórmula de Penman modificada.

FONTES DE VARIACÃO	DESVIOS DA REGRESSÃO				V
	G.L.	S.Q.	Q.M.	s	
Entre coeficientes de regressão	1	0,02	0,0200	0,14	0,70
Entre dias dentro dos dois aparelhos	136	5,73	0,0421	0,20	
Total	137	5,75			

Quadro 25 - Determinação das equações de regressão e os respectivos intervalos de **confiança** dos coeficientes.

A P A R E L H O S		Equações de regressão	Intervalos de confiança
y	x		
Penman	e "ESALQ"	$y = 1,282 + 0,331 x$	0,428 ↔ 0,234
Penman	e Gunn-Bellani	$y = 1,454 + 0,288 x$	0,355 ↔ 0,221
Livingston	e "ESALQ"	$y = 1,567 + 0,290 x$	0,440 ↔ 0,140
Bellani	e Gunn-Bellani	$y = 0,427 + 0,425 x$	0,582 ↔ 0,264
Bellani	e "ESALQ"	$y = 1,438 + 0,236 x$	0,475 ↔ 0,003

Nota:- Os gráficos representativos das regressões determinadas acham-se nas Figs. 14 a 22.

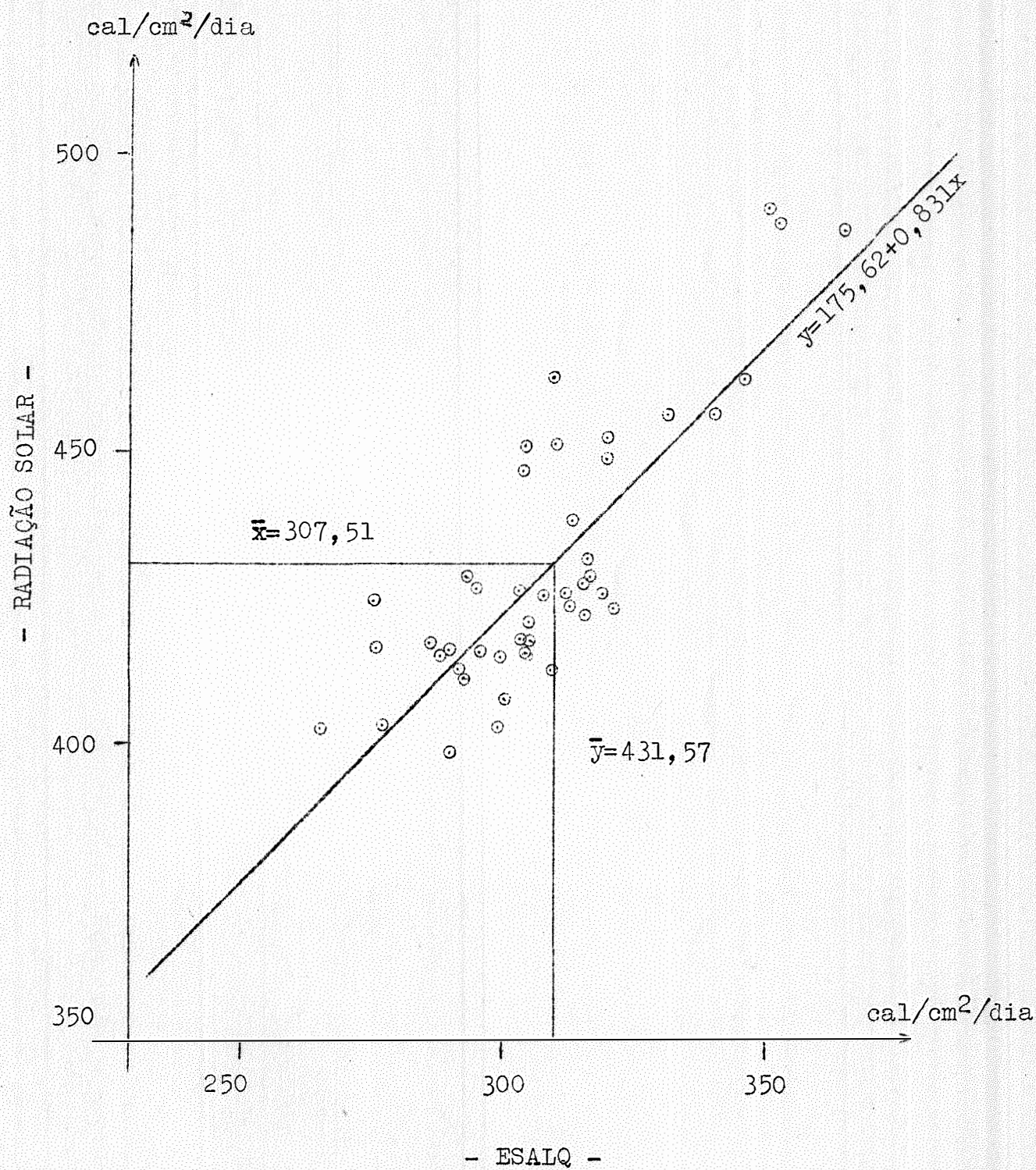


Fig. 14 - Radiação solar. Gráfico da regressão do radiômetro "ESALQ" e radiação solar, para dias descobertos.



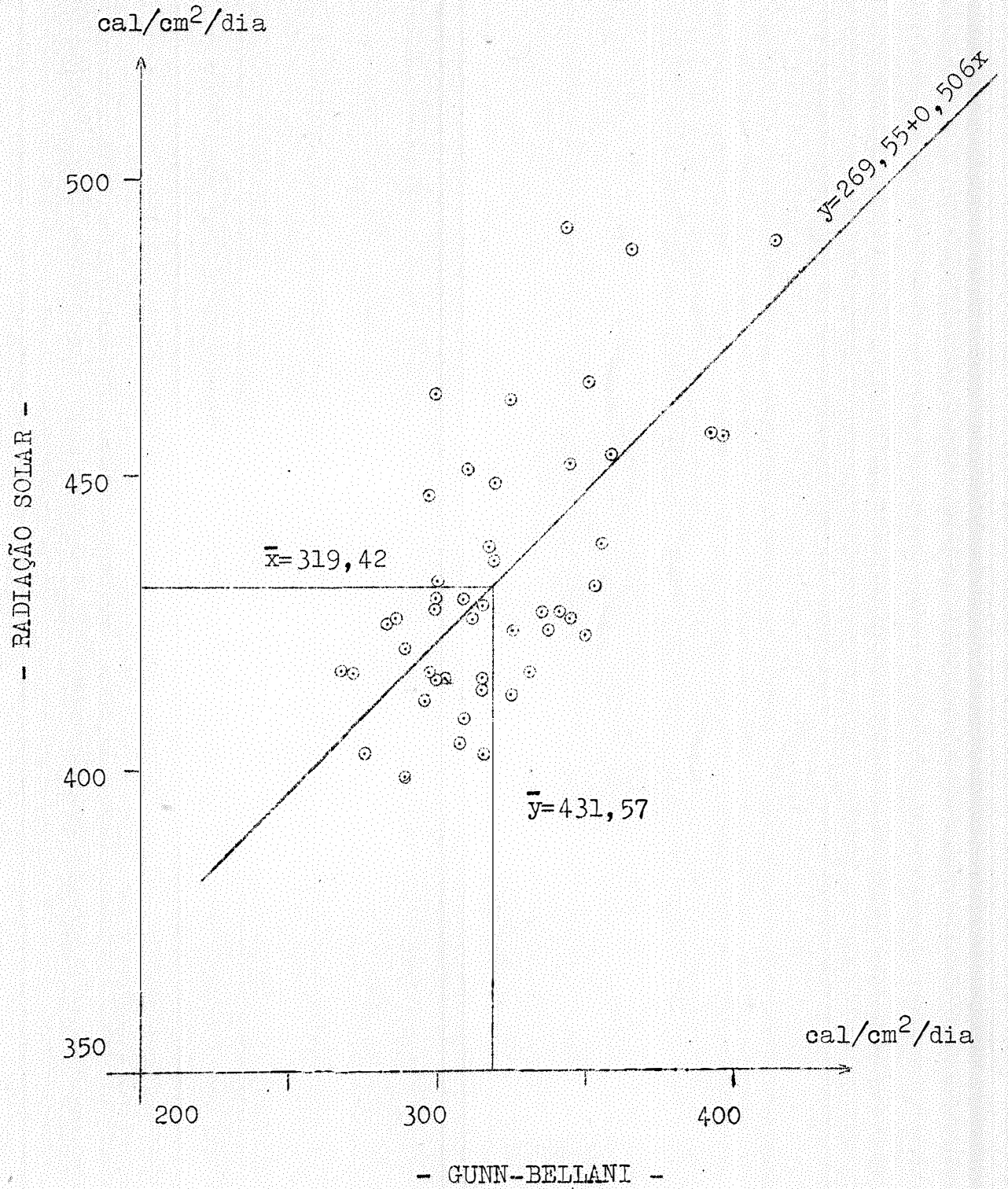


Fig. 15 - Radiação solar. Gráfico da regressão do radiômetro de Gunn-Bellani e radiação solar, para dias descobertos.



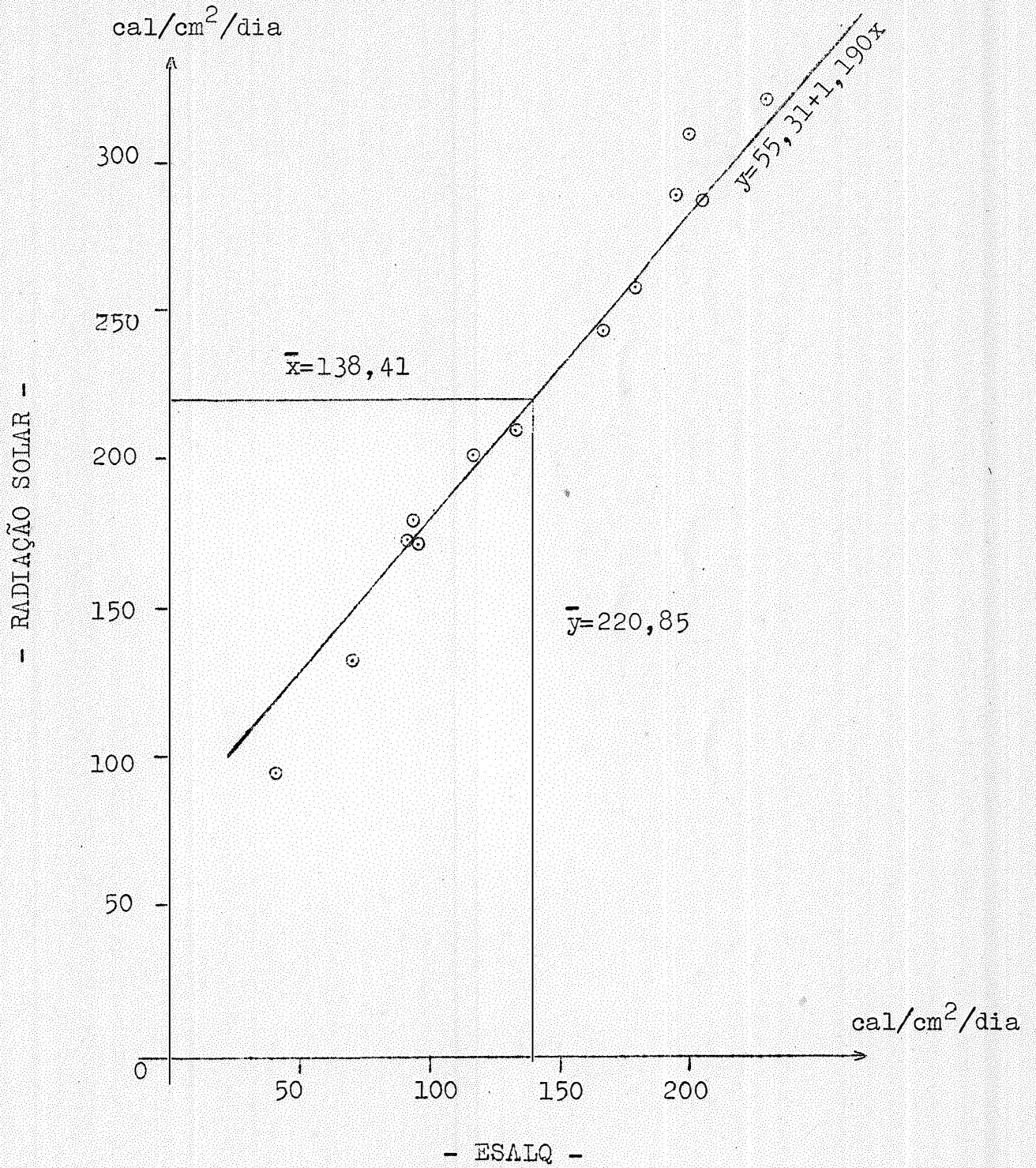
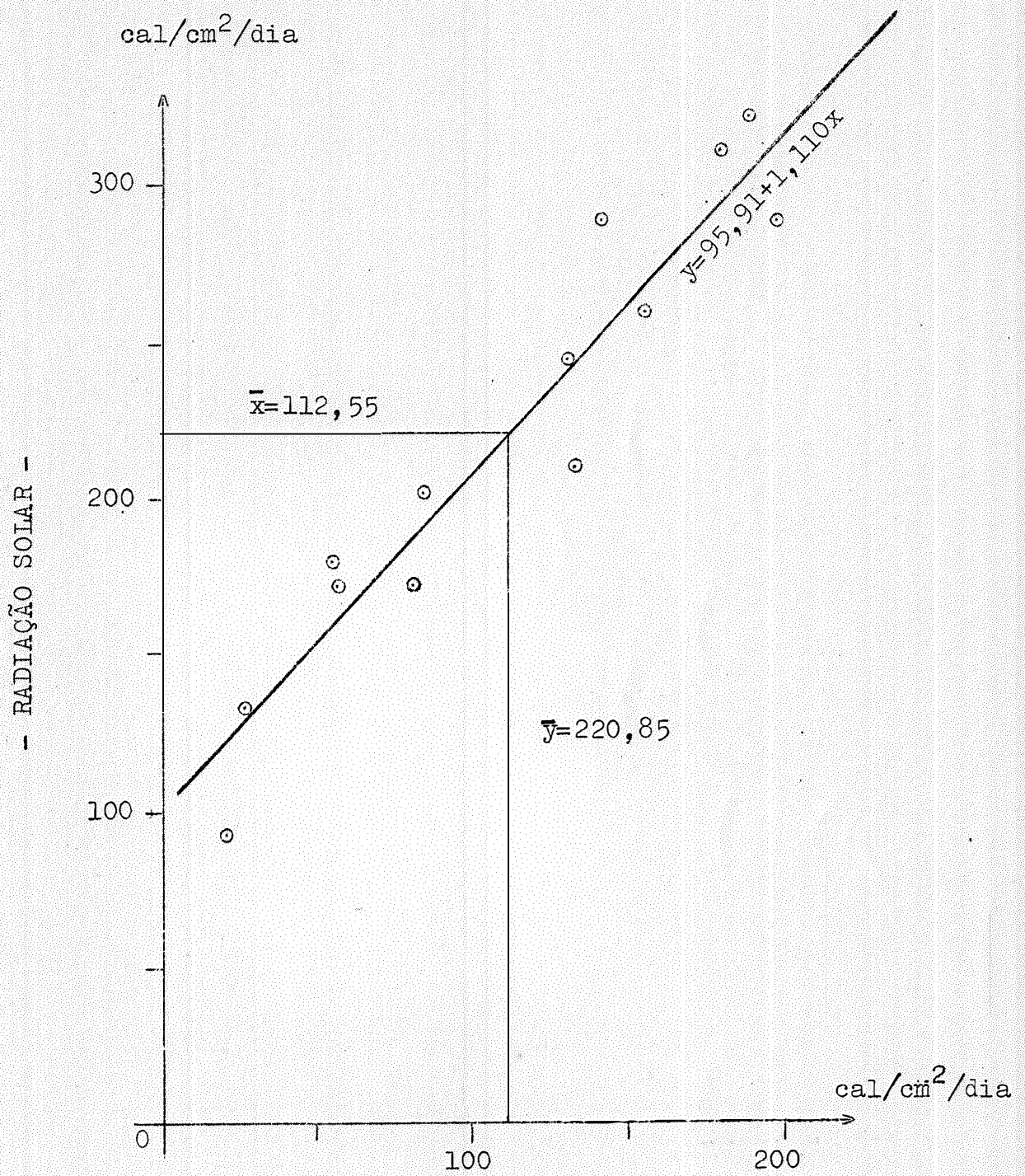


Fig. 16 - Radiação solar. Gráfico da regressão do radiômetro "ESALQ" e radiação solar, para dias encobertos.



- GUNN-BELLANI -

Fig. 17 - Radiação solar. Gráfico da regressão do radiômetro de Gunn-Bellani e pireliômetro de Eppley, para dias encobertos.



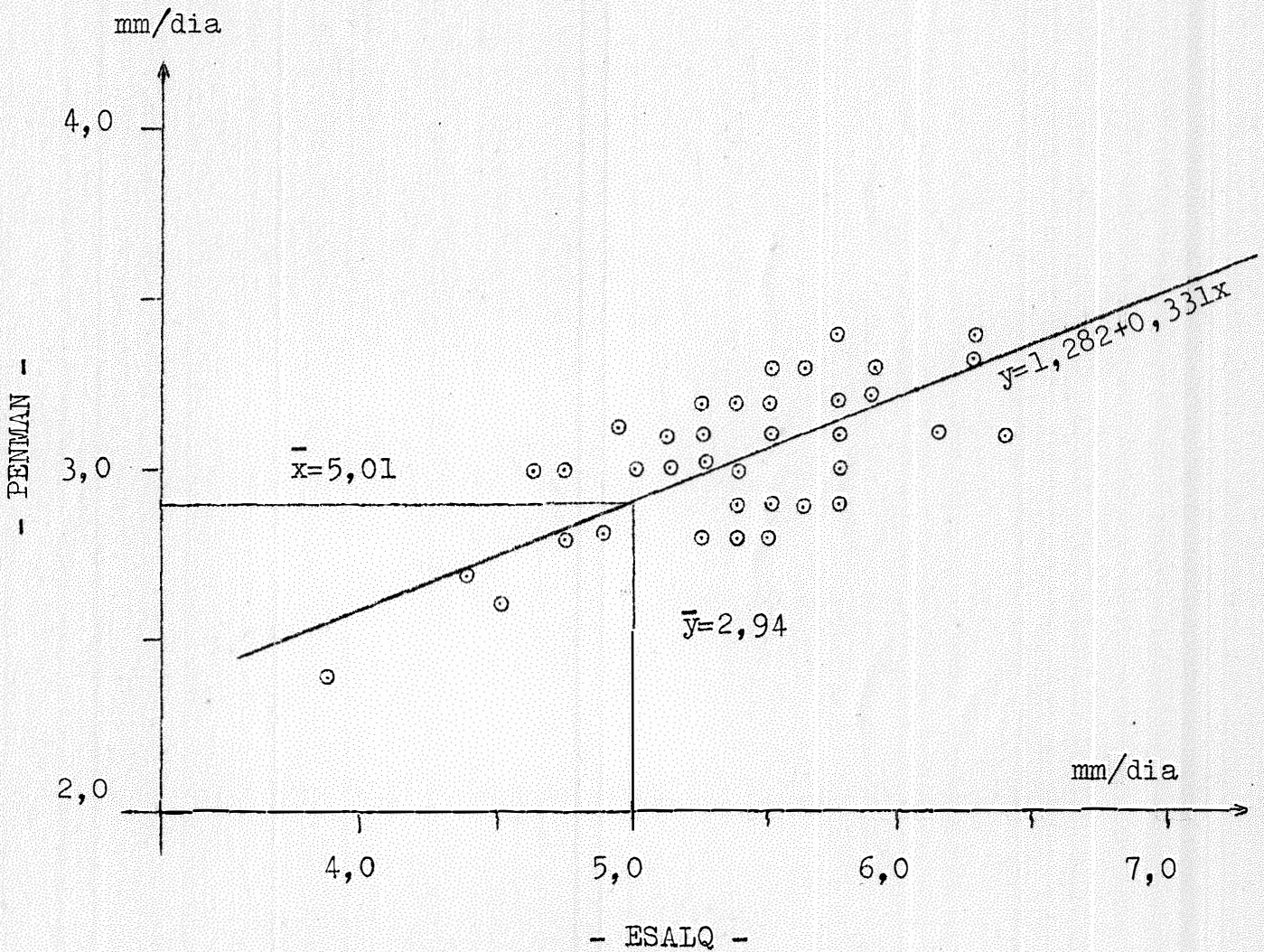


Fig. 18 - Evapotranspiração potencial. Gráfico da regressão do radiômetro "ESALQ" e fórmula de Penman modificada.



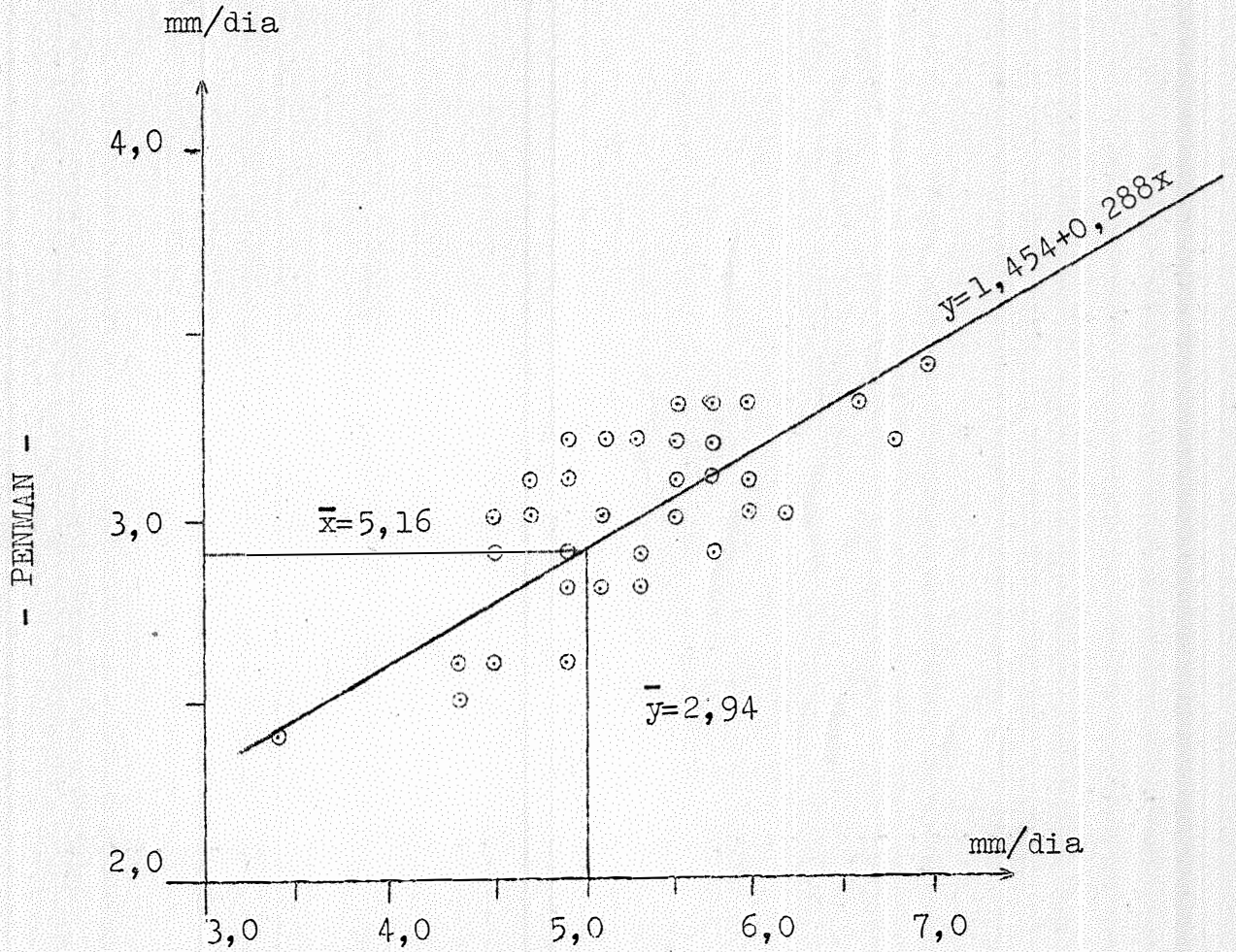


Fig. 19 - Evapotranspiração potencial. Gráfico da regressão do radiômetro de Gunn-Bellani e fórmula de Penman modificada.

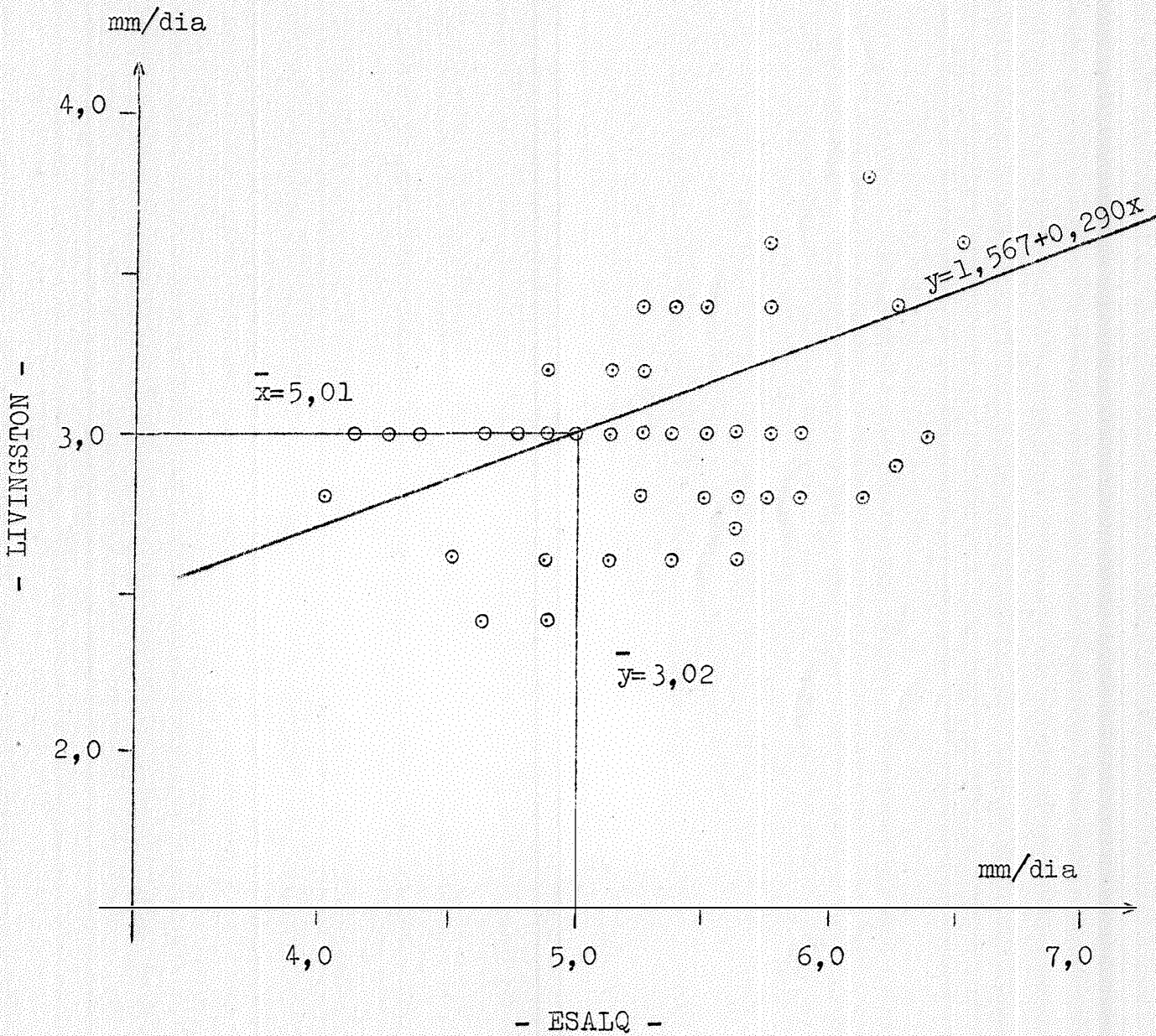


Fig. 20 - Evapotranspiração potencial. Gráfico da regressão do radiômetro "ESALQ" e atmômetro de Livingston.







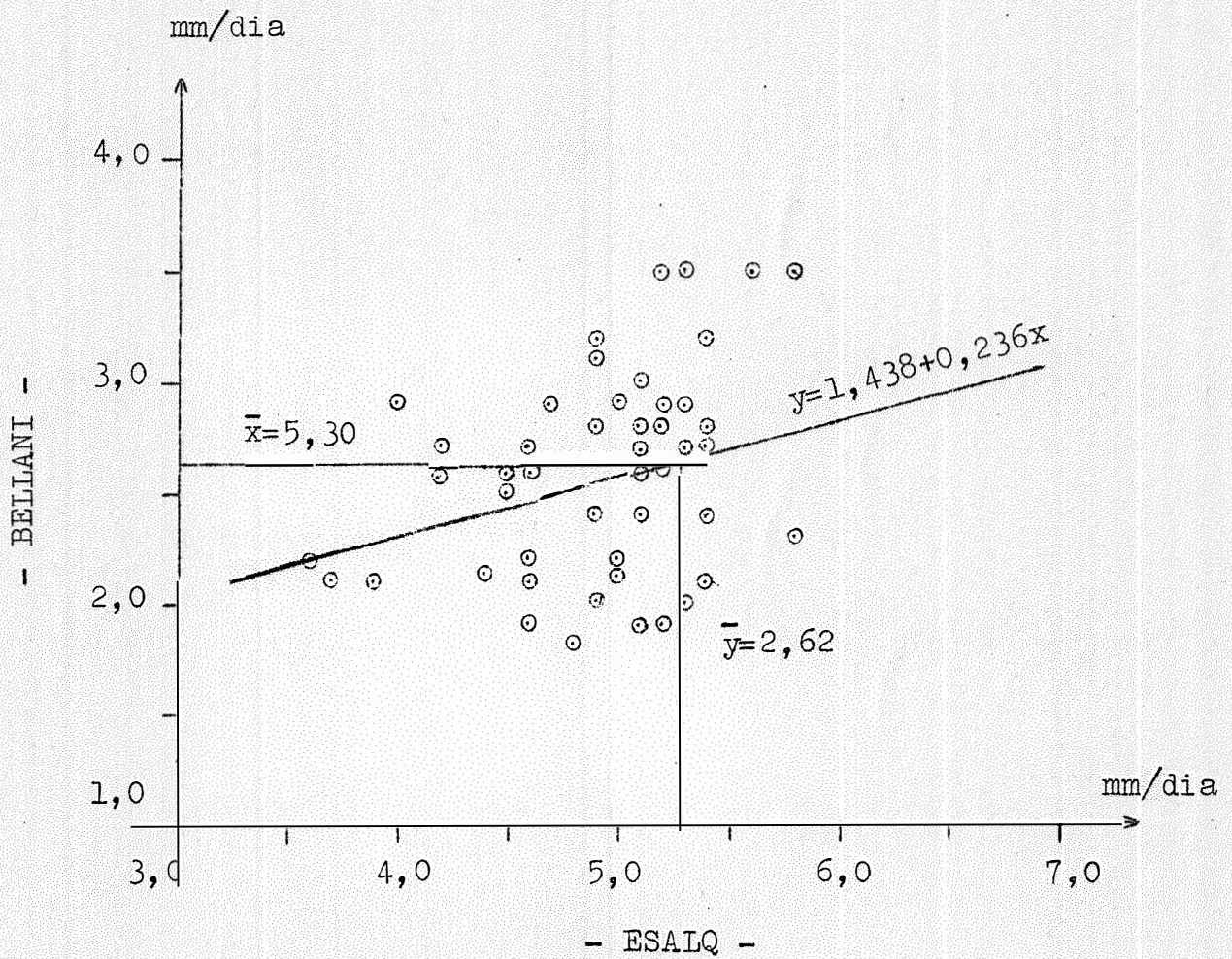


Fig. 22 - Evapotranspiração potencial. Gráfico da regressão de radiômetro "ESALQ" e cápsula de Bellani.

## 7 - CONCLUSÕES

### 7.1 - CONCLUSÕES GERAIS

1) Como decorrência dos resultados obtidos com o radiômetro "ESALQ", e em virtude do mesmo ser de baixo custo, rústico e de fácil manejo, concluimos pela sua utilização. Todavia, para seu uso sistemático, será conveniente que os estudos sobre o aparelho tenham prosseguimento.

2) Até um volume máximo de aproximadamente 60 ml para o radiômetro "ESALS" e 45 ml para o radiômetro de Gunn-Bellani, os incrementos de destilado foram constantes, durante os testes de laboratório.

3) Somente uma hora, aproximadamente, após o início da incidência de radiação é que os incrementos de destilados começaram a se tornar constantes. O mesmo foi observado no campo.

4) Após 30 minutos contados a partir do instante em que cessou a incidência da luz, não mais se notou condensação do vapor d'água no tubo graduado. Também no campo, isto foi verificado.

5) O radiômetro "ESALQ" obedeceu perfeitamente à lei da variação do ângulo de incidência dos raios luminosos.



## 7.2 - CONCLUSÕES OBTIDAS COM BASE NOS ENSAIOS DE CAMPO.

### 7.2.1 - Radiação solar

a) O radiômetro "ESALQ" quando comparado com o pireliômetro de Eppley (padrão secundário de radiação solar), apresentou bom funcionamento para dias descobertos.

O coeficiente de correlação e a equação de regressão obtidos foram:

$$r = 0,892$$

$$y = 175,62 + 0,831x$$

b) Igual conclusão obtivemos com teste idêntico, entre radiômetro "ESALQ" e pireliômetro de Eppley, para dias encobertos. O coeficiente de correlação e a equação de regressão determinados foram:

$$r = 0,990$$

$$y = 55,31 + 1,196x$$

c) O aparelho original, chamado radiômetro integrador de Gunn-Bellani, também se mostrou bom indicador de radiação solar testado sob as mesmas condições do radiômetro "ESALQ" para dias descobertos. O coeficiente de correlação e a equação de regressão calculada foram:

$$r = 0,764$$

$$y = 269,55 + 0,506x$$

d) Quando comparado com o pireliômetro de Eppley nos dias encobertos, o radiômetro de Gunn-Bellani apresentou resultados satisfatórios. Abaixo temos os valores cor



respondentes ao coeficiente de correlação e à equação de regressão:

$$r = 0,818$$

$$y = 95,91 + 1,110x$$

e) A cápsula de Bellani e o atmômetro de Livingston não se prestaram para as medidas de radiação solar .

### 7.2.2 - Evapotranspiração potencial

a) O radiômetro "ESALQ" funcionou de maneira satisfatória, quando comparado com a fórmula teórica de Penman modificada. O coeficiente de correlação e a equação de regressão obtidos foram:

$$r = 0,576$$

$$y = 1,282 + 0,331x$$

b) O radiômetro de Gunn-Bellani comparado com a fórmula teórica de Penman, também funcionou satisfatoriamente. Foram conseguidos o coeficiente de correlação e a equação de regressão abaixo:

$$r = 0,536$$

$$y = 1,454 + 0,288x$$

c) A modificação do aparelho de Gunn-Bellani , proposta neste trabalho, mostrou sua viabilidade prática para o estudo da evapotranspiração tendo por base os resultados da análise estatística de comparação entre os radiômetros e a fórmula teórica de Penman modificada.

d) Desde que podemos determinar a evapotranspi

ração potencial com o radiômetro "ESALQ", torna-se possível o conhecimento da utilização diária de água pela vegetação e portanto o aparelho poderá se prestar para o cálculo da irrigação suplementar.

...///...

8 - RESUMO

No presente trabalho foi realizada uma modificação no radiômetro integrador de Gunn-Bellani, pela transformação da superfície receptora esférica em superfície plana equivalente à semi-esfera. Foi tentada a utilização do radiômetro assim modificado para a medida da radiação solar e da evapotranspiração potencial.

O experimento se realizou no parque da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e instalaram-se os aparelhos orientados na direção Este-Oeste.

Os instrumentos utilizados foram aqueles necessários à obtenção de dados para a medida da radiação solar e medida e cálculo da evapotranspiração potencial, dados êsses posteriormente trabalhados e convertidos nas unidades usuais, e assim empregados para aquelas determinações. Seguiu-se, rigorosamente, os detalhes indispensáveis ao emprêgo e conservação dos referidos aparelhos, de acôrdo com as recomendações especificadas.

No período de observações separamos em grupos os resultados obtidos, para a determinação da radiação solar. Assim é que achamos conveniente distinguir a série de dados concernentes a dias descobertos ou de muito boa insolação, da série relativa a dias encobertos ou de muito pouca insolação. Quanto à determinação da evapotranspiração potencial, utilizamos apenas dos dados relativos à dias descobertos.

A análise dos resultados apresentou o seguinte aspecto:

A) Radiação solar

a) Dias descobertos

Os dados dos radiômetros "ESALQ" e dos de Gunn-



Bellani, mostraram correlação significativa com os do pireliômetro de Eppley, ao nível de 1% de probabilidade, ao passo que os da cápsula de Bellani e os do atmômetro de Livingston não apresentaram correlação significativa. As equações de regressão determinadas para os casos em que houve correlação significativa, foram as seguintes:

$$\begin{aligned} \text{Eppley (y) e "ESALQ" (x)} \\ y = 175,62 + 0,831x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eppley (y) e Gunn-Bellani (x)} \\ y = 269,55 + 0,506x \end{aligned}$$

#### b) Dias encobertos

Ao estudarmos os radiômetros "ESALQ" e de Gunn-Bellani em relação ao pireliômetro de Eppley, verificamos haver correlação entre os dados de cada radiômetro e os do padrão secundário de radiação solar (pireliômetro de Eppley), ao nível de 1% de probabilidade. As equações de regressão obtidas foram:

$$\begin{aligned} \text{Eppley (y) x "ESALQ" (x)} \\ y = 55,31 + 1,196x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eppley (y) x Gunn-Bellani (x)} \\ y = 95,91 + 1,110x \end{aligned}$$

#### B) Evapotranspiração potencial

Os dados do radiômetro "ESALQ" foram comparados

com os dados da cápsula de Bellani, com os dados do atmômetro de Livingston e com os dados da fórmula teórica de Penman modificada. O mesmo critério adotou-se em relação ao radiômetro de Gunn-Bellani.

No primeiro caso obtivemos correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade, nas três comparações.

No segundo caso houve correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade, entre os dados do radiômetro de Gunn-Bellani e os dados da fórmula de Penman e ainda com os dados da cápsula de Bellani.

As equações de regressão determinadas foram as seguintes:

$$\begin{aligned} \text{Penman (y) e "ESALQ" (x)} \\ y = 1,282 + 0,331x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penman (y) e Gunn-Bellani (x)} \\ y = 1,454 + 0,288x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Livingston (y) e "ESALQ" (x)} \\ y = 1,567 + 0,290x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bellani (y) e Gunn-Bellani (x)} \\ y = 0,427 + 0,425x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bellani (y) e "ESALQ" (x)} \\ y = 1,438 + 0,236x \end{aligned}$$

Com base na análise dos dados do experimento, podemos concluir que o radiômetro "ESALQ" se presta para estimar a evapotranspiração potencial e sendo assim, existe a possibilidade de se controlar a irrigação suplementar em uma cultura.

...///...

9. - BIBLIOGRAFIA CITADA

- BELLANI, A. - 1820. Descrizione di um nuovo atmidometro per servire di continuazione e fine alle riflessioni critiche intorno all'evaporazione. Giornale de Fisica e Chimica 3(3): 166-177. Pavia.
- BLANEY, HARRY F. & CRIDDLE, WAYNE D. - 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological an irrigation data. United States Department of Agriculture. 48 p. Washington.
- BLOODGOOD, DEAN W., PATTERSON, R.E. & SMITH Jr., R.L. - 1954. Water evaporation studies in Texas. Texas Agricultural Experiment Station (Bulletin 787) 83 p. College Station, Texas.
- COURVOISIER, P. & WIERJEZEWSKI, H. - 1954. Das Kugelpyrano meter Bellani - Beiträge zur strahlungsme Bmethodik V. Archiv für Meteorologie Geophysie un Bioklimatologie B. Allgemeine und biologische klimatologie. 5 Heft: 3,4. Viena.
- GUNN, D.L. & YEO, D. - 1951. The Bellani spherical pyrometer. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 77 (332): 293-301. Londres.
- HAIKIAS, N.A., VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. - 1955. Determining water needs for crops from climatic data. Hilgardia 24(9) 233 p. California.
- HOLMES, R.M. & ROBERTSON, G.W. - 1959. A modulated soil moisture budget. Canada Department of Agriculture 87 (3) 7 p. Ottawa.
- LIVINGSTON, BURTON E. - 1935. Atmometers of porous porcelain and paper, their use in physiological ecology. Ecology 16 (3): 438-472. North Carolina.
- MAKKINK, G.F. - 1957. Ekzameno de la formulo de Penman. Netherland Journal of Agricultural Science 5 (4): 290-305. Wageningen.



- PENMAN, H.L. - 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society Serie A (193): 120-145. Londres.
- 1956. Estimating evaporation. Transactions of the American Geophysical Union 37(1): 43-50. Washington.
- PEREIRA, H.C. - 1957. Field measurements of water use for irrigation control in Kenya coffee. The Journal of Agricultural Science 49 (4): 459-466. Londres.
- 1959. Practical field instruments of radiation and of evaporation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 85 (365): 253-261. Londres.
- PROHASKA, F. & WIERZEJEWSKI, H. - 1947. Sur la théorie du radiomètre totalisateur de Gunn-Bellani. Annales de Géophysique 3, 184 p. Paris.
- ROBERTSON, G.W. - 1956a. Procedure for keeping a meteorological soil moisture budget for irrigation purposes. Central Experimental Farm. 4 p. Ottawa.
- 1956b. The measurement of latent evaporation using the Central Experimental Farm Plastic Mount. Central Experimental Farm. 4p. Ottawa.
- SNEDECOR, GEORGE W. - 1956. Statistical methods, 5<sup>a</sup> ed. The Iowa State College Press, 534 p. Ames, Iowa.
- THORNTHWAITE, C.W. - 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55-95. New York.
- VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. - 1957. Use of black and white atmometers for measuring the use of water by crops, evaporation and solar energy. International Commission on Irrigation and Drainage. Third Congress 8: 524-541. San Francisco.