

# DESENVOLVIMENTO DE UM "RADIÔMETRO EVAPORIMÉTRICO" PARA ESTIMATIVA DO FLUXO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

JOSÉ DA SILVA LEMOS

Engenheiro-Agrônomo

Auxiliar de Ensino da FCAP

Orientador: Nilson Augusto Villa Nova

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Agosto, 1979

Aos meus queridos pais,  
ã memória de meus avôs,

D E D I C O

Ã minha esposa GRAÇA,  
Ã minha sogra,  
Aos meus irmãos,  
Aos meus cunhados,  
Aos meus sobrinhos

O F E R E Ç O

## A G R A D E C I M E N T O S

O autor expressa a todas as pessoas que contribuíram para realização deste trabalho os mais sinceros agradecimentos, e em especial:

Ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova, pela sua dedicação e orientação no desenvolvimento deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Jesus Marden dos Santos, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, pelas sugestões;

Ao Prof. Dr. José Carlos Ometto, pela colaboração;

Aos Demais Professores do Departamento de Física e Meteorologia e de outros departamentos, que de algum modo contribuíram para minha formação;

À Engenheira Agrônoma Clarice Borges Demétrio, Docente Voluntária junto ao Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, pela colaboração na análise estatística;

À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará - FCAP e à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ, através do Departamento de Física e Meteorologia, pela oportunidade oferecida;

Ao Programa de Ensino Agrícola Superior - PEAS, pelo apoio financeiro recebido;

À Financiadora de Estudos de Projetos - FINEP (Projeto FINEP/USP), pelo incentivo financeiro oferecido;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo apoio financeiro na aquisição de material;

Aos Engenheiros-Agrônomos Ítalo Augusto de Souza Albério , Genário José da Mata e Carlos Ramires Franco Encarnação, pela colaboração e aos colegas José Altino Scardua e Flávio Miguel Schneider, pelo incentivo e compreensão durante o curso;

À Funcionária Áurea Benedita Michelotto, pela colaboração durante o curso;

Aos demais colegas do curso pela simpatia que sempre nos dis pensaram durante o curso

## Í N D I C E

	Pág.
1 - RESUMO .....	1
2 - INTRODUÇÃO .....	4
3 - REVISÃO DE LITERATURA .....	6
4 - MATERIAL E MÉTODOS .....	11
4.1 - Material .....	13
4.1.1 - Fluxo da radiação solar global .....	13
4.1.2 - Evapotranspiração .....	16
4.1.3 - Elementos de clima .....	17
4.2 - Métodos .....	18
4.2.1 - Medidas do fluxo de radiação solar global .....	18
4.2.2 - Medida da evapotranspiração .....	18
4.2.3 - Estimativa do fluxo da radiação solar global .....	19
4.2.4 - Estimativa da evapotranspiração .....	24
4.2.5 - Elementos de clima .....	26
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
5.1 - Relativos a Comparação entre a Evaporação do Radiômetro Evaporimétrico e o Fluxo de Radiação Solar Global Medido pelo Actinô- grafo Rotitzsch .....	28

5.2 - Relativos a Comparação do Fluxo de Radiação Solar Global Estimado por: Q <sub>g</sub> F = Q <sub>o</sub> (0,26 + 0,51 n/N) Proposta por <u>O</u> METTO (1973) e Através do Radiômetro Evaporimétrico e o Medido pelo Actinógrafo Robitzsch .....	47
5.3 - Relativos a Evapotranspiração Potencial Observada (ET <sub>pobs</sub> ) no Evapotranspirômetro e a Estimada pela Fôrmula de Penman Simplificada (ET <sub>pestim</sub> ) .....	53
6 - CONCLUSÕES .....	59
7 - SUMMARY .....	60
8 - LITERATURA CITADA .....	63
9 - APÊNDICES .....	66

## 1 - RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar e desenvolver um instrumento para medida do fluxo de radiação solar global.

As medidas da evaporação que se processa através de uma superfície negra porosa, plana, suprida de água e mantida a um potencial praticamente nulo, serviu como base para os estudos realizados.

O radiômetro evaporimétrico constituiu-se de duas unidades evaporantes, uma coberta e outra descoberta, sendo as medidas de fluxo de radiação solar global realizadas por um Actinógrafo Robitzsch convenientemente calibrado. Efetuou-se um estudo comparativo entre os fluxos de radiação solar global estimados com auxílio do radiômetro evaporimétrico e pelo uso de equação proposta por OMETTO (1973). As medidas de evaporação das unidades componentes do radiômetro evaporimétrico foram utilizadas na estimativa da evapotranspiração potencial,

através de uma simplificação na fórmula original de Penman. Procedeu-se uma comparação entre os valores assim estimados e aqueles observados em cinco evapotranspirômetros instalados no Observatório Meteorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

O equipamento proposto apresenta, simplicidade no manuseio, baixo custo, condições estas que permitem a sua aquisição pelos agricultores.

A série de medidas efetuadas no período de outubro de 1978 a fevereiro de 1979, permitiu uma análise estatística dos dados, obtendo-se equações de regressão, para valores médios de cinco leituras como segue:

Conjunto 1:

Out.	$Q_g = 45,2655 + 9,8461 \Delta Vt$	$r^2 = 0,94$
Nov.	$Q_g = 200,0572 + 5,9129 \Delta Vt$	$r^2 = 0,98$
Dez.	$Q_g = 133,6924 + 8,2286 \Delta Vt$	$r^2 = 0,85$
Jan.	$Q_g = 172,4841 + 6,5888 \Delta Vt$	$r^2 = 0,96$
Fev.	$Q_g = 136,8330 + 7,1812 \Delta Vt$	$r^2 = 0,92$
-----		
Out./Fev.	$Q_g = 148,5737 + 7,2686 \Delta Vt$	$r^2 = 0,89$

Conjunto 2:

Out.	$Q_g = 114,0380 + 8,3601 \Delta Vt$	$r^2 = 0,88$
Nov.	$Q_g = 205,1143 + 6,2456 \Delta Vt$	$r^2 = 0,98$
Dez.	$Q_g = 122,7724 + 8,6517 \Delta Vt$	$r^2 = 0,84$
Jan.	$Q_g = 186,7968 + 6,4688 \Delta Vt$	$r^2 = 0,98$
Fev.	$Q_g = 132,0891 + 7,4553 \Delta Vt$	$r^2 = 0,95$
-----		
Out./Fev.	$Q_g = 156,5308 + 7,3103 \Delta Vt$	$r^2 = 0,90$



onde:

$Q_g$  é o fluxo de radiação solar global; e  
 $\Delta V_T$  é a diferença de evaporação das unidades evaporantes.

Com o radiômetro evaporimétrico foi possível estabelecer uma estimativa para  $ET_p$  através das seguintes equações:

Conjunto 1:

$$ET_p = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (1,259 + 0,0616 \Delta V_t) + 0,0552 \Delta V_c}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)}$$

Conjunto 2:

$$ET_p = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (1,7382 + 0,0529 \Delta V_t) + 0,0538 \Delta V_c}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)}$$

onde:

$\Delta V_c$  é a evaporação da unidade coberta;

$E_{a_T}$  é o poder evaporante do ar ; e

$\Delta V_t$  é a diferença de evaporação das unidades evaporante.

Estas equações permitiram uma estimativa da  $ET_p$  com grande precisão, se os resultados assim obtidos forem comparados com as medidas realizadas com evapotranspirômetros.

## 2 - INTRODUÇÃO

É fato reconhecido que todos os processos físicos ou biológicos que tem lugar na biosfera se realizam as expensas da energia solar. Na descrição de qualquer ecossistema natural, sempre se faz necessária a avaliação do balanço de energia radiante que se processa ao longo de um período. É através do balanço de radiação que podemos sempre avaliar as disponibilidades para biosíntese, evaporação e evapotranspiração, aquecimento do ar e solo, etc.

Sendo o fluxo de radiação solar global responsável na quase totalidade pelos fenômenos que ocorrem na natureza, há muito, vem sendo preocupação dos Agrometeorologistas o desenvolvimento de equipamentos para medidas deste componente bem como modelos matemáticos para a sua estimativa.

Existem diversos tipos de equipamentos para a determinação do fluxo da radiação solar global e entre eles situa-se o Actinógrafo Robitzsch como o mais dissimulado no uso

rotineiro. É um equipamento de alto custo, quase sempre nunca ao alcance dos agricultores.

Os modelos matemáticos para estimativa do fluxo da radiação solar global, quando não necessitam de ajustes locais nos seus coeficientes, tem seus usos bloqueados por carência de equipamentos na maioria das estações meteorológicas.

Em busca de uma solução prática para os problemas citados, o presente trabalho tem como principais objetivos:

- a - Desenvolver um medidor integrador do fluxo de radiação solar global, baseado no projeto elaborado inicialmente pelo Prof. Jesus Marden dos Santos (DFM, ESALQ/USP-Piracicaba), de simples manuseio e baixo custo de tal modo que fosse acessível ao agricultor em geral;
- b - Introduzir uma simplificação na fórmula original de Penman, para a estimativa da evapotranspiração potencial.

### 3 - REVISÃO DE LITERATURA

O sol é a principal fonte de energia para a terra, fornecendo praticamente a totalidade da mesma para que os processos físicos ou biológicos aconteçam no sistema terra-atmosfera.

De acordo com KONDRATIEV (1969), os diferentes métodos de medidas de energia são baseados nos efeitos que ela produz no elemento sensível de aparelhos transformando-se em outras formas de energia, as quais ele dividiu em dois grupos: com transformação de fase e sem transformação de fase.

No grupo dos instrumentos que se utilizam da mudança de fase, geralmente de água ou de álcool, para medir e integrar o fluxo da radiação solar global, pode-se citar como principais os trabalhos desenvolvidos por:

PEREIRA (1959) fez comparações entre um solarímetro Kipp-Zonen e um instrumento a destilação de água, para a integração do fluxo de radiação solar global, descrito por

BELLANI (1836). Gunn, Kirk e Waterhouse (1945) citado por PEIREIRA (1959) reestruturaram o equipamento. A comparação teve como resultado uma alta correlação linear e uma boa eficiência na estimativa do fluxo da radiação solar global, podendo ser ainda utilizado para estimar o uso da água pela vegetação para o controle da irrigação.

CARDER (1960) efetuou seis diferentes tipos de montagens de atmômetros (placa negra de Bellani, válvula de tubo em "U", válvula de vidro, base protetora de plástico, base protetora de bureta e disco negro poroso) para verificar seus desempenhos, sendo o de Bellani considerado como padrão. A comparação do padrão com o de válvula de tubo em "U" e com o de válvula de vidro deram ótimos resultados, obtendo um coeficiente de correlação para ambos de 0,997, sendo portanto bastante similares. Os equipamentos com base protetoras aumentaram a razão de evaporação isto devido o fato de que, os com montagens de válvulas absorverem menos água durante o período com chuva. O atmômetro de disco negro poroso perdeu mais água por evaporação que o padrão, tendo como explicação lógica para este fato, que a água no de disco negro poroso não se encontrava sob tensão pois os poros se encontravam constantemente preenchidos com água, enquanto que a água na superfície da placa de Bellani apresentava-se sob tensão devido a ação da capilaridade.

GODOY (1961) realizou uma modificação no radiômetro integrador de Gunn Bellani, transformando a superfície re

ceptora esférica em uma horizontal equivalente à semi esfera. Com esta modificação o radiômetro foi utilizado para estimar o fluxo de radiação solar global e a evapotranspiração potencial. O equipamento se ajustou à estimativa do fluxo da radiação solar global assim como para a evapotranspiração potencial, dando um coeficiente de correlação da ordem de 0,89 para dias descobertos e da ordem de 0,99 para dias encobertos.

Fisiologistas vegetais utilizaram além dos tanques de evaporação, o atmômetro de superfície porosa (papel ou porcelana) para a estimativa da evapotranspiração potencial e os trabalhos que mais se destacaram foram os de BELLANI (1820) , LIVINGSTON e BURTON (1935) e WEIHMEYER e HENDRICKSON (1957).

PELTON (1964) conduziu um trabalho para determinar a influência da temperatura do ar, do fluxo da radiação solar global, do vento e da pressão de vapor do ar, sobre a evaporação de discos porosos e do atmômetro de placa negra de Bellani. Ambos equipamentos responderam bem para a temperatura média do ar e dēfice de pressão de vapor do ar, porém o de placa negra de Bellani respondeu melhor ao fluxo de radiação solar global.

DESJARDINS e HANSEN (1967) estudaram a resposta do atmômetro de Bellani e dois tipos de atmômetros de disco negro poroso a vários fatores meteorológicos, particularmente o vento. Foram efetuadas comparações entre atmômetros de duplo disco negro poroso com o de um sō disco e do duplo disco ne-

gro poroso com o de Bellani.

A primeira comparação demonstrou que os dois atmômetros de disco negro poroso responderam linearmente à velocidade do vento. Na segunda comparação houve diferença no comportamento dos dois equipamentos atribuídas à várias causas, como: a) o sistema de alimentação do duplo disco negro poroso era efetuado por gravidade o que proporcionava um contínuo preenchimento de seus poros com água em pouco tempo, não havendo portanto redução na evaporação, enquanto que no de Bellani a alimentação era feita sob vácuo o que resultava uma redução na evaporação; b) os poros da placa de Bellani por serem bem menores do que os do disco negro poroso produziam um total diferente de umidade na placa, aproveitável para a evaporação.

SMITH (1972) efetuou comparações entre quatro instrumentos que medem diretamente ou indiretamente o fluxo da radiação solar global (aparelho de Gunn Bellani, heliôgrafo Campbell-Stokes, Sol-a-meter e actinôgrafo bimetálico) com um instrumento considerado padrão secundário o pireliômetro Kipp-Zonen. O instrumento que melhor respondeu a esta comparação foi o de Gunn Bellani, com um erro médio de  $\pm 5\%$ . Considerando a simplicidade do sistema de destilação do instrumento, ele oferece consideráveis vantagens sobre os outros sendo o mais exato como também o menos dispendioso. A única desvantagem deste instrumento é a sua fragilidade.

Citado por GEDDES (1974) , Carder (1960 e 1966) efetuou estudos comparativos de várias montagens de atmômetros e achou que o atmômetro de disco negro poroso foi superior aos outros do ponto de vista operacional. Ainda citado por GEDDES (1974), Wilcox (1967) introduziu outra modificação no atmômetro de Bellani que consistiu da troca da placa negra por pedra de carborundum. Este atmômetro juntamente com outros tipos foram avaliados em outra comparação por CARDER (1969) tendo ele estabelecidos critérios para a efetuação da comparação e tendo sido o mais bem sucedido o atmômetro com pedra de carborundum.

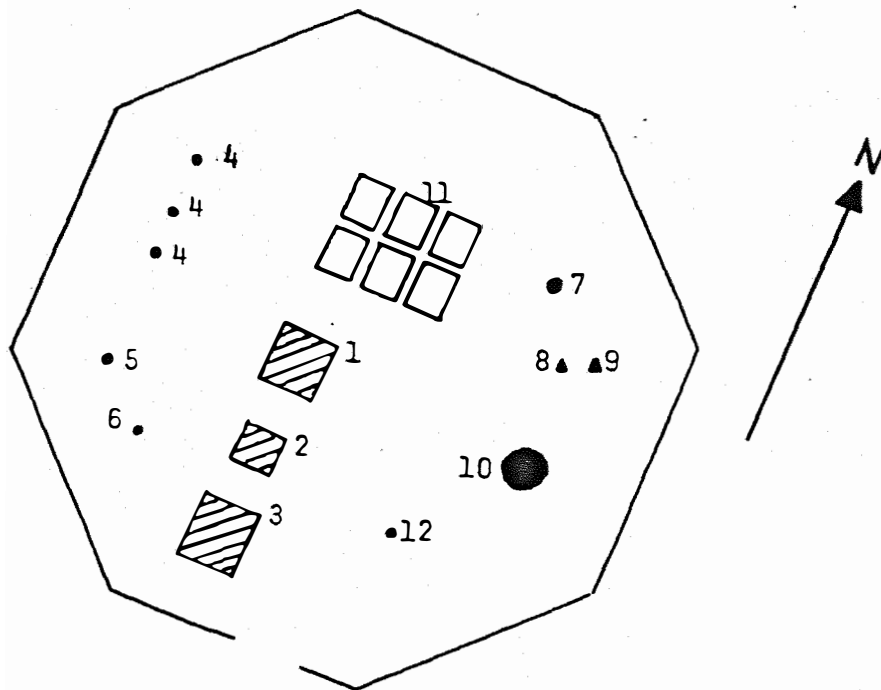
REID e DESJARDINS (1976) desenvolveram um atmômetro de disco negro poroso simples e de baixo custo, cuja exatidão de leitura foi de  $\pm 2,5\%$  do fundo de escala e com um intervalo de confiança de 95% usando compensação de temperatura e de  $5,5\%$  do fundo de escala sem compensação de temperatura.



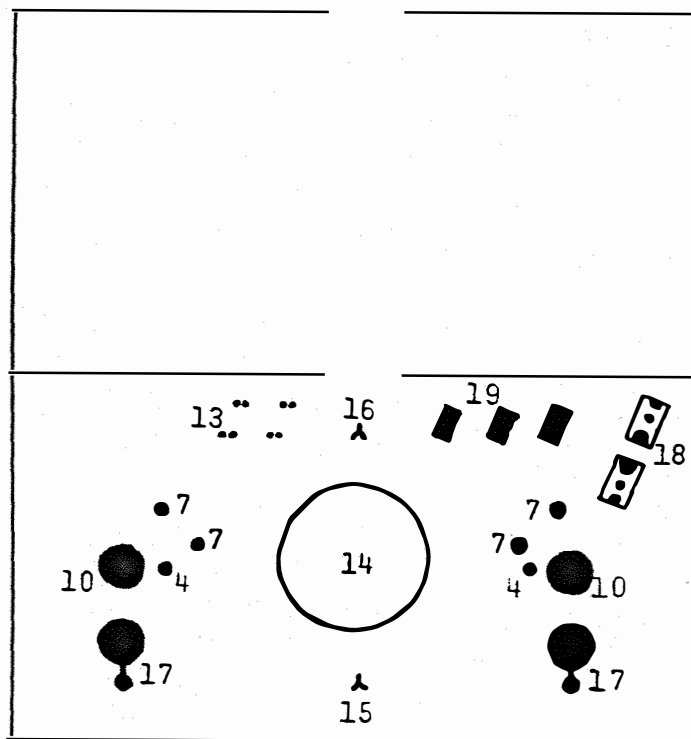
#### 4 - MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido na Estação Evaporimétrica do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22º42'S, longitude 47º38'W e altitude 576 m.

Na Figura 1 é mostrada a distribuição dos equipamentos que se encontram instalados no Observatório Meteorológico deste Departamento.



## L E G E N D A



1. Abrigo termométrico
2. Anemógrafo
3. Casa do observador
4. Pluviômetros modelo HH
5. Pluviógrafo FUESS
6. Para-raios
7. Tanque GGI-3000
8. Actinógrafo
9. Heliógrafo
10. Tanque "Classe A"
11. Evapotranspirômetros
12. Mastro para estudo de perfis até 10 m
13. Radiômetros evaporimétricos
14. Tanque 20 m<sup>2</sup>
15. Anemômetro a 2,0 m do solo
16. Anemômetro a 0,5 m do solo
17. Tanque "Classe A" sinfonado
18. Sistema evaporimétrico-experimento
19. Abrigo termométricos

FIGURA 1 - Planta baixa da área em que foi conduzido o experimento

#### 4.1 - Material

##### 4.1.1 - Fluxo da radiação solar global

Os valores referentes ao fluxo da radiação solar global, foram obtidos através dos seguintes equipamentos cujas características são:

##### Piranômetro Eppley

É um equipamento de procedência Norte-Americana, fabricado pelo The Eppley Laboratory, Inc. de Newport, R. I. , sendo seu número de fabricação 11936-F3 . É um padrão secundário, usado para medidas do fluxo da radiação solar global na faixa de 0,3 à 3,0  $\mu\text{m}$ . Sua resistência é de 660 OHM à 24°C , com compensação de temperatura entre - 24 à 40°C .

##### Actinôgrafo Robitzsch

De procedência alemã e fabricado por R. Fuess (Berlin-Steglitz) sob referência N.F. 4385. Este equipamento foi calibrado por comparação com o Piranômetro Eppley.

##### Radiômetro Evaporimétrico

Foram utilizados dois conjuntos deste equipamento. Cada um formado de duas unidades, uma coberta e outra descoberta. A unidade com cobertura tinha a superfície plana porosa de papel branco do tipo mataborrão, enquanto que a unidade sem cobertura era de coloração negra.

Na Figura 2 é mostrada cada unidade do conjunto.

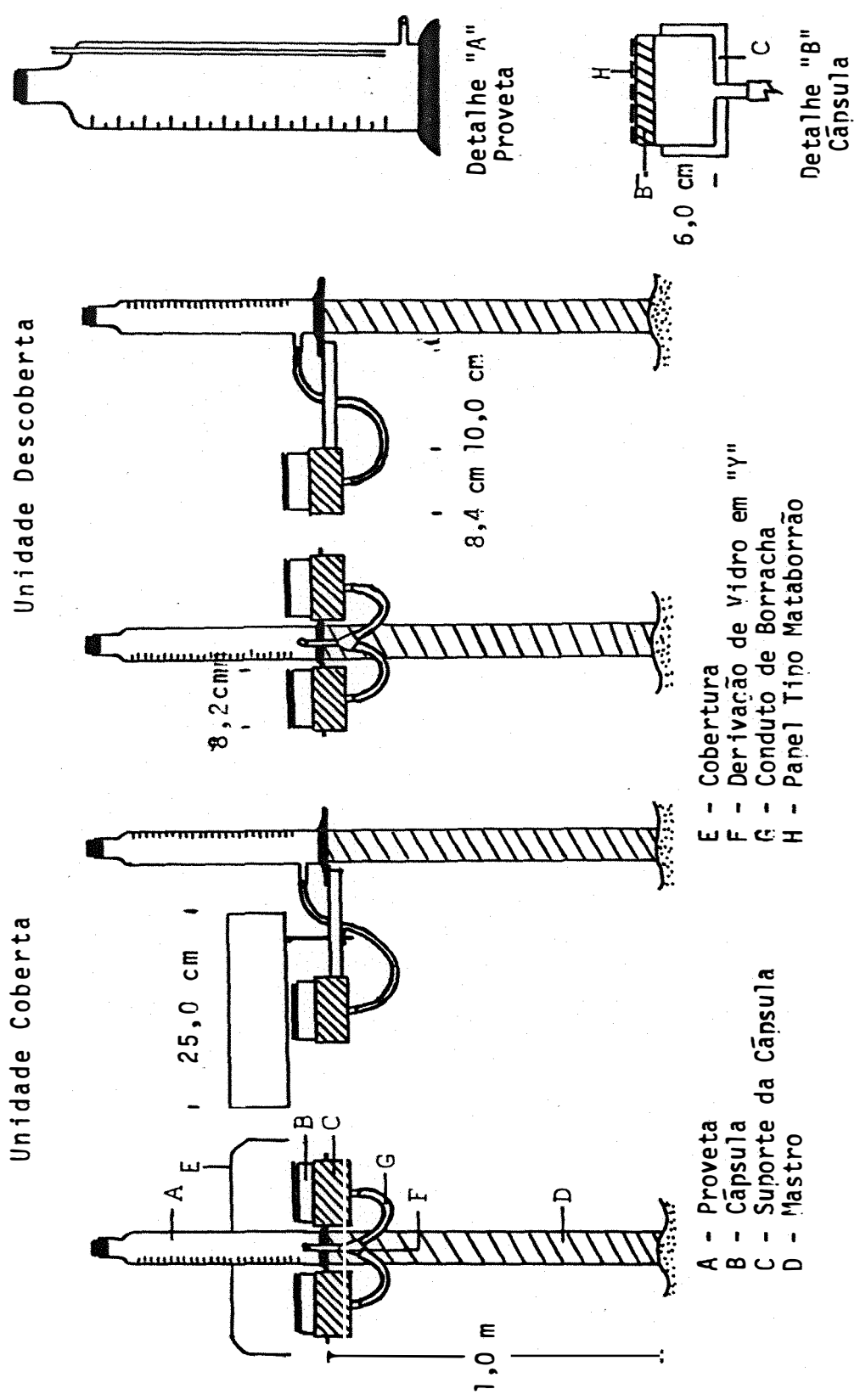


FIGURA 2 - Radiômetro Evaporimétrico

A proveta (A) sendo graduada de 0 a 250 ml com divisões de 2 ml, permitia leituras com aproximação de 1 ml. No seu interior existe um tubo com 0,4 cm de diâmetro interno com uma extremidade para o exterior e outra ao nível dos 30 ml, para manter a pressão interna da água neste nível igual a pressão atmosférica. Ver detalhes da proveta na Figura 2.

A cápsula (B), de material argiloso não sofria ação do efeito de capilaridade. No seu centro existia um pequeno orifício cuja função principal era a de expulsar o ar do reservatório e permitir verificação do nível da água. Ver detalhes da cápsula na Figura 2.

O suporte (C) do reservatório e o mastro (D) eram de tubo conduíte, pintados de branco fosco.

A cobertura (E) das cápsulas foi construída de material plástico com as seguintes dimensões: 40 x 20 x 10 cm. Sua face externa foi pintada de branco e a face interior de preto fosco.

A derivação de vidro em Y (F), tinha a função de unir a proveta aos reservatórios através de tubos de borracha flexível (G).

O papel mata-borrão (H) constituía a superfície evaporante. Antes de ser utilizado, sofreu um tratamento de fervura para perder a goma que vinha de fabricação. O papel para o conjunto descoberto foi tingido de preto.

#### 4.1.2 - Evapotranspiração

Evapotranspirômetros - Utilizou-se um conjunto de evapotranspirômetros constituído de cinco (5) unidades com sub irrigação, os mesmos utilizados por ASSIS (1978).

Cada um foi construído em chapa galvanizada, com as seguintes dimensões: 184 cm de comprimento, 134 cm de lar gura e 32 cm de profundidade ; no fundo foi colocada uma cam da de areia de 4 cm de espessura e a seguir foi preenchido com solo peneirado, classificado como terra roxa estruturada, série "Luiz de Queiroz" (Alfisol), segundo RANZANI *et alii* (1966) e no qual foi plantada grama batatais (*Paspalum nota - tum*, Fluegg) e mantida com uma altura aproximada de 10 cm a través de cortes periódicos.

Esses evapotranspirômetros eram comunicados com cin co (5) reabastecedores construídos em PVC rígido, com 25,8 cm de diâmetro interno e altura de 50 cm, estabelecendo deste mo do uma relação de área entre o reabastecedor e o evapotranspi rômetro de 1 : 47,2 . No reabastecedor foi adaptado um tubo de vidro graduado de 0 a 8 mm e um vernier com precisão de 0,1 mm que facilitava a aproximação de leituras diminuindo des te modo um erro maior na medida.

Entre cada evapotranspirômetro e o seu reabastece dor foi intercalada uma caixa de passagem construída em chapa galvanizada e na qual havia um sistema de boia que controlava a admissão de água ; as ligações entre "reabastecedor-caixa

de passagem-evapotranspirômetro" eram de tubos plásticos transparentes e flexíveis.

#### 4.1.3 - Elementos de clima

Na observação dos elementos de clima foram empregados os seguintes instrumentos:

Temperatura do Ar - obtida diariamente através de dois (2) termômetros de mercúrio em vidro de máxima e de mínima de fabricação Fuess, modelos 43c e 43d respectivamente, com escala graduada em graus Celsius e com divisão de 0,2°C, instalados no abrigo termométrico.

Umidade Relativa do Ar - obtida por meio de um termo-higrógrafo de fabricação Fuess, modelo 159r, de rotação semanal, devidamente calibrado e apresentando uma precisão de  $\pm 5\%$ .

Velocidade do Vento - medida com um anemômetro integrador de fabricação Fuess, modelo 91g, instalado ao nível de 2 m da superfície do solo.

Precipitação - os dados referentes a este elemento foram obtidos com pluviômetro HH, com leituras em provetas graduadas em mililitros e posteriormente convertidas em milímetros.

Insolação - as horas de brilho solar foram obtidos com um heliôgrafo Campbel-Stokes de fabricação Fuess, modelo 96 c.

#### 4.2 - Métodos

##### 4.2.1 - Medidas do fluxo de radiação solar global

Actinôgrafo - as medidas do fluxo de radiação solar global foram calculadas diariamente através de integração de área do diagrama e cujo valor foi multiplicado por um fator de correção de 1,02, encontrado durante a calibração do equipamento. Para a operação de calibragem escolheu-se um dia limpo (céu sem nuvens). Ver valores no Apêndice 1.

##### 4.2.2 - Medida da evapotranspiração

No conjunto de evapotranspirômetros, o nível do lençol freático foi mantido constante, aproximadamente a 19 cm da superfície do solo. As leituras do total evapotranspirado eram feitas diariamente ao nascer do sol e em seguida os rebastecedores eram zerados. Durante o processo de evapotranspiração, desenvolviam-se automaticamente as seguintes etapas: a medida em que havia evapotranspiração, ocorria um abaixamento  $\Delta w$  do lençol freático; esse desnível pelo princípio dos vasos comunicantes fazia com que a caixa de passagem suprisse



de água o evapotranspirômetro até o estabelecimento de um novo equilíbrio ; esse suprimento por sua vez provocava um abaixamento no nível da água da caixa de passagem fazendo com que a boia liberasse a agulha, admitindo água do reabastecedor no volume correspondente ao evapotranspirado, volume esse transformado em lâmina de água correspondente à área do evapotranspirômetro com leitura na escala graduada em milímetros acoplada ao tubo de vidro indicador de nível da água no reabastecedor. Nos períodos de chuva os evapotranspirômetros eram protegidos com uma cobertura de lençol plástico em armação de madeira, suportada por quatro (4) piquetes a 30 cm da superfície gramada, para evitar variações no armazenamento d'água e consequente perda de leitura.

#### 4.2.3 - Estimativa do fluxo da radiação solar global

O fluxo da radiação solar global foi estimada através do radiômetro evaporimétrico, em função da evaporação da água das unidades evaporantes, de acordo com as seguintes considerações:

A evaporação da água da unidade descoberta era função dos seguintes elementos, como segue:

$$\Delta V_d = f (Q_g ; \Delta e ; v ; \dots ; p)$$

onde:

$\Delta V_d$  = volume de água evaporada na unidade descoberta,

$Q_g$  = fluxo de radiação solar global,

$\Delta e$  = d efice de saturação,

$v$  = vento,

$p$  = geometria das c apsulas ; albedo ; temperatura da água ; condições aerodinâmicas ; etc.

Para unidade coberta, os elementos de clima que atuavam na evaporação, excetuando  $Q_g$ , eram os mesmos da unidade descoberta mais a fluxo da radiação difusa;

$$\Delta V_c = f (q_d ; \Delta e ; V ; \dots ; p)$$

onde:

$\Delta V_c$  = volume de água evaporada pela unidade coberta,

$q_d$  = fluxo de radiação difusa,

$\Delta e$  = d efice de saturação,

$v$  = vento,

$p$  = geometria das c apsulas ; albedo ; temperatura da água ; condições aerodinâmicas ; etc.

Sabe-se que o fluxo de radiação difusa participa com + 20% no fluxo de radiação solar global;

$$Q_g = Q_d + q_d$$

onde:

$Q_g$  = fluxo de radiação solar global,

$Q_d$  = fluxo de radiação solar direta,

$q_d$  = fluxo de radiação difusa.

Tomando-se por base esta distribuição aproximada, conclui-se que o fluxo de radiação difusa incidente na unidade coberta é muito menor que aquela que incide na unidade des coberta, sendo neste caso função da correção de aboboda e des

presível em relação ao fluxo de radiação solar global. Tal correção foi estimada aproximadamente em um valor maior que 62,5% considerando-se como 100% a exposição total, como segue (Vide Figura 3) , calculando-se primeiramente uma correção para cobertura esférica (C) ,

$$2 \pi R \longrightarrow 100 \quad (\text{de fluxo de radiação difusa})$$

$$\pi R L \longrightarrow C$$

$$C = \frac{L}{2 R}$$

no caso, sendo  $L = 25 \text{ cm}$  e  $R = 20 \text{ cm}$ , obteve-se um valor de  $C = 62,5\%$  .

Deste modo estimou-se que um valor maior do que 62,5% do fluxo de radiação difusa foi interceptada pela cobertura.

Em face a esta consideração pode-se escrever que:

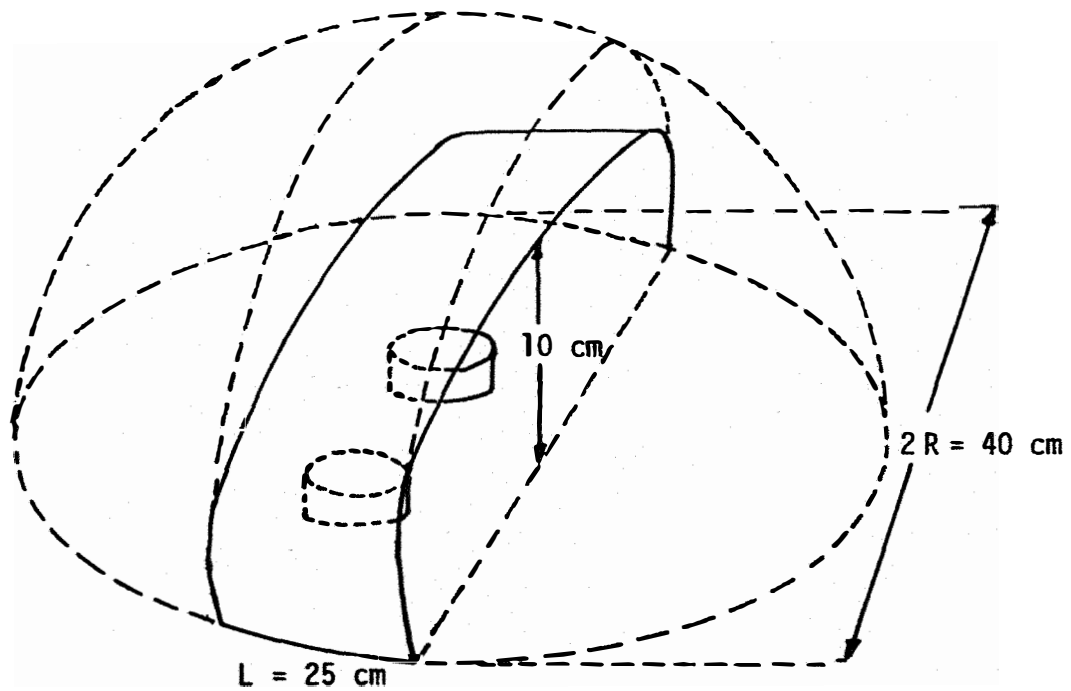
$$\Delta V_d = f (Q_g ; \Delta e ; v ; \dots ; p)$$

$$\Delta V_c = f (q_d ; \Delta e ; v ; \dots ; p)$$

e sendo;  $q_d$  desprezível e os efeitos de  $\Delta e$  ;  $v$  e  $p$  na evaporação total praticamente zero (0) pois participam nos dois casos, anulando-se na subtração; podemos escrever que:

$$(\Delta V_d - \Delta V_c) = \Delta V_t = f (Q_g)$$

onde  $\Delta V_t$  é a diferença de evaporação das unidades evaporantes. Convém frisar-se que a água dentro do reservatório não estava sob ação de potencial capilar e nem de carga hidráulica, estando portanto com potencial total, nulo. A medida que



$$C > 62,5\%$$

FIGURA 3 - Correção de Cobertura

a evaporação se processava, o reservatório era abastecido pela água da proveta o que permitia uma leitura no final do dia e que por diferença das duas unidades (coberta e descoberta), dava um  $\Delta Vt$ . As leituras eram efetuadas no nascer e por do sol.

Uma análise de regressão entre os valores de  $\Delta Vt$  e os de fluxo de radiação solar global medidos pelo actinógrafo ( $Qg$ ), demonstrou uma associação entre estes dois valores do tipo:

$$Qg = a + b \Delta Vt$$

O fluxo da radiação solar global, também foi estimada através da fórmula proposta por OMETTO (1973), que tem como expressão:

$$Qg = Qo (0,26 + 0,51 n / N)$$

O cálculo de  $Qo$  foi obtido através da expressão:

$$Qo = \frac{1.440}{\pi} \cdot S \left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 \cdot (\text{sen } \gamma \cdot \text{sen } \delta \cdot h_1 + \text{cos } \gamma \cdot \text{cos } \delta \cdot \text{senh}_2)$$

onde:

$Qg$  = fluxo de radiação solar global,

$Qo$  = total de fluxo de radiação solar que atinge uma área horizontal unitária em um dia, admitindo-se a ausência da atmosfera e constante solar =

$$2 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot (\text{Ver Apêndice 2}),$$

$n$  = insolação diária em horas e décimos,

$N$  = duração do período diurno, estimado através da expressão:

$$N = 0,133 \text{ arc} \cdot \cos \cdot (- \text{tg } \gamma \cdot \text{tg } \delta).$$

Ver razão de insolação no Apêndice 3 ,

$S$  = constante solar, tomada como

$$2 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} \text{ ,}$$

$\bar{d}$  = distância média terra-sol em unidade astronômica,

$d$  = distância terra-sol no dia considerado na mesma unidade,

$\gamma$  = latitude do lugar,

$\delta$  = declinação do solo para o dia considerado,

$h_1$  = ângulo horário ao nascer do sol em radianos,

$h_2$  = ângulo horário ao nascer do sol em graus.

#### 4.2.4 - Estimativa da evapotranspiração

A estimativa da evapotranspiração potencial foi calculada através do método de PENMAN (1963), como segue:

$$ET_p = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot H + Ea_T}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

onde o termo  $H$  (balanço de energia) foi estimado a partir da fórmula sugerida por LINACRE (1977);

$$Q_n = 0,5 Q_g \text{ ,}$$

onde o fluxo de radiação solar global ( $Q_g$ ) foi substituído pelos valores estimados através do radiômetro evaporimétrico a-

través da relação já mencionada;

$$Qg = a + b \Delta Vt$$

O poder evaporante do ar ( $Ea_T$ ) foi estimado a partir de valores encontrados através de uma equação de regressão entre os valores determinados pela expressão utilizada por PENMAN (1963) ,

$$Ea = 0,35 \left( 1 + \frac{U_2}{160,9} \right) (e_s - e_a) \text{ em mm}$$

e os valores da evaporação da unidade coberta ( $\Delta Vc$  - no período de 24 horas) resultando uma equação do tipo

$$Ea_T = B \Delta Vc$$

(Ver valores de  $\Delta Vc$  no Apêndice 4).

Após estas substituições a expressão para a estimativa da evapotranspiração potencial tomou a forma:

$$ET_p = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot H + Ea_T}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

sendo,  $H = 0,5 (a + b \Delta Vt)$  e  $Ea_T = B \Delta Vc$  ,

onde:  $\Delta$  = representa a tangente à curva de saturação de vapor e foi calculada para uma amplitude de  $0^{\circ}C$  à  $28,9^{\circ}C$  , derivando a expressão de Tetens:

$$e_s = 6,11 \times 10^{\frac{a \times T}{b + t}} \times 0,75 \text{ mmHg}$$

$$a = 7,5 \quad , \quad b = 237,3$$

sendo  $e_s$  a tensão de saturação de vapor à temperatura do ar em graus Celsius, tomada no abrigo termométrico. Ver valores de  $t_m$  no Apêndice 5 .

$\gamma$  = representa a constante psicrométrica e foi determinada para psicrômetro não ventilado (de abrigo), para uma pressão atmosférica variando na época entre 710 à 720 mmHg, obtendo-se um valor igual a 0,57 mmHg/°C .

$e_a$  = representa a tenção atual de vapor em mmHg e foi calculada através da fórmula:

$$e_a = (e_s \times UR) / 100 .$$

Os valores de  $\Delta/\gamma$  , H ,  $E_a$  e UR ,  $U_2$  ,  $(e_s - e_a)$  encontram-se respectivamente nos Apêndices 6 e 7 .

#### 4.2.5 - Elementos de clima

Temperatura do ar - A temperatura média diária do ar foi obtida através da expressão:

$$t_m = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2}$$

Umidade relativa do ar - A umidade relativa média do dia foi calculada através da expressão:

$$UR_m = \frac{UR_{6h} + \dots + UR_{24h} + \dots + UR_{5h}}{24}$$

com valores obtidos do diagrama do termo-higrógrafo.



Velocidade do vento - A velocidade média do vento foi obtida através de um anemômetro a 2 m do solo, em km/dia, por diferença entre duas leituras consecutivas realizadas todos os dias à mesma hora.

Precipitação - Os valores deste elemento foram obtidos através de dois pluviômetros HH com proveta graduada em mililitros e posteriormente convertidos em milímetros.

Insolação - Os dados referentes à duração do brilho solar foram obtidos das fitas do heliôgrafo em horas e decimos.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - Relativos a Comparação entre a Evaporação do Radiômetro Evaporimétrico e o Fluxo de Radiação Solar Global Medido pelo Actinôgrafo Robitzsch

Os valores de evaporação obtidos pelos conjuntos (1 e 2) e os de fluxo de radiação solar global através do Actinôgrafo, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2 (valores diários) e na Tabela 3 (valores médios de cinco leituras).

Analisando-se estatisticamente estes dados, chegou-se aos seguintes resultados:

Período	Equação de Regressão	r <sup>2</sup>	C.V. (%)		F
			Δ Vt	Qg.	
<u>Conjunto 1:</u>					
Outubro	45,2655 + 9,8461 ΔVt	0,94	15,9	17,0	25,0 *
Novembro	200,0572 + 5,9129 ΔVt	0,98	17,3	10,3	79,4 **
Dezembro	133,6924 + 8,2286 ΔVt	0,85	12,6	10,1	6,0 ns
Janeiro	172,4841 + 6,5888 ΔVt	0,96	14,6	11,6	49,8 **
Fevereiro	136,8330 + 7,1812 ΔVt	0,92	6,9	7,5	21,1 *
Out. - Fev.	148,5737 + 7,2686 ΔVt	0,89	17,1	13,2	94,5 **
-----					
<u>Conjunto 2:</u>					
Outubro	114,0380 + 8,3601 ΔVt	0,88	19,6	17,0	10,28 *
Novembro	205,1143 + 6,2456 ΔVt	0,98	17,6	10,3	62,72 **
Dezembro	122,7724 + 8,6517 ΔVt	0,84	12,2	10,1	7,25 ns
Janeiro	186,7968 + 6,4688 ΔVt	0,98	16,2	11,6	114,95 **
Fevereiro	132,0891 + 7,4553 ΔVt	0,95	7,1	7,5	41,25 **
Out. - Fev.	156,7308 + 7,3103 ΔVt	0,90	17,7	13,2	105,88 **

(\*) Significativo ao nível de 5%

(\*\*) Significativo ao nível de 1%

Pelos resultados obtidos verificou-se uma alta correlação entre os valores dos dois equipamentos. Os coeficientes de variação se equipararam na maioria dos casos mostrando uma boa similaridade entre os valores comparados.

A análise de variância foi significativa para a regressão linear, excetuando no mês de Dezembro para os dois conjuntos. Isto talvez tenha ocorrido devido o maior número de dias com chuva e conseqüentemente diminuição do número de pon

tos para o cálculo da regressão.

As Figuras de 4 a 15 apresentam a dispersão dos pontos obtidos, em base de médias de cinco (5) leituras.

TABELA 1 - Valores de evaporação do radiômetro evaporimétrico ( $\Delta Vt_1$ ) e da radiação global medida pelo actinômetro de Robitzsch ( $Qg$  ACT) - Valores diários.

Dia	Meses									
	Out.		Nov.		Dez.		Jan.		Fev.	
	$\Delta Vt_1$	$Qg$ ACT	$\Delta Vt_1$	$Qg$ ACT	$\Delta Vt_1$	$Qg$ ACT	$\Delta Vt_1$	$Qg$ ACT	$\Delta Vt_1$	$Qg$ ACT
01	-	-	48	495	59	621	23	386	50	483
02	-	-	74	620	60	600	26	323	44	459
03	-	-	34	384	50	503	24	329	40	545
04	-	-	17	199	36	601	12	236	60	555
05	-	-	-	-	65	558	-	-	52	557
06	-	-	26	468	28	375	62	586	49	526
07	55	583	60	591	-	-	62	606	65	551
08	60	592	62	594	11	237	66	627	56	560
09	59	545	50	519	-	-	65	578	49	493
10	8	147	22	346	59	546	55	615	30	369
11	49	470	13	236	60	554	33	401	38	370
12	54	574	21	222	53	486	22	283	32	343
13	55	480	-	-	57	598	61	554	2	243
14	20	256	54	584	33	402	82	633	22	280
15	40	465	56	589	48	435	67	600	46	448
16	34	428	-	-	27	436	52	578	50	514

continua ...

TABELA 1 - Continuação

Dia	Meses									
	Out.		Nov.		Dez.		Jan.		Fev.	
	$\Delta Vt_1$	Qg ACT	$\Delta Vt_1$	Qg ACT	$\Delta Vt_1$	Qg ACT	$\Delta Vt_1$	Qg ACT	$\Delta Vt_1$	Qg ACT
17	54	554	42	399	64	618	59	632	29	317
18	54	516	51	497	53	500	68	595	47	461
19	46	424	63	560	51	523	65	548	43	528
20	49	549	40	419	63	655	15	228	59	412
21	53	636	58	562	-	-	8	133	41	546
22	50	623	52	506	32	518	49	442	20	277
23	52	591	46	433	34	554	47	496	43	428
24	50	597	58	529	58	529	44	546	52	491
25	54	580	50	528	28	526	31	379	53	557
26	52	586	56	496	-	-	59	555	56	490
27	-	-	-	-	-	-	52	493	47	441
28	43	459	65	650	-	-	26	332	57	502
29	11	297	67	633	8	243	-	-	-	-
30	51	462	62	524	33	489	43	514	-	-
31	26	304	-	-	66	583	48	500	-	-

$$\Delta Vt_1 = \text{cm}^3 \times \text{dia}^{-1}$$

$$\text{Qg ACT} = \text{cal} \times \text{cm}^{-2} \times \text{dia}^{-1}$$

TABELA 2 - Valores de evaporação do radiômetro evaporimétrico ( $\Delta V_{t_2}$ ) e da radiação global medida pelo Actinômetro de Robitzsch ( $Q_g$  ACT) - Valores diários

Dia	Meses									
	Out.		Nov.		Dez.		Jan.		Fev.	
	$\Delta V_{t_2}$	$Q_g$ ACT	$\Delta V_{t_2}$	$Q_g$ ACT	$\Delta V_{t_2}$	$Q_g$ ACT	$\Delta V_{t_2}$	$Q_g$ ACT	$\Delta V_{t_2}$	$Q_g$ ACT
01	-	-	44	495	45	621	21	386	50	483
02	-	-	61	620	58	600	24	323	42	459
03	-	-	33	384	48	503	23	329	41	545
04	-	-	12	199	38	601	12	236	60	555
05	-	-	-	-	70	558	-	-	52	557
06	-	-	37	468	25	375	59	586	51	526
07	58	583	53	591	-	-	61	606	64	551
08	59	592	64	594	15	237	68	627	56	560
09	60	545	38	519	-	-	63	578	49	493
10	9	147	20	346	53	546	55	615	26	369
11	59	470	14	236	60	554	32	401	36	370
12	52	574	17	222	51	486	19	283	30	343
13	57	480	-	-	57	498	58	554	4	243
14	20	256	51	584	31	402	82	633	24	280
15	42	465	53	589	44	435	65	600	41	448
16	36	428	-	-	27	436	52	578	47	514
17	54	554	41	399	61	618	59	632	26	317
18	48	516	49	497	50	500	63	595	44	461
19	44	424	54	560	48	523	50	548	43	528

continua ...

TABELA 2 - Continuação

Dia	Meses									
	Out.		Nov.		Dez.		Jan.		Fev.	
	$\Delta Vt_2$	Qg ACT	$\Delta Vt_2$	Qg ACT	$\Delta Vt_2$	Qg ACT	$\Delta Vt_2$	Qg ACT	$\Delta Vt_2$	Qg ACT
20	45	549	37	419	59	655	17	228	60	412
21	52	636	58	562	-	-	8	133	42	546
22	50	623	46	506	30	518	50	442	18	277
23	52	591	42	433	33	554	47	496	43	428
24	50	597	53	529	62	529	43	546	52	491
25	56	580	46	528	28	526	32	379	54	557
26	50	568	54	496	-	-	59	555	54	490
27	-	-	-	-	-	-	50	493	44	441
28	38	459	59	650	-	-	25	332	51	502
29	11	297	62	633	6	243	-	-	-	-
30	46	462	62	524	42	489	41	514	-	-
31	26	304	-	-	62	583	48	500	-	-

$$\Delta Vt_1 = \text{cm}^3 \times \text{dia}^{-1}$$

$$\text{Qg ACT} = \text{cal} \times \text{cm}^{-2} \times \text{dia}^{-1}$$

TABELA 3 - Valores de evaporação do radiômetro evaporimétrico ( $\Delta Vt$ ) e da radiação global medida pelo Actinôgrafo de Robitzsch ( $Qg$  ACT) - Médias de 5 leituras.

Outubro			Novembro			Dezembro		
$\Delta Vt_1$	$\Delta Vt_2$	Qg ACT.	$\Delta Vt_1$	$\Delta Vt_2$	Qg ACT.	$\Delta Vt_1$	$\Delta Vt_2$	Qg ACT.
46,2	49,0	467,4	39,8	37,4	433,2	54,0	53,6	576,6
40,6	41,4	440,6	41,4	37,8	457,2	42,2	40,8	439,6
51,2	48,6	535,8	44,8	42,2	458,2	45,8	44,0	497,8
51,6	51,6	591,8	51,8	47,4	496,0	46,6	44,0	550,0
32,8	30,2	380,5	59,7	56,0	560,0	38,6	40,0	474,0

Janeiro			Fevereiro		
$\Delta Vt_1$	$\Delta Vt_2$	Qg ACT.	$\Delta Vt_1$	$\Delta Vt_2$	Qg ACT.
29,4	27,8	372,0	49,2	49,0	519,8
56,2	55,8	565,4	49,8	49,2	499,8
56,8	55,2	529,6	28,0	27,0	336,8
43,0	39,4	427,2	45,6	44,0	446,4
46,0	46,2	483,6	41,8	41,8	459,8
42,2	41,0	459,8	47,2	44,8	437,0

$\Delta Vt_1$  = Evaporação do Conjunto 1 -  $\text{cm}^3 \times \text{dia}^{-1}$

$\Delta Vt_2$  = Evaporação do Conjunto 2 -  $\text{cm}^3 \times \text{dia}^{-1}$

Qg ACT. = Radiação global Actinôgrafo -  $\text{cal} \times \text{cm}^{-1} \times \text{dia}^{-1}$



## Conjunto 1 - Outubro

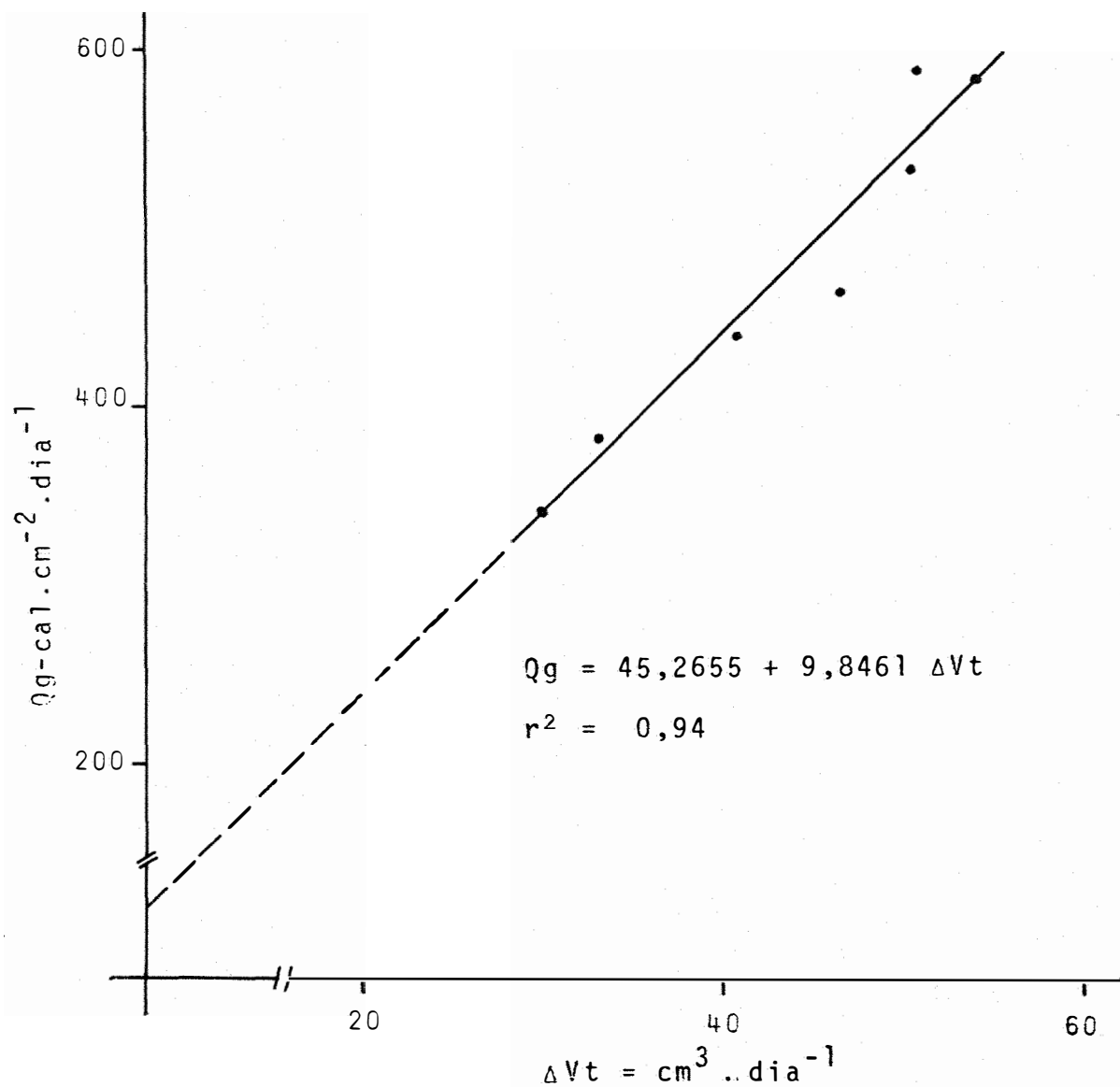


Fig. 4 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

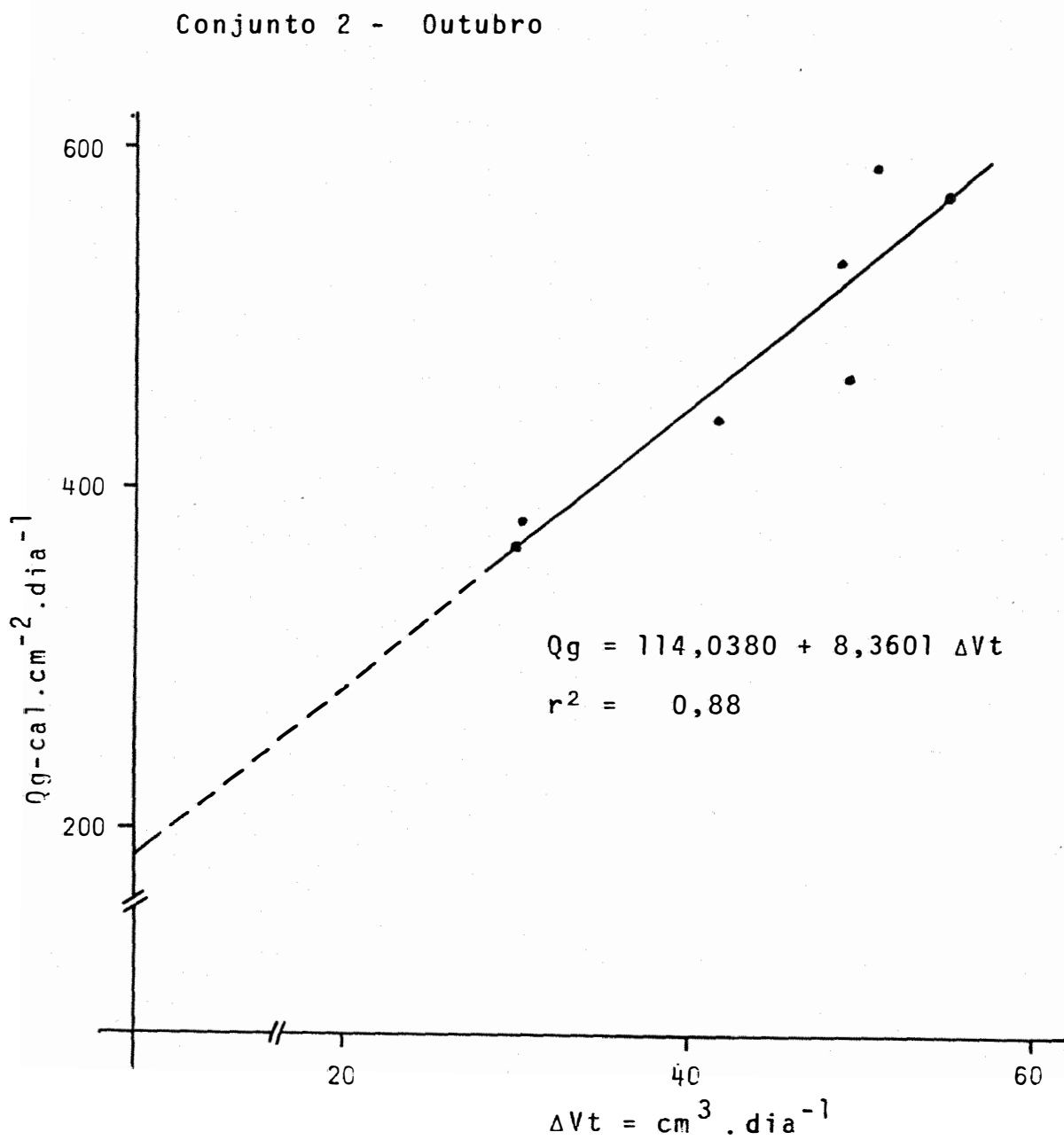


Fig. 5 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinômetro e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

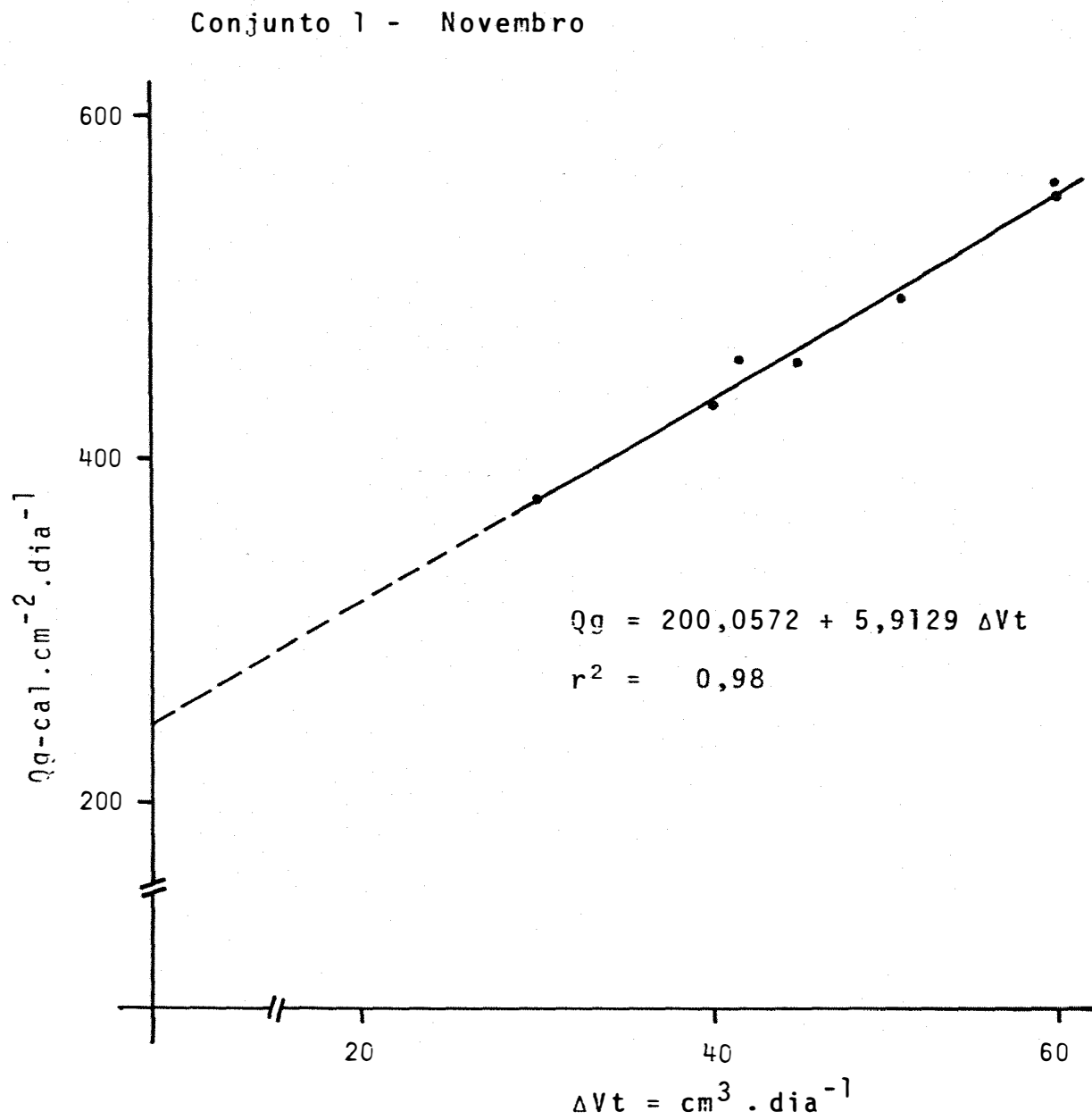


Fig. 6 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

## Conjunto 2 - Novembro

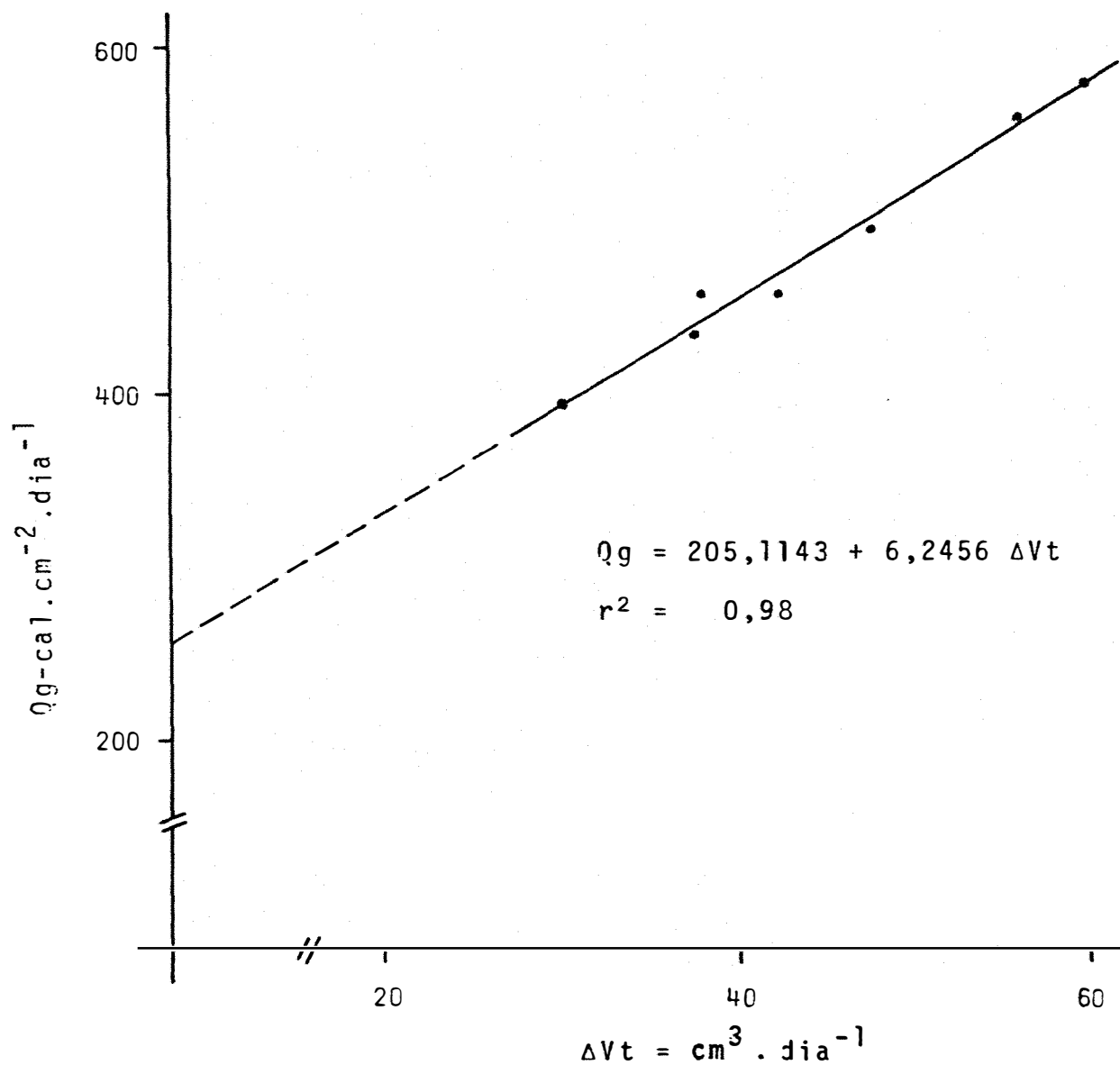


Fig. 7 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

## Conjunto 1 - Dezembro

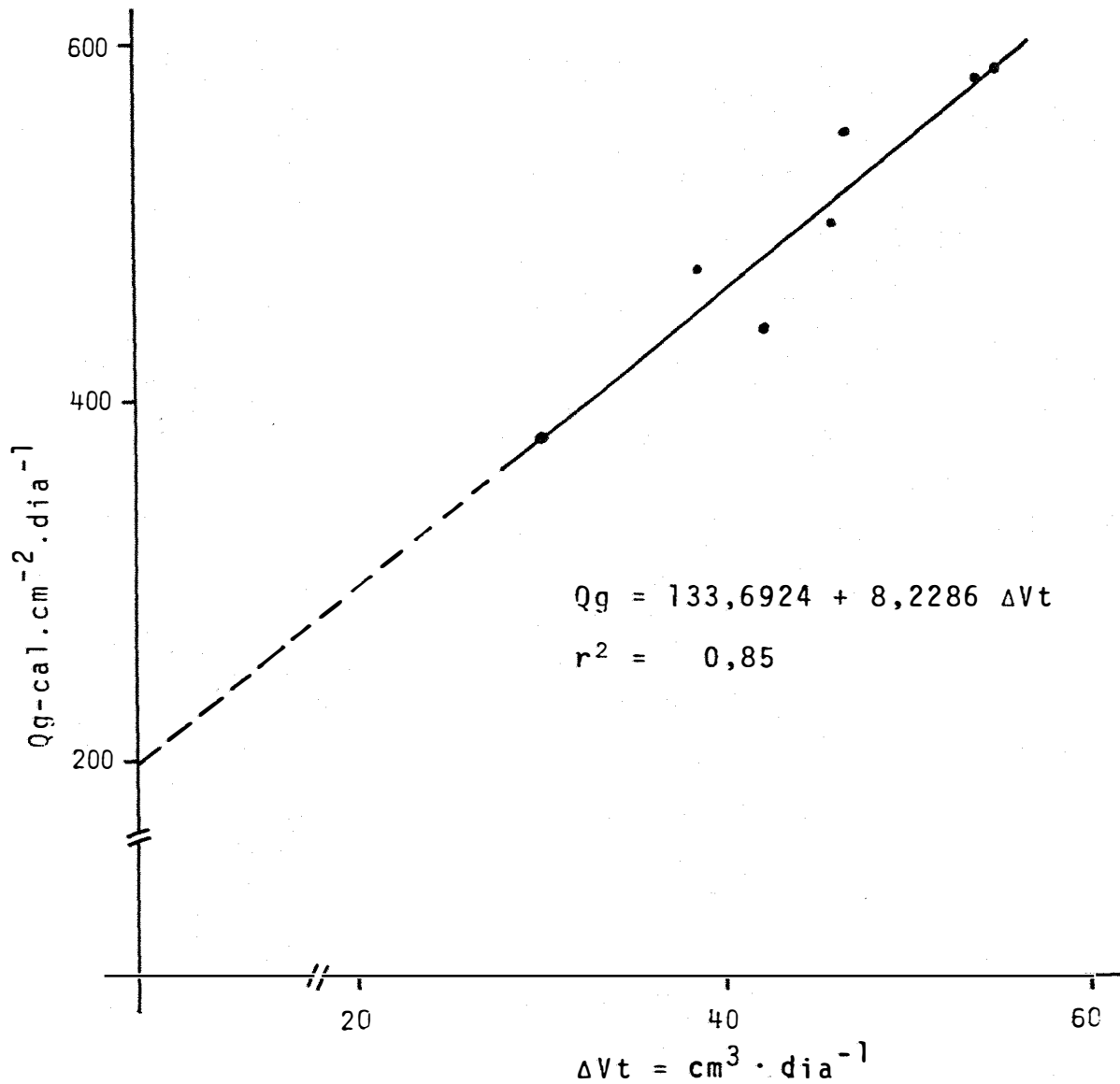


Fig. 8 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

## Conjunto 2 - Dezembro

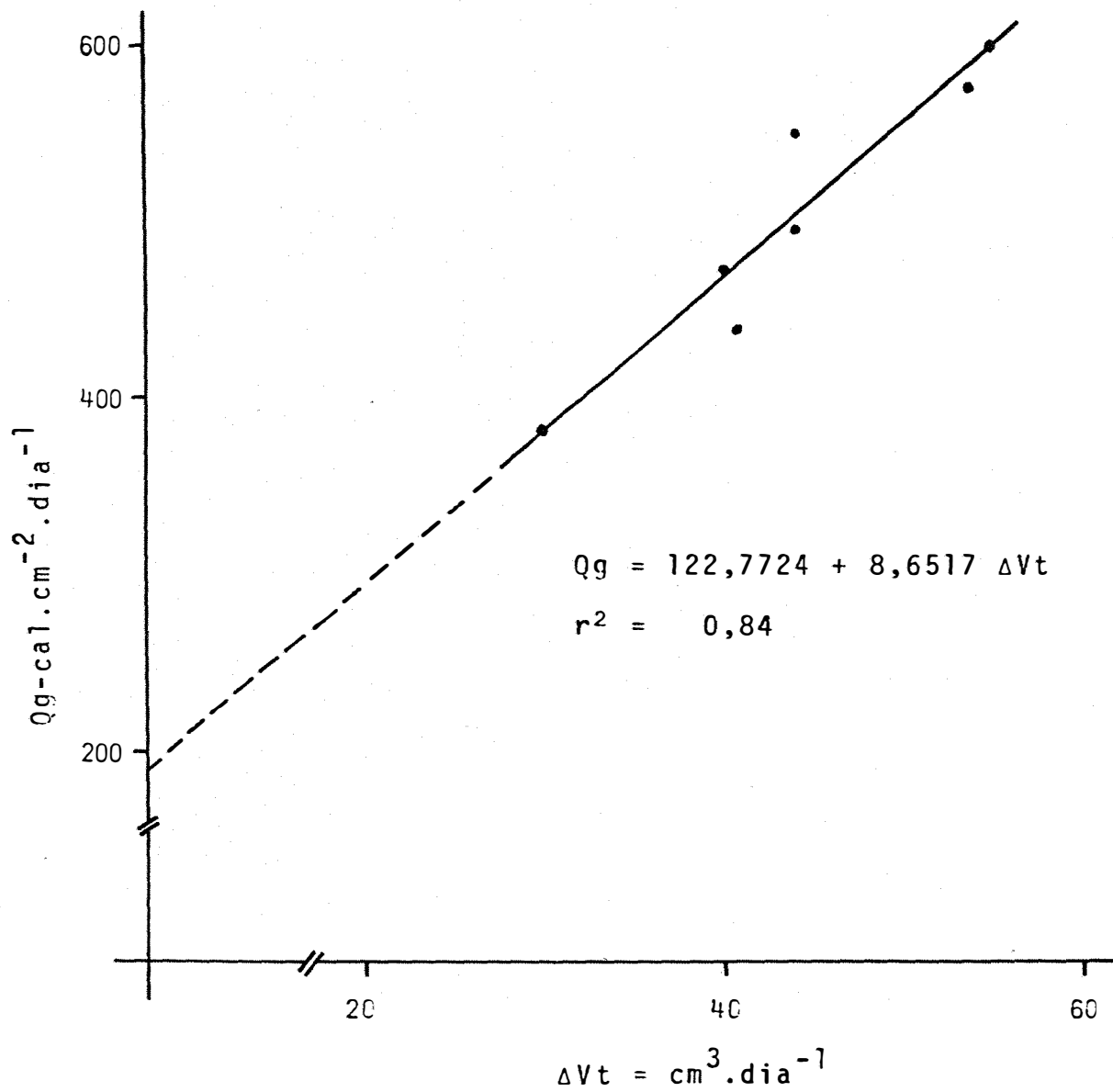


Fig. 9 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evanorimétrico (Média de 5 leituras).

Conjunto 1 - Janeiro

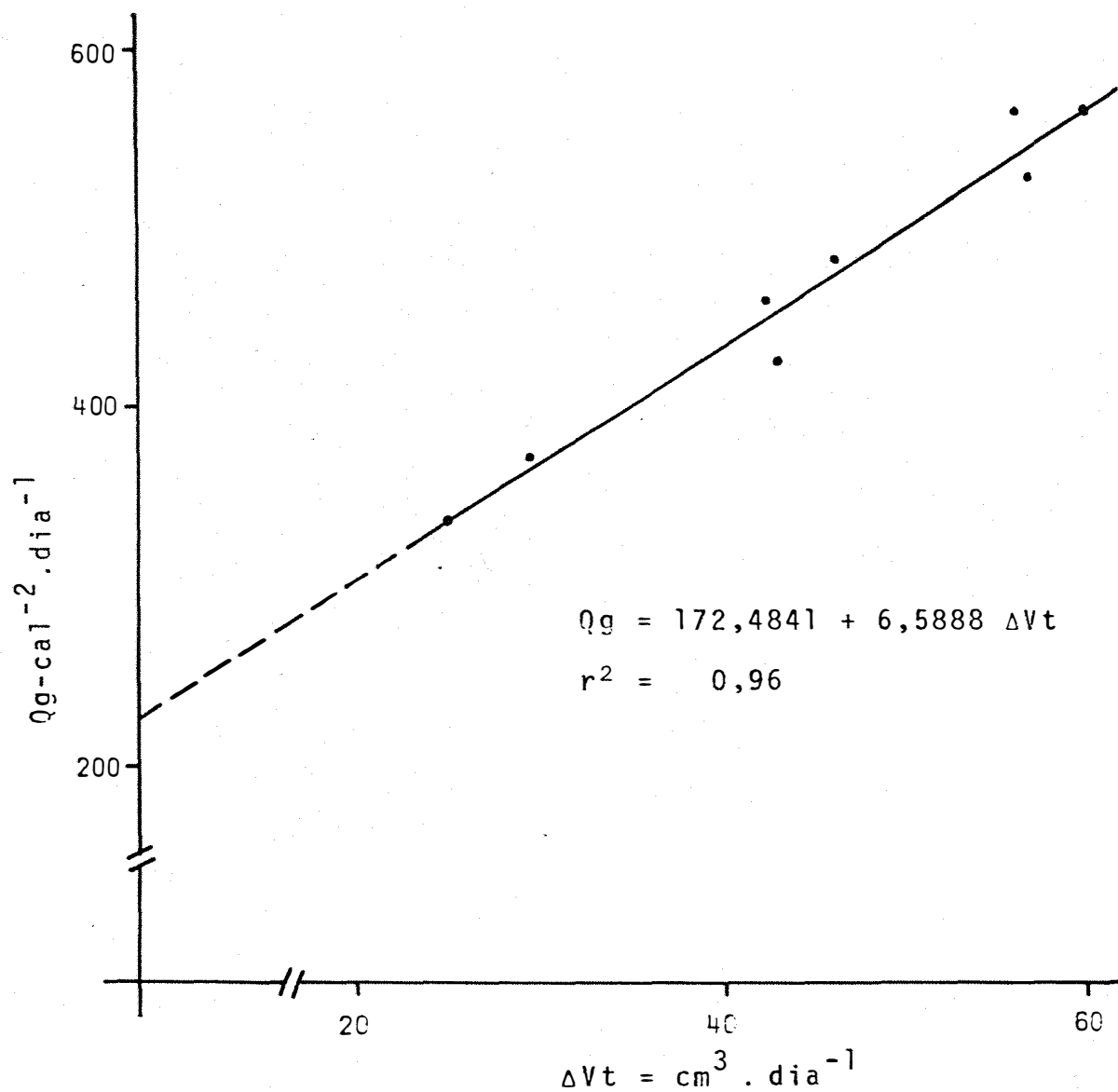


Fig. 10 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evanorimétrico (Média de 5 leituras).

## Conjunto 2 - Janeiro

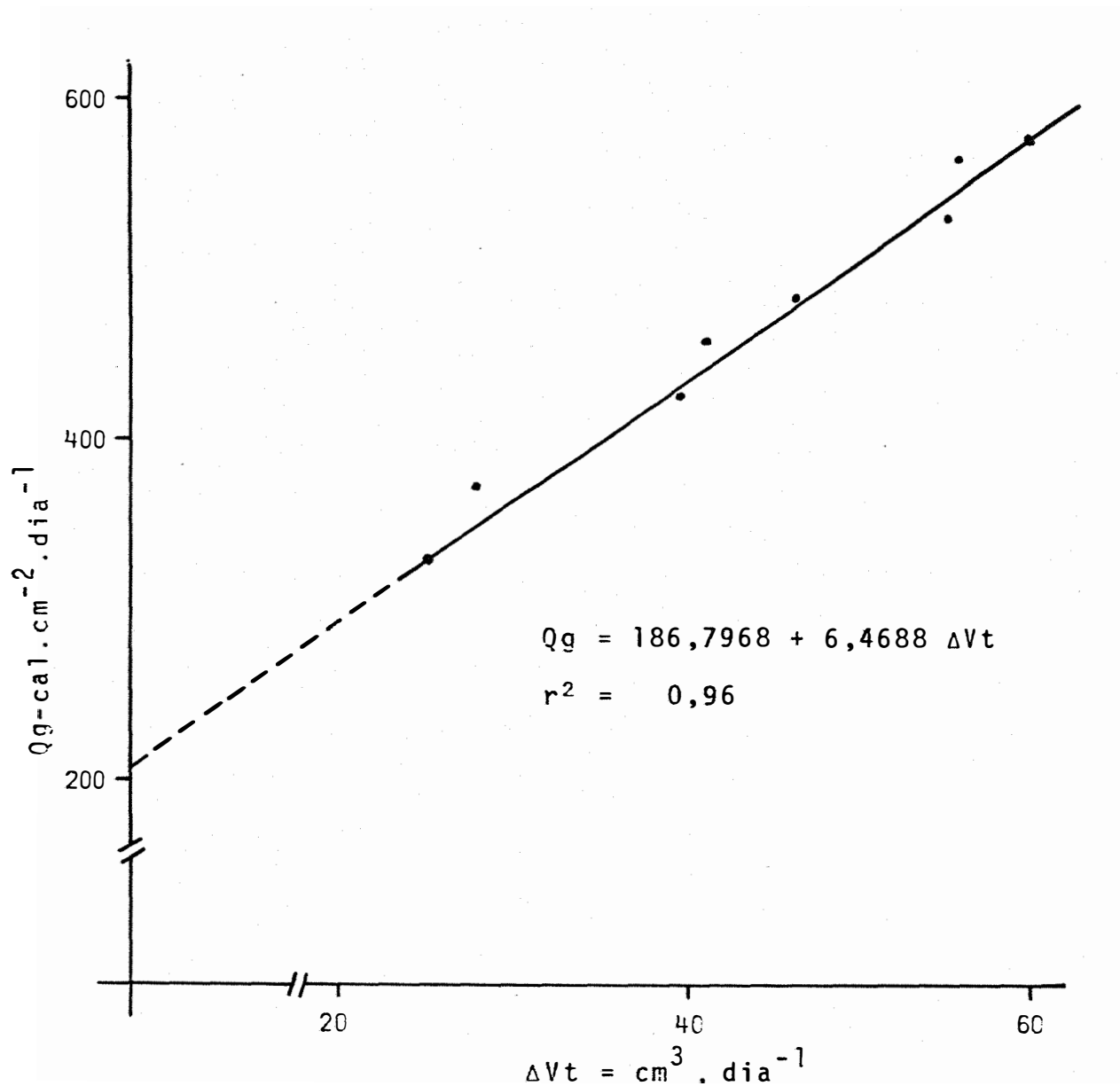


Fig. 11 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).



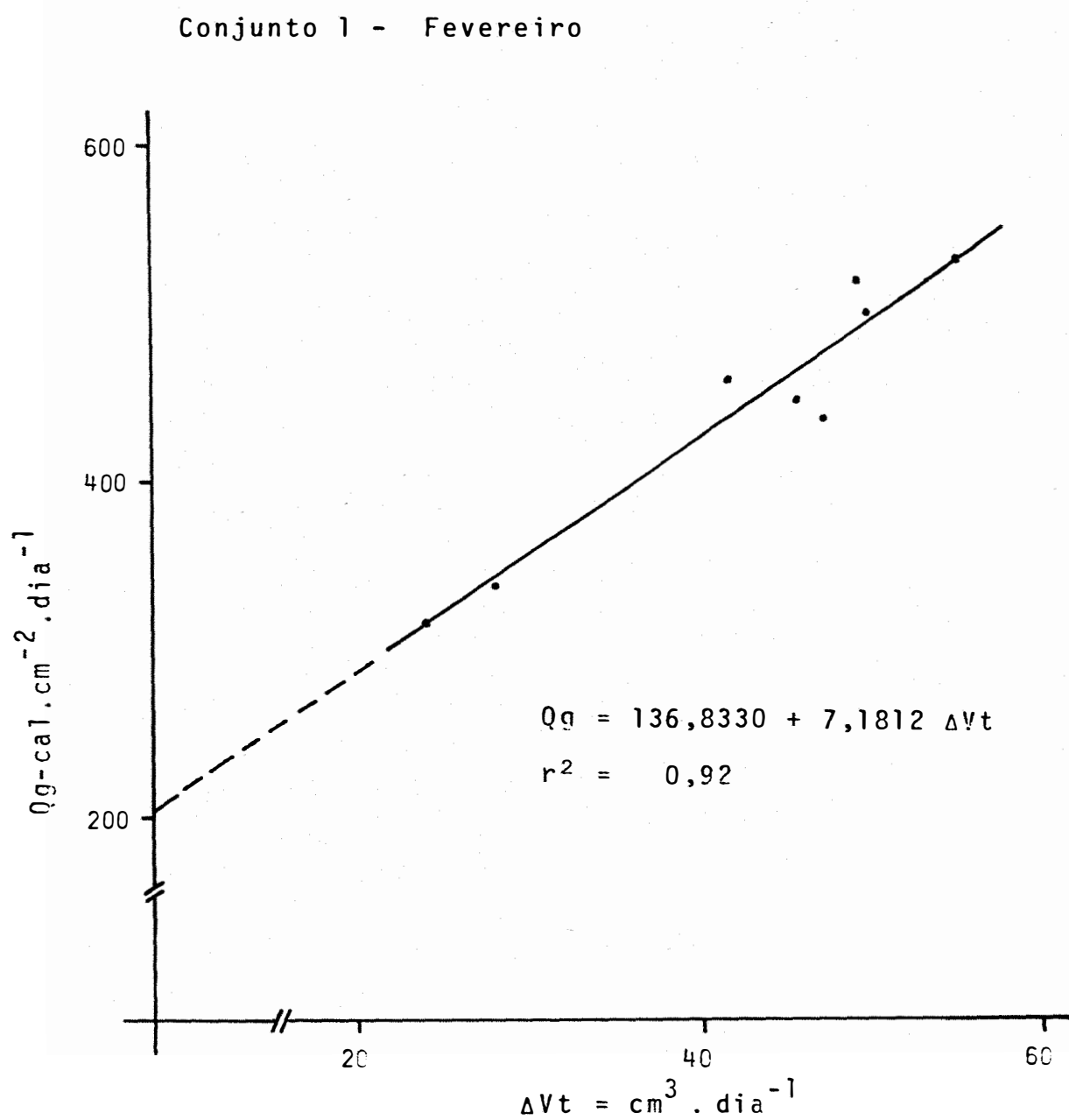


Fig. 12 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

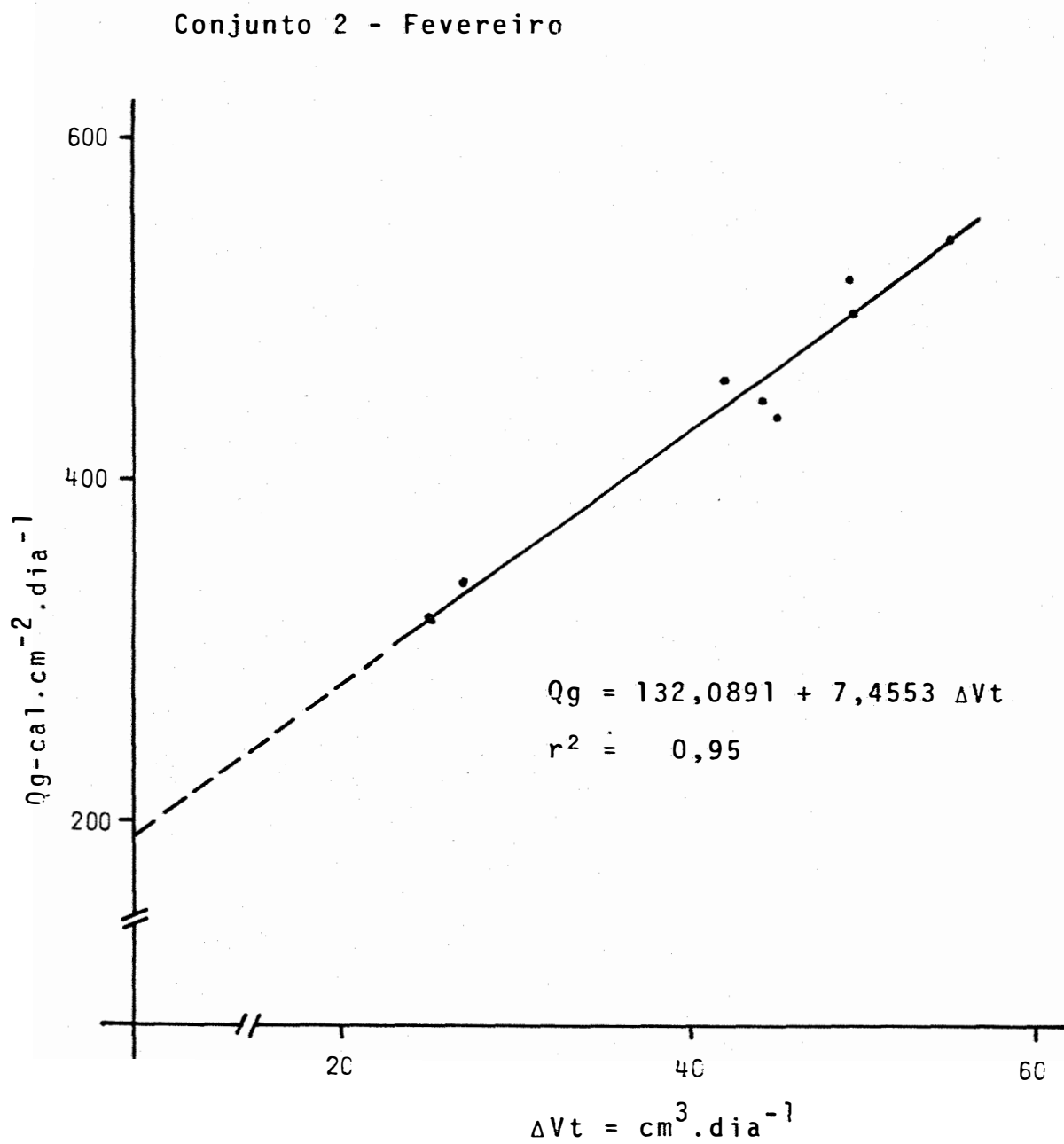


Fig. 13 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

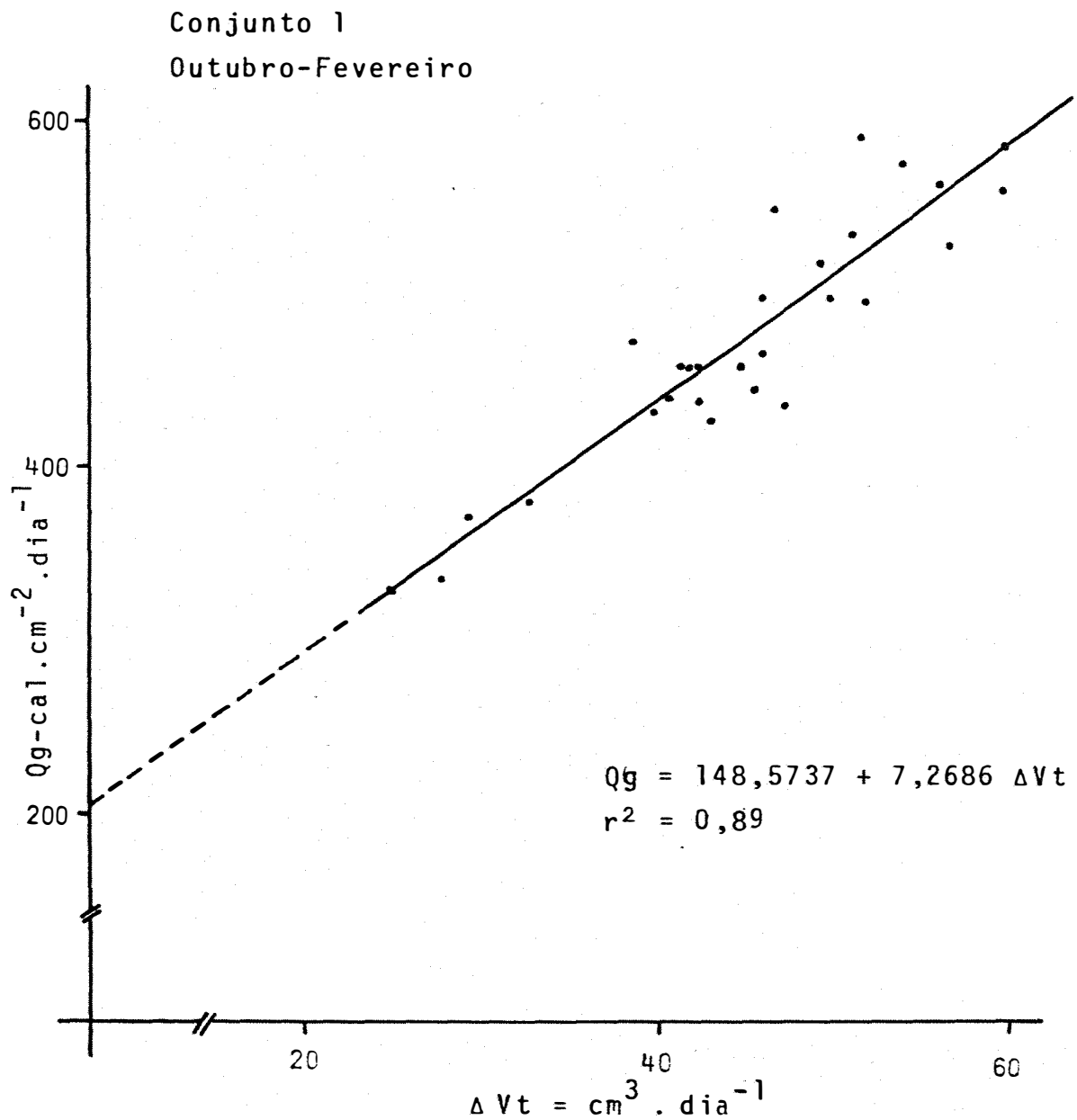


Fig. 14 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinógrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

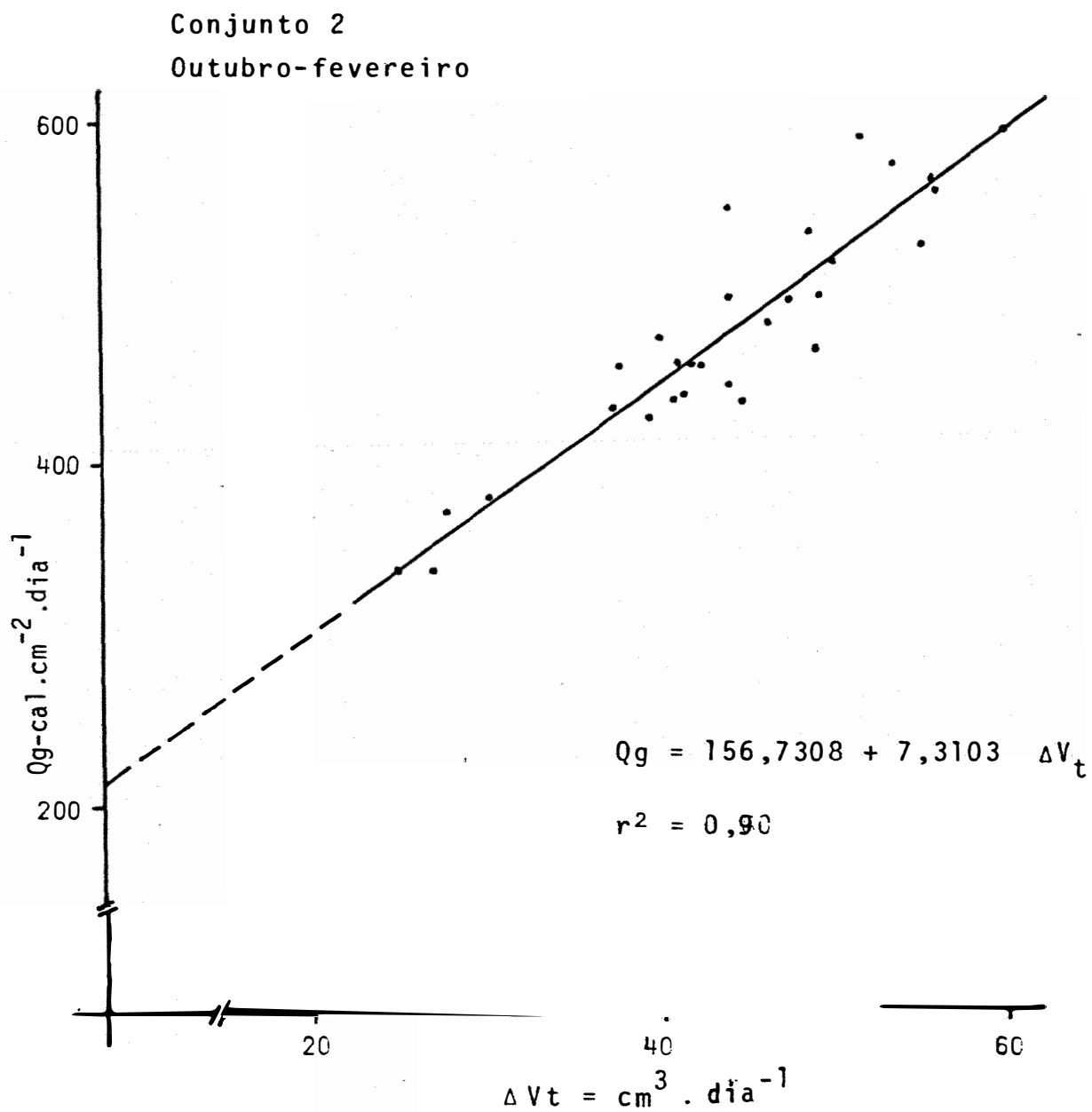


Fig. 15 - Correlação entre valores de fluxo de radiação solar global diária, medida em actinôgrafo e evaporação do radiômetro evaporimétrico (Média de 5 leituras).

5.2 - Relativos a Comparação do Fluxo de Radiação Solar Global Estimado por:  $Q_g F = Q_o (0,26 + 0,51 n/N)$  Proposta por OMETTO (1973) e Através do Radiômetro Evaporimétrico e o Medido pelo Actinôgrafo Robitzsch

Como o estudo foi dirigido para encontrar uma equação de regressão que estimasse o fluxo da radiação solar global através da evaporação de água, substituindo deste modo o uso do actinôgrafo, tomou-se valores estimados pela fórmula proposta por OMETTO (1973) e comparou-se com valores obtidos pelo actinôgrafo.

Para comparação entre as médias de cinco (5) leituras, efetuou-se o teste "t" estando os resultados obtidos no quadro a seguir:

Meses	r	C.V. (%)			t	
		Qg. F	Qg. ACT		1%	5%
Outubro	0,99	16,55	17,09	1,06	n.s.	n.s.
Novembro	0,93	10,87	10,97	1,59	n.s.	n.s.
Dezembro	0,97	11,84	13,52	1,82	n.s.	n.s.
Janeiro	0,96	18,62	14,94	1,18	n.s.	n.s.
Fevereiro	0,90	18,36	14,21	0,89	n.s.	n.s.

Qg. F - Fórmula

Qg. ACT - Actinôgrafo.

Em seguida efetuou-se a comparação dos valores obtidos pela fórmula proposta por OMETTO (1973) com os estimados

através das equações de regressão referente ao Radiômetro Evaporimétrico e efetuou-se o teste "t".

O quadro abaixo mostra os resultados encontrados:

Meses	r	C.V. (%)		t		
		Qg. F	Qg. E	1%	5%	
<u>Conjunto 1:</u>						
Outubro	0,88	16,55	16,02	1,09	n.s.	n.s.
Novembro	0,92	10,87	10,07	1,53	n.s.	n.s.
Dezembro	0,72	11,84	9,33	1,94	n.s.	n.s.
Janeiro	0,92	18,68	14,23	1,52	n.s.	n.s.
Fevereiro	0,94	18,36	13,01	1,44	n.s.	n.s.
-----						
<u>Conjunto 2:</u>						
Outubro	0,80	16,55	15,04	1,13	n.s.	n.s.
Novembro	0,92	10,87	10,07	1,52	n.s.	n.s.
Dezembro	0,77	11,84	9,18	1,95	n.s.	n.s.
Janeiro	0,96	18,62	14,48	1,14	n.s.	n.s.
Fevereiro	0,94	18,36	13,59	1,42	n.s.	n.s.
Qg. F - Fôrmla		Qg. E - Equação				

Em ambos conjuntos, os resultados se mostraram não significativos. Houve comportamento idêntico entre as médias onde conclui-se que, as estimativas realizadas pelo radiômetro evaporimétrico no período, não diferem daquelas realizadas pela equação proposta por OMETTO (1973). Os valores encontram-se nas Tabelas 4 (diários) e 5 (média de cinco leituras).

TABELA 4 - Valores da radiação global estimada pela fórmula  $Q_g F = Q_0 (0,26 + 0,51 n/N)$ , pelas equações de regressão mensais dos conjuntos (1 e 2), e a medida pelo actinógrafo de Robitzch. (Valores diários)

Dia	Outubro				Novembro			
	Qg F	QgACT	Qg C <sub>1</sub>	Qg C <sub>2</sub>	Qg F	QgACT	Qg C <sub>1</sub>	Qg C <sub>2</sub>
01					467,8	495	483,9	479,9
02					698,0	620	637,2	586,0
03					420,2	384	401,1	411,0
04					295,7	199	300,0	280,0
05					-	-	-	-
06					559,2	468	353,8	436,2
07	615,4	583	586,8	598,9	691,6	591	554,8	536,0
08	572,3	592	636,0	607,3	678,5	594	566,6	604,8
09	588,7	545	626,0	615,6	532,7	519	495,7	442,4
10	262,1	147	124,0	189,3	371,0	346	330,0	330,0
11	501,1	470	527,7	607,3	259,7	236	277,0	292,6
12	633,8	574	577,0	548,8	260,2	222	324,2	311,3
13	514,3	480	586,8	590,6	-	-	-	-
14	305,2	256	242,2	281,2	691,8	584	519,4	523,6
15	504,1	465	439,0	465,2	663,1	589	531,2	536,1
16	496,3	428	380,0	415,0	-	-	-	-
17	621,9	554	577,0	565,5	412,4	309	448,4	461,2
18	566,8	516	577,0	515,3	552,7	497	501,6	511,0
19	463,4	424	498,2	481,9	662,5	560	572,6	542,4
20	608,7	549	527,7	490,2	398,9	419	436,6	436,2
21	682,8	636	567,1	548,8	571,0	562	543,0	567,4
22	685,7	623	537,6	532,0	504,5	506	507,6	492,4
23	678,2	591	557,3	548,8	453,0	433	472,0	467,4
24	680,3	597	537,8	532,0	620,2	529	543,0	536,1
25	682,5	580	577,0	582,2	647,5	528	495,7	492,4
26	635,7	568	557,2	532,0	554,0	496	531,2	542,4
27	-	-	-	-	-	-	-	-
28	423,2	459	468,6	431,7	634,3	650	584,4	573,6
29	404,7	297	153,6	206,0	724,0	633	596,2	592,3
30	568,8	462	547,4	498,6	625,0	524	566,6	592,3
31	386,9	304	301,3	331,4	-	-	-	-

continua ...

TABELA 4 - Continuação

Dia	Dezembro				Janeiro			
	Qg F	QgACT	Qg C <sub>1</sub>	Qg C <sub>2</sub>	Qg F	QgACT	Qg C <sub>1</sub>	Qg C <sub>2</sub>
01	715,0	621	619,2	590,0	367,0	386	324,0	322,6
02	678,8	600	627,4	624,6	324,0	323	343,8	342,0
03	642,6	503	545,1	538,0	350,6	329	330,6	335,6
04	617,0	601	430,0	451,5	270,7	236	251,5	264,4
05	659,7	558	668,5	728,4	-	-	-	-
06	391,0	375	364,0	339,0	652,3	586	581,0	568,4
07	-	-	-	-	726,5	606	581,0	581,4
08	270,0	237	224,2	252,5	747,0	627	607,3	626,7
09	-	-	-	-	725,0	578	600,8	594,3
10	540,4	546	619,0	581,3	709,2	615	534,9	542,6
11	636,4	554	627,0	642,0	412,4	401	390,0	593,8
12	599,0	486	570,0	564,0	280,0	283	317,4	309,7
13	674,0	598	602,7	616,0	633,3	554	574,4	562,0
14	435,2	402	405,2	391,0	727,6	633	712,8	717,2
15	494,0	435	528,7	503,4	732,9	600	614,0	607,2
16	521,0	436	355,9	356,4	736,7	578	515,0	523,2
17	638,2	618	660,3	650,5	730,7	632	561,2	568,4
18	505,2	500	570,0	555,4	709,0	595	620,5	594,3
19	654,0	523	553,4	538,0	566,7	548	600,8	510,2
20	723,3	655	652,0	633,2	277,7	228	271,3	296,8
21	-	-	-	-	266,8	133	225,2	238,5
22	617,5	518	397,0	382,3	392,0	442	495,3	510,2
23	644,0	554	413,5	408,0	564,0	496	482,2	490,8
24	692,0	529	611,0	659,0	656,6	546	462,4	465,0
25	585,6	526	364,0	365,0	265,5	379	376,7	393,8
26	-	-	-	-	644,3	555	561,2	568,4
27	-	-	-	-	554,9	493	515,0	510,2
28	-	-	-	-	419,6	332	343,8	348,5
29	351,0	243	200,0	174,7	-	-	-	-
30	505,2	489	405,2	486,0	443,8	514	455,8	452,0
31	707,4	583	676,8	659,0	509,8	500	488,7	497,3

continua ...



TABELA 4 - Continuação

Dia	Fevereiro			
	Qg F	QgACT	Qg C <sub>1</sub>	Qg C <sub>2</sub>
01	581,4	483	495,9	504,8
02	568,8	459	452,8	445,2
03	624,0	545	424,0	437,8
04	673,8	555	567,7	579,4
05	631,7	557	510,2	519,8
06	635,5	526	488,7	512,3
07	669,7	551	603,6	609,2
08	658,3	560	539,0	549,6
09	636,0	493	488,7	497,4
10	393,0	369	352,2	325,9
11	411,8	370	409,7	400,4
12	350,8	343	366,6	355,7
13	269,8	243	151,2	162,0
14	334,0	280	294,8	311,0
15	457,4	448	467,2	437,8
16	525,4	514	495,9	482,5
17	306,3	317	345,1	326,0
18	502,4	461	474,3	460,0
19	619,4	528	445,6	452,7
20	651,0	412	560,5	579,4
21	248,6	546	431,3	445,0
22	320,7	277	280,4	266,0
23	426,3	428	445,6	452,7
24	613,3	491	510,2	519,8
25	635,4	557	517,4	534,7
26	637,5	490	539,0	534,7
27	539,9	441	474,3	460,0
28	585,8	502	546,2	512,3
29	407,8	(*)315	345,0	355,7

(\*) 01/03/79

TABELA 5 - Valores representativos de radiação global estimados pelas fórmulas:  $Q_g = Q_0 (0,26 + 0,51 n/N)$ ;  $Q_g = a + b \Delta Vt$  e medida pelo actinógrafo em  $cal \cdot cm^{-2} \cdot dia^{-1}$ , para médias de cinco leituras.

Período	Qg. F	Actinógrafo	Conjunto 1	Conjunto 2
07/10 - 11/10	508	468	500	524
12/10 - 16/10	491	441	445	460
17/10 - 21/10	589	536	549	520
22/10 - 26/10	672	592	553	545
28/10 - 31/10	446	380	368	366
-----				
01/11 - 06/11	488	433	436	439
07/11 - 11/11	507	457	445	441
12/11 - 18/11	516	440	465	469
19/11 - 23/11	518	496	506	501
24/11 - 30/11	634	560	553	555
-----				
01/12 - 05/12	663	577	578	586
06/12 - 12/12	487	440	481	476
13/12 - 17/12	552	498	510	503
18/12 - 23/12	629	550	517	503
24/12 - 31/12	568	474	451	469
-----				
01/01 - 06/01	393	372	366	367
07/01 - 11/01	664	565	543	548
12/01 - 16/01	622	530	547	544
17/01 - 21/01	510	427	456	442
22/01 - 26/01	504	484	476	486
27/01 - 31/01	482	448	450	452
-----				
01/02 - 05/02	616	520	490	497
06/02 - 10/02	598	500	494	499
11/02 - 15/02	365	337	338	333
16/02 - 20/02	521	446	464	460
21/02 - 25/02	449	460	437	444
26/02 - 01/03	543	437	476	466

5.3 - Relativos a Evapotranspiração Potencial Observada (ETpobs) no Evapotranspirômetro e a Estimada pela Fôrmula de Penman Simplificada (ETpestim)

No decorrer do trabalho efetuou-se uma simplificação na fôrmula original de Penman, utilizando-se das equações de regressão dos radiômetros para estimativa da evapotranspiração potencial conforme demonstrado na metodologia, resultantes nas seguintes expressões:

Conjunto 1:

$$ET_{pestim} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (1,259 + 0,0616 \Delta Vt) + 0,0552 \Delta Vc}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)}$$

Conjunto 2:

$$ET_{pestim} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (1,7382 + 0,0529 \Delta Vt) + 0,0538 \Delta Vc}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)}$$

Para o cálculo do poder evaporante do ar ( $Ea_T$ ) usou-se a equação de acordo com o exposto na metodologia.

Os valores do poder evaporante do ar ( $Ea$ ) determinados pela expressão de PENMAN (1963) e os valores de evaporação da unidade coberta ( $\Delta Vc$ ) do radiômetro evaporimétrico, estão apresentados na Tabela 6 (médias de cinco leituras). Ver valores de  $Ea_T$  no Apêndice 6 (valores diários).

TABELA 6 - Valores do poder evaporante do ar ( $E_a$ ) calculados pela fórmula de Penman e valores da evaporação da unidade coberta ( $\Delta Vc$ ) do radiômetro evaporimétrico. (Valores médios de cinco leituras, no período de 01/11/78 a 19/01/79)

Período	$E_a$	$\Delta Vc_1$	$\Delta Vc_2$
01/11 - 08/11	3,99	82,6	86,6
09/11 - 18/11	3,97	67,4	69,2
19/11 - 23/11	3,90	73,2	75,0
24/11 - 30/11	5,13	90,6	92,4
01/12 - 10/12	6,06	105,8	107,2
11/12 - 18/12	4,30	80,2	79,2
19/12 - 24/12	4,83	96,0	97,8
25/12 - 07/01	5,44	100,6	100,2
08/01 - 13/01	4,48	82,4	81,6
14/01 - 19/01	5,16	92,2	96,0

Analisando-se estatisticamente estes valores, encontrou-se os seguintes resultados:

Período	Equação de Regressão	$r^2$	C.V. (%)		F
			$\Delta V_c$	$E_a$	
<u>Conjunto 1:</u>					
Nov. - Jan.	$0,0552 \Delta V_c$	0,86	13,91	15,27	48,58 **
-----					
<u>Conjunto 2:</u>					
Nov. - Jan.	$0,0538 \Delta V_c$	0,91	13,73	15,27	37,57 **

(\*\*) Significativo ao nível de 1% .

Pelos resultados obtidos verificou-se uma alta correlação entre os valores analisados. Os coeficientes de correlação se equipararam mostrando uma boa similaridade entre os dados. A análise de variância foi significativa ao nível de 1% , sendo portanto válido o uso das equações determinadas.

Os valores de evapotranspiração potencial estimados (ETpestim) pela fórmula de Penman simplificada e os observados (ETpobs.) no conjunto de evapotranspirômetros, estão representados na Tabela 7 (diários) e na Tabela 8 (médias de três (3) leituras).

TABELA 7 - Valores representativos de evapotranspiração potencial estimada pela fórmula de Penman simplificada (ETPestim) e os medidos na bateria de evapotranspiração (ETPobs) em base diária

Dia	ETPobs		ETPestim							
			Conjunto 1			Conjunto 2				
	Nov.	Dez.	Jan.	Nov.	Dez.	Jan.	Nov.	Dez.	Jan.	
01		5,81			5,38			5,39		
02										
03		4,62			4,77			4,80		
04								4,37		
05		5,73			5,39			5,36		
06										
07	5,02			5,12			4,94			
08	4,89			4,89			4,88			
09			5,50			5,25			5,20	
10		4,24			4,75			4,82		
11		5,38			5,18			5,12		
12		4,86			4,52			4,52		
13			5,10			5,04			5,00	
14	4,27		6,70	4,62		5,79	4,56		5,68	
15	4,75		6,30	4,75		5,22	4,69			
16										
17		5,50	5,90		4,76	5,11		4,69	5,06	
18		4,32	5,50		4,16	5,21		4,26	5,27	
19		4,86	5,20		4,27	5,25		4,41	5,34	
20		6,03			5,10			5,05		
21										
22	4,15		4,50	4,22		4,18	4,07		4,27	
23	3,94		4,00	4,15		4,08	4,11			
24	4,95	4,92		4,98	4,91		4,76	4,90		
25	4,50	5,22		4,23	4,34		4,16	4,48		
26	4,85			5,21			5,22			
27										
28										
29	5,04			5,12			4,88			
30	4,73			4,86			4,82			
31		5,10			4,89			4,84		

TABELA 8 - Valores representativo de evapotranspiração potencial estimada pela fórmula de Penman simplificada (ETPestim) e os medidos na bateria de evapotranspirômetros (ETPobs) com base em média de três (3) leituras

Período	ETPobs.	ETPestim	
		Conjunto 1	Conjunto 2
07/11 - 14/11	4,72	4,87	4,79
15/11 - 23/11	4,28	4,37	4,27
24/11 - 26/11	4,76	4,81	4,34
27/11 - 01/12	5,19	5,12	4,97
02/12 - 10/12	4,86	4,97	4,85
11/12 - 17/12	5,24	4,82	5,10
18/12 - 20/12	5,07	4,51	4,49
21/12 - 31/12	5,08	4,71	4,79
01/01 - 14/01	5,76	5,36	4,84
15/01 - 18/01	5,90	5,18	5,25
19/01 - 23/01	4,56	4,50	4,96

O confronto entre os valores estimados e observados forneceu o seguinte resultado de análise:

Período	C.V. (%)			t	
	ETP <sub>obs</sub>	ETP <sub>estim.</sub>		1%	5%
<u>Conjunto 1:</u>					
Média de 3 dias	9,61	6,06	1,16	n.s.	n.s.
-----					
<u>Conjunto 2:</u>					
Média de 3 dias	9,61	6,93	1,45	n.s.	n.s.

Pelos resultados da análise pode-se observar que os valores obtidos pelos dois métodos não diferem entre si ao nível de 1% , sendo portanto perfeitamente válido a utilização da simplificação proposta nas condições observadas.



## 6 - CONCLUSÕES

Em face dos resultados obtidos no presente trabalho e para condições de clima semelhantes, pode-se sugerir que:

- 1 - O fluxo da radiação solar global pode ser estimada através de uma equação de regressão ajustada para condições locais, em função da evaporação diferencial observada no radiômetro evaporimétrico com precisão de medida comparável aquela fornecida pelo Actinógrafo Robitzsch.
- 2 - É possível estimar-se a evapotranspiração potencial através do radiômetro evaporimétrico com precisão de medida comparável aquela obtida diretamente no evapotranspirômetro, desde que se determinem os parâmetros de ajuste para condições locais.
- 3 - O radiômetro evaporimétrico sendo um equipamento de baixo custo e de fácil manuseio, parece que uma vez calibrado para as condições climáticas do local de utilização, poderá substituir o uso de actinógrafo e evapotranspirômetros.

## 7 - SUMMARY

The objective of this work was to study and design an instrument (Evaporative Radiometer) to measure global solar radiation.

Evaporation measurements were made through a block and flat porous surface maintained at zero water potential.

The Evaporative Radiometer consisted of two evaporation units, one covered and other uncovered, being the observed evaporation differences correlated with the global radiation flux measured by Robitzsch Actinograph. A comparative study between the data obtained by means the Evaporative Radiometer and those by the equation proposed by OMETTO (1973) was also made. Furthermore, through Evaporative Radiometer measurements, it was possible to estimate. The potential evapotranspiration by simplifying Penman's original equation. The results so obtained were compared with those observed in

five evapotranspirometers installed at the Meteorological Station of Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

The proposed instrument presents handling simplicity and low cost so that it could be used by farmers.

A series of measurements made in the periodo October/78 - February/79 permitted on estatistical analysis and the following regression equation were obtained:

Set. 1

Oct -	$Qg = 45,2655 + 9,8461 \Delta Vt$	$r^2 = 0,94$
Nov -	$Qg = 200,0572 + 5,9129 \Delta Vt$	$r^2 = 0,98$
Dec -	$Qg = 133,6924 + 8,2286 \Delta Vt$	$r^2 = 0,85$
Jan -	$Qg = 172,4841 + 6,5888 \Delta Vt$	$r^2 = 0,96$
Feb -	$Qg = 136,8330 + 7,1812 \Delta Vt$	$r^2 = 0,92$
Oct/Feb -	$Qg = 148,5737 + 7,2686 \Delta Vt$	$r^2 = 0,89$

Set. 2

Oct -	$Qg = 114,0380 + 8,3601 \Delta Vt$	$r^2 = 0,88$
Nov -	$Qg = 205,1143 + 6,2456 \Delta Vt$	$r^2 = 0,98$
Dec -	$Qg = 122,7724 + 8,6517 \Delta Vt$	$r^2 = 0,84$
Jan -	$Qg = 186,7968 + 6,4688 \Delta Vt$	$r^2 = 0,98$
Feb -	$Qg = 132,0891 + 7,4553 \Delta Vt$	$r^2 = 0,95$
Oct/Feb -	$Qg = 156,5308 + 7,3103 \Delta Vt$	$r^2 = 0,90$

where

$Qg$  = global solar radiation flux, and  
 $\Delta Vt$  = evaporation difference between evaporation units.

The equations obtained in the estimative of potential evapotranspiration (ETp) by using Evaporative Radiometer measurements were:

Set 1.

$$ETp = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (1,259 + 0,0616 \Delta Vt) + 0,0552 \Delta Vc}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)}$$

Set 2.

$$ETp = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (1,7382 + 0,0529 \Delta Vt) + 0,0538 \Delta Vc}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)}$$

where

$\Delta Vc$  = evaporation unit covered, and

$\Delta Vt$  = evaporation difference between evaporation units.

Finally, in comparison with evapotranspirometer, these equations permitted to estimate ETp with good precision.

## 8 - LITERATURA CITADA

- ASSIS, F. N., 1978. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba. ESALQ/USP. 73 p. (Dissertação de Mestrado).
- BELLANI, A., 1820. Descrizione di um nuovo atmometro per service di continuazione e fine alle riflessione critiche in torno all' evaporazione. Giornalle de Fisica e Chimica. Pavia, 3(3): 166-167.
- CARDER, A. C., 1960. Atmometer assemblies, a comparison. Can. J. Pl. Sci., Alberta, 40: 700-706.
- DESJARDINS, R. L. e R. O. HANSEN, 1967. Wind response of black porous disc and Bellani plate atmometer. Can. J. Pl. Sci., Ottawa, 47: 493-498.
- GEDDES, H. B., 1974. A model, for a modified carburundum block atmometer. Can. J. Pl. Sci., 54: 703-711.

- GODOY, R., 1961. Modificação do radiômetro de Gunn Bellani para medidas da radiação solar e da evapotranspiração. Piracicaba. ESALQ/USP, 71 p. (Tese de Doutorado).
- KONDRATIEV, K. Y., 1969. Radiation in the atmosphere. Academic Press. New York. 912 p.
- LINACRE, E. T., 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature alone. Agricultural Meteorology. Amsterdam, 18: 409-424.
- LIVINGSTON ; E. BURTON, 1935. Atmometers of porous porcelain and paper their use in physiological ecology. Ecology, 16 (3):, 438-472.
- OMETTO, J. C., 1973. Etude des relations entre le rayonnement solarie global, le rayonnement net et l'esoleille - ment. Apresentado no Congresso Internacional "Le Soleil au Service de L'Homme". Julho. Paris.
- PELTON, W. L., 1964. Evaporation from atmometers and pans. Can. J. Pl. Sci., Ottawa, 44: 397-404.
- PENMAN, H. L., 1963. Vegetation and Hydrology. Londres. Commonwealth Agricultural Bureaux. 124 p. (Technical Comunication nº 53).
- PEREIRA, H. C., 1959. Pratical field instruments for estimation of radiation and evaporation. Q. J. R. Meteorological Society, 85: 253-261.

- RANZANI, G. ; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP. 85 p.
- REID, W. S. e R. L. DESJARDINS, 1976. A continuous recording black porous disc atmometer - Capacitance Method. J. Agric. Engng. Res., 21: 443-446.
- SMITH, G. W., 1972. Inexpensive instruments for the measurement of solar radiation. Q. J. R. Meteorological Society. Londres, 98: 855-859.
- VEIHMEYER, F. J. e A. H. HENDRICKSON, 1957. Use of black and white atmometers for measuring the use of water by crops, evaporation and solar energy. International Commission an Irrigation and Drainage. Third Congress. San Francisco, 8: 524-541.

9 - APÊNDICE



APENDICE 1 - Valores das leituras do Actinôgrafo Robitzsch e do Piranômetro Eppley para determinação do fator de correção para o actinôgrafo

Hora	Leitura		Fator de correção de actinôgrafo
	Actinôgrafo	Eppley	
09,00	0,550	0,540	0,982
09,30	0,650	0,671	1,032
10,00	0,800	0,814	1,018
10,30	0,900	0,916	1,018
11,00	0,925	0,963	1,041
11,30	0,975	1,005	1,031
12,00	0,998	1,040	1,042

Unidades: Actinôgrafo:  $\text{Cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$

Eppley:  $6,89 \text{ mV} \cdot \text{cal}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$

Dia: 10/08/1978

APENDICE 2 - Valores representativos do fluxo de radiação solar global que atingiram uma área horizontal unitária em um dia, admitindo-se ausência da atmosfera e a constante solar (S) equivalente a  $2,0 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  para latitude  $22^{\circ}42'S$ , no período de 07/10/78 à 01/03/79

Dia	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
01		976	1.031	1.043	1.009
02		978	1.032	1.042	1.005
03		981	1.033	1.042	1.003
04		983	1.034	1.041	1.001
05		-	1.035	-	999
06		988	1.036	1.040	997
07	894	990	-	1.040	995
08	898	993	1.038	1.039	993
09	902	995	-	1.038	990
10	905	997	1.039	1.038	988
11	910	999	1.040	1.037	985
12	914	1.001	1.040	1.036	983
13	917	-	1.041	1.035	980
14	921	1.005	1.041	1.034	978
15	924	1.008	1.042	1.034	975
16	927	-	1.043	1.032	972
17	931	1.011	1.043	1.031	969
18	934	1.013	1.043	1.030	966
19	937	1.015	1.043	1.029	964
20	940	1.016	1.043	1.028	960
21	943	1.018	-	1.026	956
22	947	1.020	1.044	1.025	953
23	950	1.021	1.044	1.024	950
24	953	1.022	1.044	1.022	947
25	956	1.024	1.044	1.021	944
26	959	1.025	-	1.019	940
27	-	-	-	1.017	937
28	965	1.028	-	1.016	934
29	968	1.029	1.043	-	930 (*)
30	970	1.030	1.043	1.012	
31	973	-	1.043	1.010	

(\*) 01/03/79

APÊNDICE 3 - Valores de razão de insolação (n/N) , para região de Piracicaba, latitude 22º42'S , no período de 01/10/78 à 01/03/79.

Dia	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
01	0,77	0,43	0,85	0,18	0,62
02	0,82	0,89	0,78	0,10	0,60
03	0,80	0,33	0,71	0,15	0,71
04	0,82	0,08	0,66	0,00	0,81
05	0,81	0,00	0,74	0,52	0,73
06	0,85	0,60	0,23	0,72	0,74
07	0,84	0,86	0,06	0,86	0,81
08	0,74	0,83	0,00	0,90	0,79
09	0,77	0,54	0,01	0,86	0,75
10	0,06	0,22	0,51	0,83	0,27
11	0,57	0,00	0,69	0,27	0,31
12	0,85	0,00	0,62	0,02	0,19
13	0,59	0,74	0,76	0,69	0,03
14	0,14	0,84	0,31	0,87	0,16
15	0,56	0,78	0,42	0,88	0,41
16	0,54	0,00	0,47	0,89	0,55
17	0,80	0,29	0,69	0,88	0,11
18	0,68	0,56	0,44	0,84	0,51
19	0,46	0,77	0,72	0,57	0,75
20	0,76	0,26	0,85	0,02	0,82
21	0,91	0,59	0,75	0,00	-
22	0,91	0,46	0,65	0,24	0,15
23	0,89	0,36	0,70	0,57	0,37
24	0,89	0,68	0,79	0,75	0,76
25	0,89	0,73	0,59	-	0,81
26	0,79	0,55	0,00	0,73	0,82
27	0,46	0,02	0,01	0,56	0,62
28	0,35	0,70	0,00	0,30	0,72
29	0,31	0,87	0,15	0,00	0,35 (*)
30	0,64	0,68	0,44	0,35	
31	0,27	-	0,82	0,48	

(\*) 01/03/79

APÊNDICE 4 - Valores diárias de evaporação da unidade coberta, ( $\Delta Vc$ ) em  $\text{cm}^3$  (no período de 24 horas) dos conjuntos do radiômetro evaporimétrico

Dia	$\Delta Vc$					
	Novembro		Dezembro		Janeiro	
	Conj. 1	Conj. 2	Conj. 1	Conj. 2	Conj. 1	Conj. 2
01	82	86	120	122		
02	97	107				
03			106	106		
04			116	114		
05			105	107	90	89
06	52	55			96	94
07	100	105			105	107
08	82	80			90	86
09					96	96
10			82	87	87	85
11			104	102		
12	26	30	83	82	46	48
13	74	74	80		93	93
14	86	88			87	89
15	89	92			89	91
16						
17			71	70	103	101
18	62	62	63	68	86	94
19	90	93	74	80	96	105
20	61	61	92	92		
21	70	69			38	40
22	66	70	124	127	73	76
23	79	82	96	96	72	74
24	97	96	94	94		
25	73	76	142	140		
26	120	126				
27						
28						
29	83	84				
30	80	80				
31			70	71		

APÊNDICE 5 - Valores médios diários da temperatura  
do ar em °C

Dia	Novembro	Dezembro	Janeiro
01	23,6	24,1	24,5
02	23,1	24,3	24,3
03	23,3	23,9	23,6
04	23,9	25,2	21,0
05	22,8	25,3	20,2
06	16,1	25,5	20,7
07	20,0	22,3	20,1
08	22,4	22,1	20,3
09	24,2	22,0	19,9
10	21,7	22,2	22,4
11	20,4	21,8	22,9
12	17,7	21,5	21,2
13	20,4	23,5	22,2
14	19,8	23,8	21,2
15	22,6	24,6	21,8
16	16,9	23,4	22,2
17	22,3	21,3	22,8
18	24,2	20,9	22,4
19	25,8	20,2	23,5
20	24,6	22,1	20,7
21	25,4	24,2	19,4
22	25,9	25,3	20,8
23	24,9	24,4	22,6
24	22,3	24,8	24,3
25	23,8	25,2	-
26	26,4	19,3	24,2
27	21,4	19,6	24,6
28	20,9	20,3	24,8
29	22,5	21,8	17,8
30	23,8	23,6	21,4
31	-	25,0	21,8

APENDICE 6 - Valores de  $\Delta/\gamma$ ,  $E_a$ ,  $H$  e  $E_{at}$  em mm, usados para a estimativa da Evapotranspiração potencial, pela fórmula de Penman simplificada (ETPestim), nos dias secos

Dia	Novembro								Dezembro				Janeiro					
	$\frac{\Delta}{\gamma}$	$E_a$	Conj. 1		Conj. 2		$\frac{\Delta}{\gamma}$	$E_a$	Conj. 1		Conj. 2		$\frac{\Delta}{\gamma}$	$E_a$	Conj. 1		Conj. 2	
			H	$E_{at}$	H	$E_{at}$			H	$E_{at}$	H	$E_{at}$			H	$E_{at}$	H	$E_{at}$
01	-	4,68	-	-	-	-	2,37	5,89	4,89	6,54	4,86	6,65	-	-	-	-	-	-
02	-	5,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03	-	-	-	-	-	-	2,35	5,26	4,34	5,78	4,38	5,78	-	-	-	-	-	-
04	-	-	-	-	-	-	2,51	6,78	-	-	3,64	6,21	-	-	-	-	-	-
05	-	-	-	-	-	-	2,53	6,65	5,26	5,72	5,18	5,83	-	-	-	-	-	-
06	-	2,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,50	-	-	-	-
07	1,91	3,96	4,95	5,54	4,54	5,72	-	-	-	-	-	-	-	5,49	-	-	-	-
08	2,16	3,82	5,08	4,47	5,12	4,36	-	-	-	-	-	-	-	4,91	-	-	-	-
09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,89	5,48	5,26	5,23	5,18	5,23
10	-	-	-	-	-	-	2,14	5,71	4,89	4,47	4,86	4,74	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	2,11	6,09	4,95	5,67	4,91	5,56	-	-	-	-	-	-
12	-	1,25	-	-	-	-	2,07	4,20	4,52	4,52	4,54	4,47	-	2,96	-	-	-	-
13	-	3,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,14	5,27	5,02	5,07	4,97	5,07
14	1,88	3,94	4,58	4,69	4,43	4,80	-	-	-	-	-	-	2,04	5,04	6,31	4,74	6,08	4,85
15	2,18	4,62	4,71	4,85	4,54	5,01	-	-	-	-	-	-	2,11	5,29	5,39	4,85	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	2,04	3,77	5,20	3,87	5,12	3,82	2,21	4,89	4,89	5,61	4,86	5,50
18	2,39	6,28	-	-	4,33	3,38	2,00	3,62	4,52	3,43	4,54	3,71	2,16	4,87	5,45	4,69	5,34	5,12
19	-	5,00	-	-	-	-	1,93	3,72	4,40	4,03	4,44	4,36	2,30	5,70	5,26	5,23	5,18	5,72
20	-	3,46	-	-	-	-	2,12	4,25	5,14	5,01	5,07	5,01	-	-	-	-	-	-
21	-	3,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	2,60	3,14	4,46	3,60	4,17	3,82	-	6,88	-	-	-	-	1,98	4,13	4,28	3,98	4,33	4,14
23	2,47	4,32	4,09	4,31	3,96	4,47	-	4,56	-	-	-	-	2,18	3,40	4,15	3,92	-	-
24	2,16	4,22	4,83	5,29	4,54	5,23	2,46	4,76	4,83	5,12	4,81	5,12	-	-	-	-	-	-
25	2,33	3,90	4,34	3,98	4,17	4,14	2,51	8,74	2,98	7,74	3,22	7,63	-	-	-	-	-	-
26	2,67	9,01	4,71	6,54	4,60	6,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	2,18	4,39	5,39	4,52	5,02	4,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2,33	4,13	5,08	4,36	5,02	4,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	2,49	3,51	5,32	3,82	5,23	3,87	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE 7 - Valores representativos da umidade relativa média do dia (U.R.) em % , da velocidade média do vento ( $U_2$ ) em  $\text{Km} \cdot \text{dia}^{-1}$  e do dēfice de saturação ( $e_s - e_a$ ) em mmHg

Dia	Novembro			Dezembro			Janeiro		
	U.R.	$U_2$	$(e_s - e_a)$	U.R.	$U_2$	$(e_s - e_a)$	U.R.	$U_2$	$(e_s - e_a)$
01	74,6	225,4	5,55	60,0	140,1	9,00	83,1	96,9	3,90
02	72,8	271,2	5,77	72,9	129,7	6,18	86,7	51,5	3,03
03	83,0	192,3	3,65	66,4	163,0	7,47	84,4	57,8	3,41
04	88,7	182,7	2,51	66,6	227,0	8,03	79,1	214,8	3,90
05	94,7	114,8	1,10	64,5	195,4	8,58	69,5	225,4	5,41
06	72,7	92,5	3,75	84,7	128,5	3,74	66,1	245,6	6,21
07	67,7	159,8	5,67	91,4	140,8	1,74	64,2	197,2	6,32
08	69,9	125,8	6,12	89,7	61,2	2,05	65,6	172,3	6,14
09	61,6	140,0	8,70	93,1	74,1	1,37	64,2	242,8	6,24
10	90,9	98,2	1,77	71,0	290,0	5,82	66,0	121,8	6,91
11	90,6	163,6	1,69	66,4	264,3	6,58	81,4	107,0	3,89
12	86,4	116,6	2,07	70,5	179,3	5,67	80,5	208,6	3,68
13	69,8	156,5	5,43	69,9	109,7	6,53	69,1	229,9	6,20
14	68,1	166,2	5,53	83,4	97,8	3,67	67,2	213,5	6,19
15	67,7	158,8	6,64	83,8	77,8	3,76	64,2	186,0	7,01
16	95,5	187,6	0,65	84,4	125,9	3,37	70,1	190,2	6,00
17	78,5	182,1	4,34	73,4	181,8	5,05	68,7	184,0	6,52
18	74,0	163,7	5,89	72,4	164,1	5,12	70,3	209,7	6,04
19	72,8	178,3	6,78	69,0	149,8	5,50	72,0	270,0	6,08
20	77,4	143,6	5,22	63,9	110,4	7,20	88,2	174,4	2,16
21	77,1	133,1	5,57	52,4	134,6	10,78	83,1	138,1	2,85
22	78,1	102,0	5,49	65,0	213,2	8,46	73,2	223,8	4,94
23	75,6	183,8	5,76	73,3	181,8	6,12	71,8	108,9	5,80
24	71,5	176,6	5,75	70,3	153,2	6,97	75,2	85,4	5,65
25	71,2	120,9	6,37	57,2	229,4	10,29	83,0	-	-
26	65,5	304,6	8,90	93,8	146,6	1,04	75,6	-	5,53
27	93,0	-	1,34	92,2	52,1	1,33	76,9	143,1	5,36
28	67,1	-	6,10	89,2	40,7	1,93	85,7	128,4	3,36
29	71,5	185,4	5,83	91,1	77,7	1,74	90,3	-	-
30	73,0	157,2	5,97	81,2	74,7	4,11	69,2	-	5,89
31	-	-	-	73,2	92,3	6,37	74,0	237,4	5,09