

JOSÉ EDUARDO PRATES

DETERMINAÇÃO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO ARROZ  
(Oryza sativa L.) DE SEQUEIRO, EM GOIÂNIA-GO

Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Meteorolo  
gia Agrícola, para Obtenção do Tí  
tulo de "Magister Scientiae".

551.573  
P 0120  
1988  
ex. 001

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
JULHO - 1988

BIBLIOTECA  
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Ficha catalográfica preparada pela Área de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

P912d  
1988 Prates, José Eduardo.  
Determinação da evapotranspiração do arroz  
(Oryza sativa L.) de sequeiro, em Goiânia-GO.  
Viçosa, UFV, 1988.  
67p.

Tese (M.S.) - UFV

1. Evapotranspiração. 2. Arroz de sequeiro -  
Evapotranspiração. 3. Evapotranspiração poten-  
cial. 4. Evapotranspiração máxima. 5. Evapotrans-  
piração real. 6. Meteorologia agrícola. I. Uni-  
versidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD - 18.ed. : 630.251572

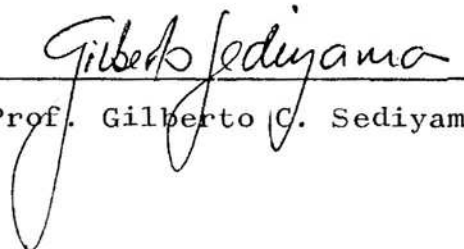
CDD - 19.ed. : 630.251572

JOSÉ EDUARDO PRATES

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO ARROZ (ORYZA SATIVA  
L.) DE SEQUEIRO EM GOIÂNIA - GO

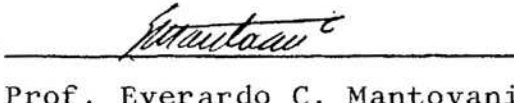
Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Meteorologia  
Agrícola, para Obtenção do Título  
de "Magister Scientiae".


APROVADA: 16 de novembro de 1987

  
Prof. Gilberto C. Sedyama

  
Prof. Adil Rainier Alves

  
Prof. José Maria N. da Costa

  
Prof. Everardo C. Mantovani

  
Prof. Dirceu Teixeira Coelho  
(Orientador)

A Joaquina, minha esposa,  
que me ajudou a superar os  
momentos difíceis, vividos  
durante a elaboração deste  
trabalho.

A Beta e Jonas, meus filhos,  
e aos meus pais, Maria Clara  
e Oswaldo.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida de realizar este curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, por intermédio do Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão - CNPAF, pela oportunidade e pelo total apoio, material e financeiro, prestado durante a condução do experimento.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela contribuição financeira.

Ao Professor Dirceu Teixeira Coelho, pela orientação e amizade.

Ao Professor Gilberto C. Sedyama, um agradecimento especial pelo estímulo, amizade e sugestões apresentadas.

Ao Pesquisador Sílvio Steinmetz, pelo apoio, sugestões e amizade durante a condução do experimento no CNPAF, e ao Professor Rubens Leite Vianello, pelas valiosas sugestões apresentadas.

Aos funcionários do Laboratório de Agrometeorologia do CNPAF, em especial, Zezão, Getúlio F. Brunes e ao estagiário Antonio Carlos J. do Val Filho, pela convivência e colaboração.

Aos colegas, Professores José Maria N. da Costa, Hélio Alves Vieira, Adil Rainier Alves e Luís Cláudio Costa, pelas sugestões, estímulo, amizade e interesse.

Aos colegas de curso, pelo convívio.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, tenham contribuído para a execução deste trabalho.

## BIOGRAFIA

JOSÉ EDUARDO PRATES, filho de Oswaldo Prates e Maria Clara da Costa Pereira Prates, nasceu em Teófilo Otoni, Estado de Minas Gerais, no dia 3 de abril de 1951.

Em 1977, iniciou o curso de Física na Universidade Federal de Minas Gerais, tendo-se graduado em julho de 1981.

Ingressou no Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, a nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, em agosto de 1983.

Em fevereiro de 1985, foi contratado pela Universidade Federal de Viçosa para exercer a função de Auxiliar de Ensino junto ao Departamento de Engenharia Agrícola.

## CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	x
EXTRATO .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Determinação da Evapotranspiração .....	11
2.1.1. Métodos Racionais .....	12
2.1.2. Métodos Empíricos .....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
5. RESUMO E CONCLUSÃO .....	47
BIBLIOGRAFIA .....	50
APÊNDICE .....	55

## LISTA DE QUADROS

	Página
1	Valores Percentuais Médios Horários e Diários dos Componentes do Balanço de Energia Relativos ao Saldo de Radiação, para um Dia de Observação em Cada Etapa ..... 38
2	Valores Médios Horários de $ET_m$ , $ET_r$ e $ET_p$ para os Dias Referentes à Primeira Etapa (Pré-Floração) ..... 40
3	Valores Médios Horários de $ET_m$ , $ET_r$ e $ET_p$ para os Dias Referentes à Segunda Etapa (Floração) ..... 41
4	Valores Médios Horários de $ET_m$ , $ET_r$ e $ET_p$ para os Dias Referentes à Segunda Etapa (Floração) ..... 42

5	Valores Médios Horários de ET <sub>m</sub> , ET <sub>r</sub> e ET <sub>p</sub> para os Dias Referentes à Terceira Etapa (Maturação).....	43
6	Valores Médios Horários, Totalizados, de ET <sub>m</sub> , ET <sub>r</sub> e ET <sub>p</sub> , nos Diferentes Estádios Fenológicos do Arroz ( <u>Oryza sativa</u> L.) de Sequeiro ..	45
1A	Valores da Tangente à Curva de Pressão de Saturação de Vapor para Temperaturas de 5 a 45°C	56
2A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 15/01 - 45 Dias após o Plantio	57
3A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 16/01 - 47 Dias após o Plantio	58
4A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 24/01 - 55 Dias após o Plantio	59
5A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 12/02 - 91 Dias após o Plantio	60
6A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 13/03 - 92 Dias após o Plantio	61
7A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente aos Dias 14 e 15/02 - 93 Dias após o Plantio .....	62

8A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 08/02 - 101 Dias após o Plantio	64
9A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 09/03 - 102 Dias após o Plantio	65
10A	Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 10/03 - 103 Dias após o Plantio	66
11A	Dados Obtidos na Estação Agrometeorológica do CNPAF Instalada Próxima à Área de Plantio ...	67
12A	Condições Meteorológicas Predominantes nos Dias de Observação .....	67

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1	Relações Entre a Evapotranspiração e a Disponibilidade Hídrica Proposta por: A - Tanner , B - Thornthwaite e Mather; C - Havens, D - Pierce. CC - Capacidade de Campo, PM - Ponto de Murcha, SE - Seco em Estudo. Segundo TANNER (35) ..... 9
2	Representação Esquemática do Balanço de Energia Completo, numa Superfície Vegetada, Segundo TANNER (34) ..... 18
3	Representação da Área de Instalação do Experimento (1 - Laboratório com equipamento de registro dos dados. 2 - Estação meteorológica. 3 - Conjunto evapotranspirômetro de nível constante com cobertura móvel. 4 - Mastro amostrador, onde estão instalados os sensores. 5 - Conjunto do evapotranspirômetro de percolação) 26

4	Evapotranspirômetro Tipo Thornthwaite com Nível de Lençol Freático Constante e Cobertura Móvel, Segundo ASSIS (2), Modificado. (A-Válvula da bóia. B - Nível da água. C - Tanque de ferro galvanizado. D - Reservatório de água. E - Cobertura móvel) .....	29
5	Mastro Amostrador com Sensores (1 - Psicrômetros. 2 - Saldo Radiômetro) .....	31
6	Representação Gráfica dos Componentes do Balanço de Energia em Cultura de Arroz ( <u>Oryza sativa</u> L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO. (a - 15/01, b - 16/01, c - 24/01) .....	33
7	Representação Gráfica dos Componentes do Balanço de Energia em Cultura de Arroz ( <u>Oryza sativa</u> L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO. (a - 12/02, b - 13/02) .....	34
8	Representação Gráfica dos Componentes do Balanço de Energia em Cultura de Arroz ( <u>Oryza sativa</u> L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO, para Os Dias 14 e 15/02 .....	35
9	Representação Gráfica dos Componentes do Balanço de Energia em Cultura de Arroz ( <u>Oryza sativa</u> L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO. (a - 08/02, b - 09/03, c - 10/02) .....	36

## EXTRATO

PRATES, José Eduardo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 1988. Determinação da Evapotranspiração do Arroz (*Oryza sativa* L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO. Professor Orientador: Dirceu Teixeira Coelho. Professores Conselheiros: Gilberto Chohaku Sedyama, Rubens Leite Vianello, Sílvio Steinmetz.

Este trabalho teve como objetivo principal determinar o consumo de água em três diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do arroz de sequeiro, utilizando-se três diferentes métodos, com vistas a efetuar uma análise comparativa dos resultados.

O experimento foi conduzido na Fazenda Capivara, sede do Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão (CNPAP), da EMBRAPA, próxima à cidade de Goiânia (latitude  $16^{\circ} 41' S$ , longitude  $49^{\circ} 17' W$ , altitude 730 metros), sendo o clima, segundo classificação de Köppen, megatérmico, tropical chuvoso.

As observações foram conduzidas nos estádios vegetativo, de floração plena e de maturação. Utilizou-se um

evapotranspirômetro tipo Thornthwaite com cobertura móvel; um mastro amostrador fixo, no qual foram instalados os equipamentos necessários à realização do balanço de energia e um tanque classe A, instalado na estação agrometeorológica.

Em relação à distribuição do saldo de radiação entre os diferentes componentes do balanço de energia, observou-se uma predominância, ao longo de todo o ciclo da cultura, do termo referente ao calor latente. Tal predominância acentuou-se durante o estágio de floração, quando o fluxo médio nos diferentes estádios atingiu 72,8% de  $R_n$  contra 52,5% e 57,9% nos estádios vegetativo e de maturação, respectivamente. Os valores médios do fluxo de calor no solo, nos diferentes estádios, foi de 16,7%; 20,0% e 9,3% durante a fase vegetativa, de floração plena e de maturação, respectivamente. Quanto ao fluxo de calor sensível, observou-se uma tendência a atingir maiores proporções nos primeiros horários da manhã e no final da tarde, indicando que o saldo de energia é consumido principalmente no aquecimento do ar nos referidos horários. Em várias ocasiões, observou-se o efeito da advecção de energia, tendo o valor de  $LE$  superado o de  $R_n$  em até 33% aproximadamente.

Os valores da evapotranspiração real foram, em média, superiores aos da evapotranspiração máxima, medida no evapotranspirômetro, em até 29%, observada durante a terceira etapa, indicando que o método do balanço de energia, utilizado na estimativa da  $ET_r$ , tende a superestimar o valor da evapotranspiração real de uma cultura.

Com relação à evapotranspiração potencial, estimada por meio do tanque Classe A, verificou-se boa concordância com os valores da evapotranspiração máxima. A  $ET_p$ , como esperado, superou em média a  $ET_m$ , tendo a diferença máxima atingido 5,5% durante a terceira etapa, que correspondeu ao estágio de maturação.

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz é um dos principais componentes da dieta da população mundial. Juntamente com o trigo, ocupa posição de destaque, em escala universal, tanto em consumo quanto em área ocupada, atingindo 130 milhões de hectares, o que representa cerca de 9% da área cultivada em todo o mundo (5). No Brasil, o arroz constitui alimento de primeira necessidade, podendo ser considerado como uma das principais culturas anuais, sendo explorado em praticamente todas as unidades da federação e sob diferentes sistemas de cultivo. O sistema de sequeiro, em particular, contribui com aproximadamente 60% da produção total do País (31). Esta predominância, entretanto, deve-se essencialmente à maior área cultivada e não à produtividade, que se encontra em torno de 1,2 toneladas por hectare, contra quatro toneladas por hectare quando irrigado (5). Sua produção encontra-se nos Estados do Maranhão, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e na Região Centro-Oeste. Na maioria desses estados, o cultivo é feito em áreas de cerrado e, em grande parte, na abertura de novas áreas de cultivo (32).

Associada à baixa produtividade, observa-se enorme flutuação na produção de um ano para outro. Isto pode ser atribuído, em grande parte, aos períodos de déficit hídrico, resultantes da ocorrência de estiagens com duração de 10 a 20 dias em média (veranico), cujo efeito é agravado por outros fatores, como: alta demanda evapotranspirativa, baixa capacidade de retenção de água do solo e desenvolvimento radicular superficial (31). Estes períodos são particularmente danosos em termos de produção, principalmente quando coincidem com os estádios de pré-floração e floração plena.

Concomitante ao risco climático, representado pelo fenômeno mencionado, outro fator desestimulante de maiores investimentos por parte do produtor, na cultura do arroz de sequeiro, é a falta de uma política de preços estável, que o favoreça no sentido de gerar um poder de troca do produto compatível com o custo dos investimentos. Têm-se, então, como principal consequência, os mais baixos índices de produtividade do planeta, superiores apenas àqueles obtidos no Oeste da África e de alguns países asiáticos, como o Laos e Kumpuchea (6).

Com o objetivo de reverter este quadro, vários estudos têm sido realizados, visando fornecer ao produtor subsídios necessários à minimização dos riscos de produção, representados basicamente pelos fatores climáticos. Neste aspecto, tais estudos referem-se principalmente à relação entre a demanda e a disponibilidade de água durante o ciclo do arroz.

A quantificação dessa relação é de grande interesse, uma vez que a taxa de crescimento e a produtividade de uma cultura são diretamente influenciadas pela disponibilidade de água no solo. À medida que a planta tiver plenamente

satisfeita a sua necessidade de água, isto é, não for submetida ao estresse hídrico, tenderá (desde que não haja outro fator limitante) a atingir seu desenvolvimento e produtividade máximos. Esta condição pode ser expressa, quantitativamente, por meio da comparação entre a perda de água para a atmosfera, por evapotranspiração, nas reais condições de tempo, de umidade do solo e estágio fenológico da planta, conhecida como evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>), e a quantidade máxima de água possível de ser perdida por uma cultura sadia, cultivada em grandes áreas, sob ótimas condições de suprimento de água e de manejo agrônômico, conhecido como evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) (30). Caso sejam iguais (ET<sub>r</sub> = ET<sub>m</sub>), a disponibilidade de água é adequada à necessidade da cultura (10). Com base em tais estudos, juntamente com a estatística de precipitação, pode-se recomendar, com maior segurança, as melhores épocas de plantio.

A transferência de água, na forma de vapor, do solo para a atmosfera constitui, então, um fenômeno de grande relevância teórico-prática em vários campos da atividade humana e, em particular, na meteorologia. Dada a importância do fenômeno, encontra-se disponível, atualmente, um grande volume de trabalhos que abordam diversos aspectos do problema. Vários métodos de medida e modelos para estimativa foram propostos nas últimas décadas, assim como estudos comparativos em diferentes condições (27). Atualmente, a aplicabilidade e as limitações destes modelos são bem conhecidas. Embora exista consenso em torno da opinião de que o lisímetro de balança e o método de Penman são os que fornecem, em geral, os melhores resultados na determinação da taxa evapotranspirativa, as opiniões convergem também em torno da idéia de que a escolha de um determinado método deve ser precedida por uma análise das condições locais, em termos meteorológicos, topográficos,

da disponibilidade de dados e de equipamentos.

Tendo em vista a necessidade de estudos desta natureza na região de Goiânia (GO), este trabalho teve como objetivos:

- a) determinar a evapotranspiração do arroz de sequeiro nos estádios fenológicos de pré-floração, floração plena e maturação, por medição direta, utilizando-se um evapotranspirômetro de lençol freático constante, e pela estimativa, por meio do método do balanço de energia e do tanque Classe A;
- b) estudar a relação entre os fluxos de massa e de energia através do sistema solo-planta-atmosfera em cultura de arroz de sequeiro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Vários autores (7, 26) consideram o artigo publicado por Dalton em 1782 como sendo um marco histórico no desenvolvimento do estudo da teoria da evaporação. ROSENBERG et alii (25) admitem como sendo esta a data que marca o início da fase moderna e científica do estudo desse fenômeno. No trabalho publicado por Dalton aparece, pela primeira vez, uma síntese dos resultados acumulados durante séculos, relativos ao fenômeno da evaporação, expressa por meio de uma função matemática, na qual estão relacionados os dois principais componentes responsáveis pela taxa de evaporação: o componente aerodinâmico e o componente relativo à energia disponível na superfície evaporante. A equação de Dalton pode ser escrita como segue:

$$E = f(u) (e_s - e) \quad \text{eq. 1}$$

em que:

$E$  = taxa de evaporação expressa em lâmina de água por unidade de tempo;

$f(u)$  = função do componente horizontal da velocidade de média do vento;

$e_s$  = pressão de saturação do vapor à temperatura da superfície da água;

$e$  = pressão atual de vapor no ar à superfície evaporante.

Tal equação deve ser vista, entretanto, como um primeiro passo no sentido de quantificar a taxa de evaporação analiticamente. Nessa expressão, além de outras limitações de natureza prática, não estão relacionados todos os fatores que afetam diretamente a taxa de evaporação. O termo que representa a função do vento somente foi explicitado mais tarde, após vários anos de pesquisa e experimentação.

Segundo CHANG (9), a evapotranspiração é a combinação da evaporação da água de uma superfície qualquer com a transpiração pelas plantas. Em uma área cultivada torna-se praticamente impossível separar os dois fenômenos. Com exceção de uma desprezível quantidade de água, utilizada pelas plantas nos processos metabólicos, a evapotranspiração e o uso consuntivo podem ser considerados sinônimos.

A seguir são apresentados os principais termos e os respectivos conceitos que serão adotados neste trabalho.

De acordo com PENMAN (21), o total de água transferido para a atmosfera por evaporação e transpiração, por unidade de tempo, por uma superfície extensa, completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água é conhecido como evapotranspiração potencial (ETp). Embora nessa definição não sejam especificados a cultura de baixo porte, o critério de cobertura do solo e a extensão da superfície, vários trabalhos demonstram que a ETp não é

afetada pela espécie de planta, sendo função quase exclusiva das condições meteorológicas, isto é, temperatura, vento, umidade e radiação solar (4). De acordo com Mukammal e Bruce, citados por CHANG (9), a importância relativa da radiação solar, umidade do ar e vento na determinação da evaporação, em tanques, está na proporção de 80:6:14, respectivamente.

Entretanto, deve-se salientar que os valores da ETp podem diferir para diferentes cultivos, mesmo que as condições previstas na conceituação de Penman sejam satisfeitas. De acordo com SEDIYAMA (28), tais diferenças podem ser atribuídas a várias razões, dentre as quais deve-se ressaltar: a) diferentes coeficientes de reflexão; b) diferentes propriedades de transferência de energia no dossel da cultura; c) diferenças nas propriedades aerodinâmicas e, conseqüentemente, nos parâmetros de rugosidade; d) diferenças em termos de mecanismos de abertura e fechamento de estômatos; e) diferenças no sistema radicular.

Quando se considera a evapotranspiração de uma extensa área, cultivada com uma cultura específica (grama por exemplo) de 8 a 15 cm de altura, uniforme, em pleno crescimento, cobrindo completamente o solo e sem limitação de água, a evapotranspiração potencial é conhecida como evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Por outro lado, a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração nas reais condições de tempo, de umidade do solo e estágio fenológico da planta, pode ser definida como evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>). Segundo Eagleman e Decker, citados por ROSENBERG *et alli* (26), a razão ET<sub>r</sub>/ET<sub>p</sub> pode ser expressa como função do potencial de água no solo e tem sido usada como índice de disponibilidade de água no solo.

Quando a superfície está coberta com vegetação em crescimento pleno e o teor de umidade do solo é suficiente para satisfazer totalmente a demanda evapotranspirativa,  $E_{Tr}$  será igual a  $E_{Tp}$ . No momento em que a capacidade do solo de conduzir a água até a superfície tornar-se menor do que a demanda atmosférica, como resultado da queda no teor de umidade, a  $E_{Tr}$  passará a ser menor do que a  $E_{Tp}$  (22).

Diversos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de identificar o decréscimo na taxa de  $E_{Tr}$  em função do teor de umidade do solo. A Figura 1 ilustra as principais conclusões. Nessa Figura, proposta por TANNER (35), a curva A representa a teoria de Veihmeyer e Hendrickson, segundo a qual a  $E_{Tr}$  mantém-se a nível de  $E_{Tp}$  desde a capacidade de campo (CC) (0,3 bar) até o ponto de murcha permanente (PM) (15 bar). Thornthwaite e Mather afirmam (35), conforme a curva B, que a razão  $E_{Tr}/E_{Tp}$  decresce linearmente da CC até a PM. Havens adota a relação linear mencionada acima, curva C, considerando, entretanto, que  $E_{Tr}$  somente cai a zero com potencial hídrico acima do PM. De acordo com Pierce,  $E_{Tr}$  mantém-se a nível de  $E_{Tp}$  apenas para valores de potencial hídrico próximo à CC, para, logo em seguida, decrescer rapidamente, conforme a curva D. Segundo EAGLEMAN e DECKER (12),  $E_{Tr}$  torna-se menor do que  $E_{Tp}$  imediatamente após o teor de umidade do solo cair abaixo da CC, e o decréscimo da razão  $E_{Tr}/E_{Tp}$  não é linear, mas semelhante à curva D proposta por Pierce. Finalmente, Penman, Marlatt et alii e Holmes e Robertson afirmam (35) que as curvas do tipo E seriam a melhor aproximação do comportamento real da razão entre  $E_{Tr}$  e  $E_{Tp}$ .

A evapotranspiração máxima ( $E_{Tm}$ ) refere-se à quantidade máxima de água possível de ser perdida por uma cultura sadia, sob ótimas condições de suprimento de água e

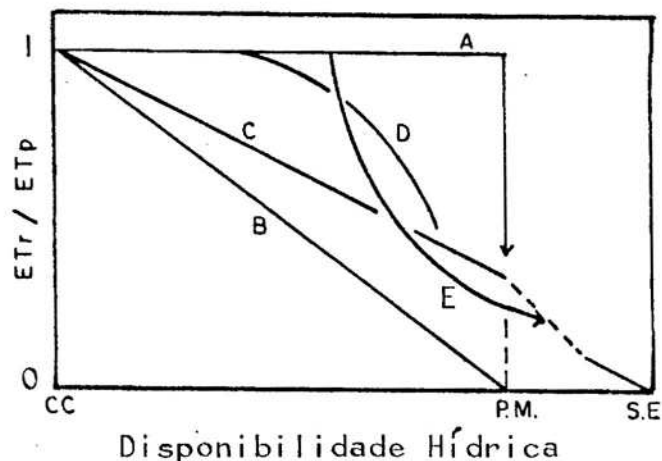


FIGURA 1. Relações Entre a Evapotranspiração e a Disponibilidade Hídrica Proposta por: A - Tanner, B - Thornthwaite e Mather, C - Havens, D - Pierce. CC - Capacidade Campo, PM - Ponto de Murcha, SE - Seco em Estufa. Segundo TANNER (35).

manejo agrônômico, em qualquer estágio de desenvolvimento, cultivada em uma área com dimensões suficientes para eliminar efeitos associados à advecção de energia (10). Portanto,  $ET_m$  é determinada exclusivamente por dois fatores: demanda evaporativa do ar e características fisiológicas da cultura.

A relação entre  $ET_m$  e  $ETr$  é de grande interesse prático, à medida que é utilizada para avaliar a condição de disponibilidade de água no solo para as plantas. Para tanto, considera-se que  $ETr$  é igual a  $ET_m$  quando o teor de água disponível no solo é adequado. Caso contrário, se  $ETr$  é menor do que  $ET_m$ , a água disponível não estará em nível adequado. Segundo DOORENBOS e KASSAN (10), existe uma fração ( $F$ ) da capacidade de água disponível no solo que pode ser consumida sem que  $ETr$  se torne menor do que  $ET_m$ . O valor de  $ETr$  pode ser quantificado por períodos entre irrigações, ou chuva, e para períodos mensais.

Segundo VILLA NOVA (39), uma cultura qualquer deve derá ser irrigada quando se esgotar a fração (F) da CAD, necessária para que se mantenha  $E_{Tr} = E_{Tm}$ , ou seja, quando o total de água evapotranspirada (h) atingir o valor:

$$h = F \times CAD. \quad \text{eq. 2}$$

Os valores de F são tabelados de acordo com grupos de cultura e  $E_{Tm}$  (10).

Outra relação importante que envolve  $E_{Tm}$  é a razão  $E_{Tm}/E_{To}$ , utilizada para definir o coeficiente de cultura ( $K_c$ ), proposto por Van Wijk e de Vries. Esse parâmetro é de importância fundamental para fins de manejo da irrigação. Do ponto de vista do balanço de energia,  $K_c$  representa a fração de energia calorífica convertida em calor latente. Tendo em vista apenas os maiores termos energéticos do sistema solo-planta-atmosfera, pode-se expressá-lo pela equação seguinte (18):

$$K_c = \frac{R_n - G - H}{R_{no} - G_o - H_o} \quad \text{eq. 3}$$

em que:

$K_c$  = coeficiente de cultura adimensional;

$R_n$  = saldo de radiação ( $W \cdot m^{-2}$ );

$G$  = densidade de fluxo de calor sensível no solo ( $W \cdot m^{-2}$ );

$H$  = densidade de fluxo de calor sensível no ar ( $W \cdot m^{-2}$ ).

O índice zero significa valores relativos à cultura de referência.

Segundo GRASSI (16), os fatores que afetam o coeficiente de cultura podem ser agrupados em três categorias:

- a) relacionados com a cultura: capacidade de extrair água do solo e área foliar;
- b) relacionados com o solo: profundidade do solo, do lençol freático, das camadas adensadas, da textura, da estrutura e da fertilidade do solo;
- c) relacionados com o teor de umidade do solo.

## 2.1. Determinação da Evapotranspiração

Segundo PENMAN (21), pelo menos duas condições são necessárias para que ocorra, de forma contínua, o processo de evaporação: a) uma fonte de energia para o calor latente de evaporação e b) algum mecanismo de remoção do vapor da superfície evaporante. Com base nestas duas condições, foram desenvolvidos métodos analíticos para a determinação da evapotranspiração, fundamentados nos processos físicos de transferência de vapor, classificados por TANNER (35) como racionais. Esses métodos podem ser agrupados, de acordo com os princípios utilizados, em duas grandes categorias: a) os que se utilizam do princípio da conservação da energia e b) aqueles que se utilizam dos princípios que governam o transporte de massa na camada-limite planetária e características aerodinâmicas da superfície. São, ainda, classificados como racionais os métodos baseados no balanço de água em um volume de controle.

Em outra categoria, a dos métodos empíricos, incluem-se as fórmulas obtidas relacionando-se elementos climáticos com a evapotranspiração.

### 2.1.1. Métodos Racionais

Os métodos racionais são derivados de leis e considerações sobre os processos físicos envolvidos no fenômeno. As constantes são, em geral, obtidas pela técnica de regressão.

O método do balanço hídrico, apesar de ter sido desenvolvido inicialmente para fins hidrológicos, com o objetivo de determinar a perda de água para a atmosfera em grandes áreas, tem sido amplamente utilizado em qualquer escala: áreas continentais, bacias hidrográficas, pequenas áreas e mesmo para plantas individuais (25). O modelo hidrológico para o balanço hídrico é expresso pela equação:

$$C + I + A \pm R - D - ET = 0 \quad \text{eq. 4}$$

em que:

C = precipitação ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

I = irrigação ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

A = armazenamento de água no solo ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

R = escoamento superficial ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

D = percolação profunda ou água drenada ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

ET = evapotranspiração ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ ).

Vários autores (2, 25, 25, 35, 36) concordam em que a dificuldade desse método encontra-se na determinação da variação do armazenamento de água no solo entre os intervalos de observações. Existem atualmente várias técnicas disponíveis para se determinar os termos relacionados com a água no solo: sonda de nêutrons, gravimetria, tensiometria e outros. As medidas de precipitação e irrigação são obtidas facilmente pelos métodos convencionais. Desta forma, a equação pode ser resolvida, determinando-se a evapotranspiração em um dado período.

Em geral, para fins agrícolas, o balanço hídrico é realizado em lisímetros, pelos quais, segundo TANNER (35), pode-se ter pleno conhecimento e controle dos termos da equação 4. Os lisímetros são equipamentos constituídos por um recipiente que elimina os componentes horizontais de fluxo. As características e propriedades desse recipiente dependem do tipo de lisímetro. Uma descrição detalhada dos vários tipos pode ser encontrada na literatura (1, 2, 15). Entretanto, deve-se ressaltar que, segundo VAN BAVEL (38), a instalação de um lisímetro deve ser cuidadosa e, para que os dados obtidos sejam representativos das condições da área, deve-se tomar algumas precauções, dentre as quais se destacam: a) o local de instalação deve ser representativo da área, b) o solo utilizado no enchimento do tanque tem de obedecer ao perfil natural, devendo prevalecer condições de homogeneidade em termos de potencial hídrico, temperatura e distribuição de raízes e c) a umidade armazenada no interior do lisímetro deve ser controlada por meio de estimativa ou medida direta, permanentemente.

Os métodos aerodinâmicos são conhecidos também como métodos de perfil e utilizam um conjunto de princípios e equações básicas que governam os processos de transferência de massa e calor da superfície para a atmosfera, no interior da camada-limite superficial (CLS), resultante das variações verticais da velocidade do vento, temperatura do ar e umidade específica.

As equações são derivadas quando se admite a condição de estabilidade atmosférica neutra. Embora se tenham evidências experimentais de que, mesmo satisfeita esta condição, os fluxos determinados mediante as fórmulas de perfil não correspondem exatamente aos valores medidos diretamente, essas equações são amplamente aceitas em estudos de

evaporação, desde que sejam introduzidas correções devidas a efeitos associados à instabilidade (3, 8, 9, 35).

Segundo PRUITT et alii (23), a mais antiga equação aerodinâmica é a de Dalton, embora a função do vento  $f(u)$  seja, em geral, determinada empiricamente.

Mais elaborada, Pasquill (1950), citado por CHANG (9), propôs a equação aceita como representativa do método aerodinâmico:

$$E = \frac{\rho k^2 (q_1 - q_2) (u_2 - u_1)}{\left(\ln \frac{z_2 - d}{z_1}\right)^2} \quad \text{eq. 5}$$

em que:

- $E$  = evaporação ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );
- $\rho$  = massa específica do ar seco ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ );
- $k$  = constante de von Kármán (0,41);
- $q$  = umidade específica ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ );
- $u$  = velocidade do vento ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );
- $z$  = altura acima da superfície (m);
- $d$  = deslocamento do plano zero (m).

A equação 5 é uma expansão da expressão proposta por Thornthwaite e Holzman em 1939, e admite como válidos: a) o princípio da similaridade, segundo o qual os coeficientes de transporte de momentum, calores sensível e latente, são iguais ( $K_m = K_h = K_w$ ) e b) o perfil vertical da velocidade do vento pode ser descrito pela equação:

$$u = \frac{u_*}{K} \ln \frac{z - d}{z_0} \quad \text{eq. 6}$$

sendo  $u_*$  a velocidade de fricção e  $z_0$  o parâmetro de rugosidade, empregado para expressar a rugosidade aerodinâmica superficial.

De acordo com CHANG (9), o método das flutuações turbulentas baseia-se na premissa de que o fluxo vertical turbulento de vapor de água pode ser determinado por meio da medida simultânea dos desvios instantâneos, com relação à média, do componente vertical da velocidade do vento ( $w'$ ) e da pressão de vapor ( $e'$ ). Segundo ROSENBERG et alii (26), a técnica da flutuação turbulenta foi proposta pela primeira vez por Swinbank em 1951.

Num escoamento turbulento, o fluxo vertical médio ( $Q$ ) de uma propriedade ( $s$ ) por unidade de massa do fluido é dado por:

$$Q = \overline{\rho w s} \quad \text{eq. 7}$$

sendo:

$w$  = componente vertical da velocidade ( $m \cdot s^{-1}$ );  
 $s$  = propriedade qualquer.

A barra indica valor médio em um certo período de tempo adequado à frequência das flutuações, a qual é diretamente proporcional à velocidade do vento e inversamente proporcional à altura. Portanto, a velocidade de resposta dos sensores deve ser compatível com a frequência da flutuação.

Os termos da direita da equação 7 podem ser expressos, empregando-se a notação de Reynolds, como:

$$\rho = \bar{\rho} + \rho'; \quad w = \bar{w} + w'; \quad s = \bar{s} + s', \quad \text{eq. 8}$$

em que o primo representa os desvios instantâneos com relação à média. Uma descrição pormenorizada da teoria das flutuações pode ser encontrada em vários textos (17, 29, 33).

Substituindo a equação 8 por 7 e considerando a propriedade(s) como sendo vapor de água, tem-se:

$$E = \frac{\epsilon}{P} \rho_a \overline{w'e'_a} \quad \text{eq. 9}$$

em que:

$E$  = fluxo turbulento de vapor de água ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );

$\epsilon$  = razão entre o peso molecular do vapor de água e do ar seco (0,622);

$P$  = pressão atmosférica (Pa);

$\rho_a$  = massa específica do ar ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

Teoricamente, este método é considerado dos mais precisos na determinação do fluxo de vapor de água. Embora seja considerado de uso limitado, em razão das características do equipamento exigido e de uma extensa área de bordadura, apresenta a vantagem quanto à precisão, já mencionada, e quanto ao fato de que independe da natureza da superfície, o que elimina a necessidade da determinação dos parâmetros necessários aos métodos de perfil.

O método de balanço de energia baseia-se no princípio físico universal da conservação da energia, aplicado neste caso, à descrição das trocas energéticas observadas entre a superfície do solo e a atmosfera.

Segundo BRUTSAERT (7), a utilização do balanço energético no cálculo da evaporação foi primeiramente proposto por Homen, em 1897. Em 1926, Bowen sugeriu o método hoje conhecido como o método do balanço de energia.

Considerando apenas o balanço vertical de energia (34), isto é, desprezados os componentes laterais como advecção, fluxos laterais de calor no solo, a energia consumida nos processos biológicos (fotossíntese, respiração

etc.) e armazenada no dossel, a expressão do balanço vertical de energia, em um volume de controle, representado esquematicamente na Figura 2, pode ser escrita como:

$$R_n - LE - H - G = 0, \quad \text{eq. 10}$$

em que:

$R_n$  = saldo de radiação ( $\text{W.m}^{-2}$ );

$LE$  = densidade de fluxo de calor latente ( $\text{W.m}^{-2}$ );

$H$  = densidade de fluxo de calor sensível no ar  
( $\text{W.m}^{-2}$ );

$G$  = densidade de fluxo de calor sensível no solo  
( $\text{W.m}^{-2}$ ).

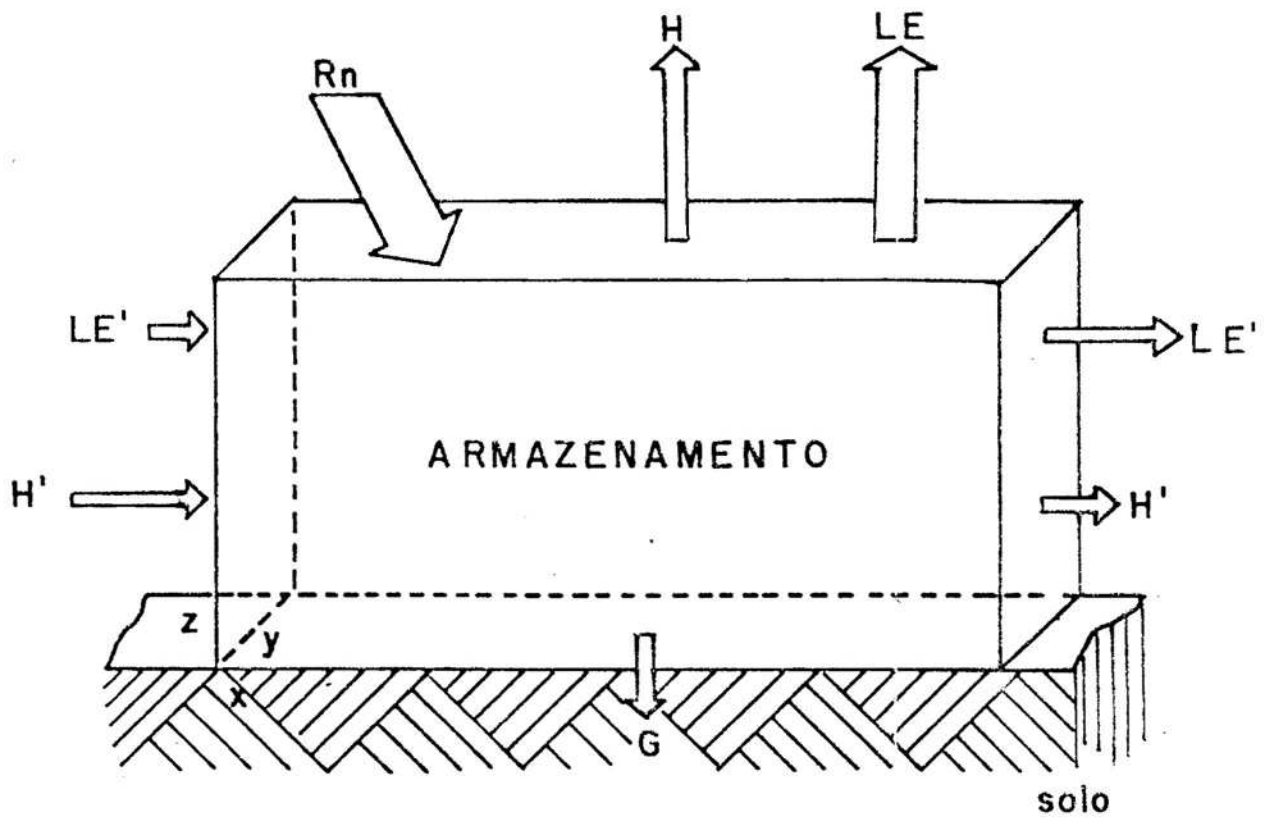
A eliminação dos termos horizontais na equação 10 introduz erros significativos apenas se não for satisfeita a condição de homogeneidade em uma extensa área, suficiente para garantir a ausência de fortes gradientes horizontais de temperatura e umidade absoluta.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) e o fluxo de calor no solo ( $G$ ) podem ser medidos diretamente. Os fluxos de calor latente e sensível podem ser relacionados, utilizando-se a razão de Bowen (3).

$$\beta = \frac{H}{LE}. \quad \text{eq. 11}$$

Na camada-limite superficial, os transportes de calor sensível e de calor latente ocorrem, predominantemente, por difusão turbulenta, podendo ser representados por:

$$H = -\rho c_p K_h \frac{\partial T}{\partial z} \quad \text{eq. 12}$$



Armazenamento {
 

- Variação de temperatura da cultura
- Variação de temperatura do ar
- Variação da umidade absoluta

FIGURA 2. Representação Esquemática do Balanço de Energia Completo, numa Superfície Vegetada, Segundo TANNER (34).

$$LE = - L K_w \frac{\partial q}{\partial z}, \quad \text{eq. 13}$$

em que:

$c_p$  = calor específico do ar a pressão constante  
( $J.Kg^{-1}.K^{-1}$ );

$K_h$  = coeficiente de difusão turbulenta de calor sen  
sível ( $m^2.s^{-1}$ );

$\frac{\partial T}{\partial z}$  = gradiente vertical de temperatura ( $K.m^{-1}$ );

$L$  = calor latente de evaporação ( $J.Kg^{-1}$ );

$\frac{\partial q}{\partial z}$  = gradiente vertical de umidade específica ( $kg.$   
 $kg^{-1}.m^{-1}$ );

$K_w$  = coeficiente de difusão turbulenta de calor la  
tente ( $m^2.s^{-1}$ ).

Definindo a constante psicrométrica ( $\gamma$ ) por:

$$\gamma = \frac{c_p \cdot P}{0,622 L}, \quad \text{eq. 14}$$

e visando a expressão para o fluxo de calor latente em ter  
mos da pressão de vapor, a equação 13 pode ser re  
escrita como:

$$LE = \frac{\rho c_p}{\gamma} K_w \frac{\partial e}{\partial z}. \quad \text{eq. 15}$$

Adotando-se o princípio da similaridade, válido para condiç  
ões de neutralidade atmosférica, a razão de Bowen (equaç  
ão 11) pode ser simplificada para:

$$\beta = \gamma \frac{\partial T}{\partial e}, \quad \text{eq. 16}$$

que, com notação em diferenças finitas, torna-se:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad \text{eq. 17}$$

A pressão de vapor numa amostra de ar úmido é dada pela equação psicrométrica:

$$e = e_{su} - \gamma (T - T_u) \quad \text{eq. 18}$$

em que:

$e_{su}$  = pressão de saturação do vapor a temperatura do ar (Pa);

$T$  = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_u$  = temperatura do bulbo úmido ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Calculando a pressão de vapor da equação 18, para dois níveis, substituindo na equação 16 e tomando o inverso, obtém-se:

$$\beta = \left[ \frac{\Delta e_{su} - \gamma \cdot \Delta T + \gamma \cdot \Delta T_u}{\gamma \cdot \Delta T} \right]^{-1}$$

$$\beta = \left[ \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\Delta e_{su}}{\Delta T} - 1 + \frac{\Delta T_u}{\Delta T} \right]^{-1}$$

$$\beta = \left[ \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\Delta e_{su}}{\Delta T_u} \cdot \frac{\Delta T_u}{\Delta T} + \frac{\Delta T_u}{\Delta T} - 1 \right]^{-1}$$

Tomando a tangente à curva de pressão de saturação do vapor (S) à temperatura  $T_u$ :

$$S = \frac{\Delta e_{su}}{\Delta T_u}$$

tem-se:

$$\beta = \left[ \frac{S}{\gamma} \cdot \frac{\Delta T_u}{\Delta T} + \frac{\Delta T_u}{\Delta T} - 1 \right]^{-1},$$

$$\beta = \left[ \left( \frac{S}{\gamma} + 1 \right) \cdot \frac{\Delta T_u}{\Delta T} - 1 \right]^{-1} . \quad \text{eq. 19}$$

Os valores da tangente à curva de saturação de vapor de água (S), calculada, segundo LIST (20), pela equação:

$$S = \frac{0,75 e_s}{T^2} (6790,5 - 5,02808T + 4916,8 \cdot 10^{-0,0304T} \cdot T^2 + 174209 \cdot 10^{-\frac{1302,88}{T}}),$$

eq. 20

em que S é dado em mm Hg, °C<sup>-1</sup>, encontram-se tabelados no Quadro IA (14), em função da temperatura, para uma faixa de 5 a 45 graus Celsius. A temperatura utilizada para obtenção do valor tabelado será:

$$\bar{T}_u = \frac{T_{u1} + T_{u2}}{2};$$

em que:

$$T_{u1} = \text{temperatura do bulbo úmido ao nível 1};$$

$$T_{u2} = \text{temperatura do bulbo úmido ao nível 2}.$$

Obtendo-se o saldo de radiação, Rn, e o fluxo de calor no solo G, por medição direta, e a razão de Bowen, pela equação 19, a densidade de fluxo de calor latente poderá ser estimada pela equação:

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta}, \quad \text{eq. 21}$$

resultante da combinação de (10) e (11).

Uma outra expressão para a estimativa do fluxo de calor latente, com base no balanço de energia, foi proposta por Penman em 1948 (21). Tal equação, conhecida como Equação de Penman, tem sido amplamente utilizada, especialmente em trabalhos de pesquisa, quer na sua forma original, quer nas inúmeras variantes, com pequenas modificações introduzidas pelo próprio Penman e por muitos outros pesquisadores (4). A grande aceitação desse método deve-se não apenas à sua praticidade dentre os métodos racionais (pois não exigem medidas de perfil nem sobre a superfície, podendo os dados ser obtidos em estações meteorológicas convencionais), mas também à sua superioridade em termos de exatidão.

Analisando as relações entre os dados de ETp estimados em evapotranspirômetro, na região de Viçosa (MG), SEKIYAMA (27) concluiu que o método de Penman destaca-se em termos de valores totais por ano e especialmente nos períodos equinociais. Tanner e Pelton, citados por BERLATO e MOLION (4), em exaustiva análise comparativa entre o método de Penman e o do balanço de energia, concluíram que a aproximação de Penman é válida para estimar a evapotranspiração potencial para períodos curtos como um dia.

Na sua forma mais difundida, a equação de Penman é escrita como:

$$ETp = (0,017 R_n \frac{S}{\gamma} + E_a) / (\frac{S}{\gamma} + 1) \quad \text{eq. 22}$$

em que:

ETp = evapotranspiração potencial (mm.dia<sup>-1</sup>);

Rn = saldo de radiação (cal . cm<sup>-2</sup> . dia<sup>-1</sup>)

$$E_a = 0,35 \left( 0,5 + \frac{u_2}{160} \right) (e_s - e_a),$$

em que:

$u_2$  = velocidade média do vento a 2,0 m acima da superfície do solo ( $\text{Km.dia}^{-1}$ );

$(e_s - e_a)$  = déficit da pressão de saturação de vapor de água à temperatura do ar (mmHg).

### 2.1.2. Métodos Empíricos

Os métodos empíricos baseiam-se em análise de regressão, relacionando a evapotranspiração potencial (ETp) com um ou vários elementos meteorológicos, selecionados com base em análise das condições locais. Fatores do solo e da planta devem ser introduzidos para a obtenção de evapotranspiração real.

Embora com perda de precisão e de generalização em relação aos métodos racionais, o uso dos métodos empíricos é justificado, levando-se em conta sua operacionalidade, e desde que previamente calibrados contra valores medidos na região onde será utilizado. Segundo REDDY e NETTO (24), a principal limitação desses métodos encontra-se no fato de que as constantes, derivadas por análise de regressão, são específicas de cada região.

Segundo TANNER (34), os modelos resultantes dessa abordagem podem ser agrupados de acordo com o principal elemento meteorológico medido. Os mais amplamente utilizados, dentre os métodos empíricos, são os métodos evaporimétricos. Segundo estes métodos, estima-se a evaporação utilizando-se de evaporímetros de diferentes tipos (atmômetros, tanques de evaporação etc.). Dentre estes, a utilização do tanque USWB Classe A tem sido a mais recomendada, sendo amplamente utilizada no Brasil e em outros países. Tal método, no entanto, apresenta séria limitação quando utilizado

em regiões áridas, onde a advecção de calor sensível pode rá mascarar os valores reais da evaporação. Caso inexista esta condição, o tanque Classe A poderá fornecer uma estimativa bastante real da ETp.

Embora com certa similaridade física, o processo de evaporação não é idêntico ao de evapotranspiração, pois neste encontram-se envolvidos mecanismos biológicos. Além disso, o balanço de energia e a rugosidade aerodinâmica das duas superfícies, vegetada e não-vegetada, diferem bastante. Portanto, para se obter a ETp por meio de tanques, ou evaporímetros, em geral, é necessário o uso de coeficientes adequados. Normalmente, o uso de água pela cultura pode ser considerado como 60 a 90% da evaporação no tanque, em condições não advectivas (19).

Uma outra classe de métodos empíricos compreende os métodos de correlação. Segundo esses, determinam-se, por meio de análise estatística de regressão e correlação, e equações que relacionem a evapotranspiração potencial e elementos meteorológicos, tais como: temperatura, radiação solar, umidade, etc. Utilizando correções que levem em consideração fatores relacionados com solo e com a cultura específica, obtém-se a evapotranspiração real. Embora as equações obtidas desta forma sejam amplamente utilizadas para fins de estimativa da evapotranspiração em curtos períodos de tempo (irrigação, hidrologia etc.), são recomendados, especialmente para estudos climatológicos, uma vez que, quanto maior o período de tempo considerado maior será o coeficiente de correlação entre ETp e o elemento meteorológico medido (18). A descrição detalhada dos principais métodos empíricos baseados na correlação estatística encontra-se amplamente na literatura (4, 11, 15, 18, 26, 35, 39).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área do Laboratório de Agrometeorologia do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF/EMBRAPA), localizado próximo à cidade de Goiânia-GO, cujas coordenadas geográficas são: latitude de  $16^{\circ}41'S$ , longitude de  $49^{\circ}17'W$  e altitude de 730 m. O clima, segundo classificação de Köppen, é Aw, megatérmico, tropical chuvoso. A área de plantio foi de aproximadamente 1,7 hectares. A orientação e disposição dos instrumentos é representada na Figura 3.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. O plantio foi realizado em 30/11/84 com adubação de 300 kg/ha, na dosagem 5:30:15, tendo a emergência ocorrido em 05/12/84. A cultura utilizada foi o arroz (*Oryza sativa* L.), variedade CNA791041 de ciclo curto. A densidade de plantio foi de 80 sementes por metro linear, com espaçamento de 0,50 m entre as linhas. Usou-se tratamento fitossanitário de forma a manter a cultura em ótimas condições de desenvolvimento.

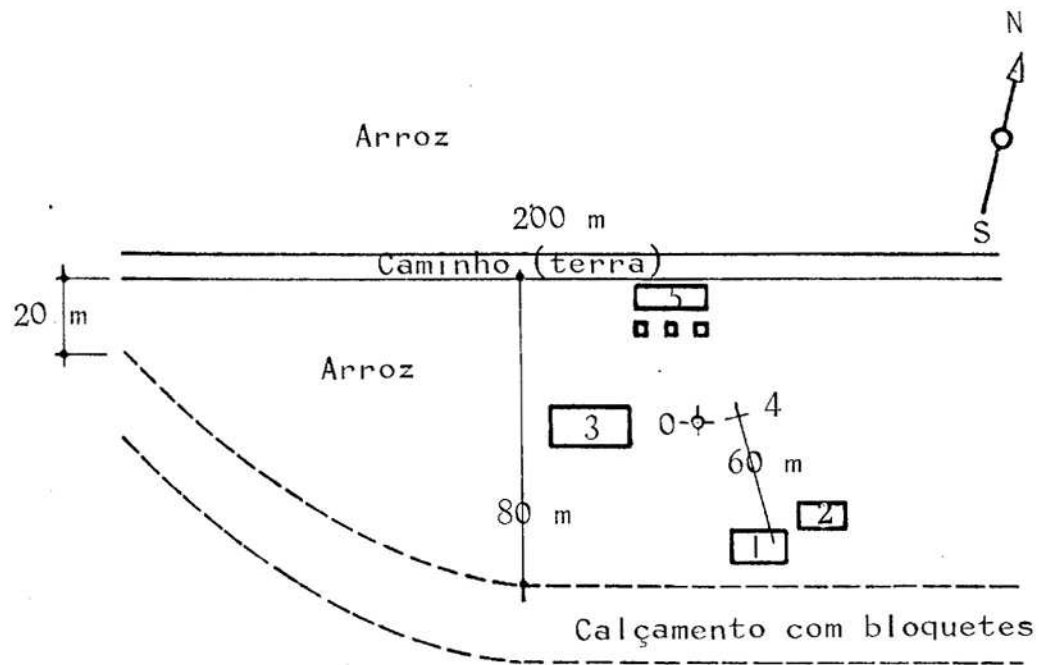


FIGURA 3. Representação da Área de Instalação do Experimento (1 - Laboratório com equipamento de registro dos dados. 2 - Estação meteorológica. 3 - Conjunto evapotranspirômetro de nível constante com cobertura móvel. 4 - Mastro amostrador, onde estão instalados os sensores. 5 - Conjunto do evapotranspirômetro de percolação).

As condições meteorológicas observadas durante o período no qual foi conduzido o experimento encontram-se no Quadro 11A.

As observações foram realizadas em três etapas, distribuídas da seguinte forma durante o ciclo da cultura:

- a) Primeira Etapa: correspondendo ao final do estágio vegetativo e início da pré-floração. Iniciou-se 35 dias após a emergência, no dia 10/01/85, encerrando-se na data de 24/01/85. Das observações realizadas nesse período, foram utilizadas para análise aquelas obtidas nos dias: 15/01, 16/01 e 24/01.
- b) Segunda Etapa: correspondeu ao estágio de floração plena. Teve início aos 67 dias após a emergência, no dia 11/02, encerrando-se no dia 15/02. Nessa etapa, as análises foram feitas com base nas observações dos dias 12, 13, 14 e 15/02. Para os dias 14 e 15, as observações foram realizadas ininterruptamente durante 24 horas.
- c) Terceira Etapa: correspondeu ao estágio de maturação fisiológica. Iniciou-se aos 93 dias após a emergência, no dia 08/03, encerrando-se no dia 10/03. Foram utilizadas as observações feitas durante os três dias.

Os dias pertencentes a cada etapa foram escolhidos com base na qualidade da série de dados obtidos e condições meteorológicas favoráveis.

As condições meteorológicas em cada etapa de observação encontram-se no Quadro 12 A.

As medidas de evapotranspiração máxima foram efetuadas em intervalos de uma hora, utilizando-se um evapotranspirômetro tipo Thornthwaite (37), adaptado com cobertura

móvel. Esta unidade consta de uma caixa de ferro galvanizado número 22 (AWG), de forma retangular e com as seguintes dimensões: 2,40 m x 3,00 m x 1,50 m (volume de 10,80 m<sup>3</sup> e área de 7,20 m<sup>2</sup>); possui, no fundo, uma zona de drenagem constituída por uma camada de brita nº 1 e outra de areia grossa. O solo utilizado no enchimento do tanque, obedecendo ao perfil natural, foi do mesmo tipo encontrado na área onde está instalado o evapotranspirômetro. O plantio, em seu interior, foi feito seguindo-se as mesmas especificações da área externa. Um reservatório de recarga, construído de ferro galvanizado, com dimensões 0,48 m de raio e 1,5 m de altura, foi instalado do lado de fora da cobertura do evapotranspirômetro, como pode ser observado na Figura 4.

O nível do lençol freático no evapotranspirômetro foi mantido constante por meio de uma válvula controlada por bóia de plástico a cerca de 1,23 m da superfície.

As leituras, feitas em um tubo graduado em mm acoplado ao reservatório e em comunicação com este, foram realizadas em intervalos de uma hora. A variação no armazenamento de água no interior do evapotranspirômetro foi evitada, utilizando-se a cobertura móvel em ocasiões de ocorrência de chuva, e o sistema de lençol freático constante.

A evapotranspiração real foi estimada, utilizando-se a eq. 19. Para isso, mediu-se diretamente o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo. A razão de Bowen foi obtida pela equação 19, medindo-se as temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco nos níveis de 0,80 m e 1,30 m de altura. Para isso, foram utilizados quatro termopares cobre-constantan, sendo os valores da temperatura de bulbo úmido registradas continuamente num registrador ECB, modelo RBI03, fabricado por Equipamentos Científicos do Brasil

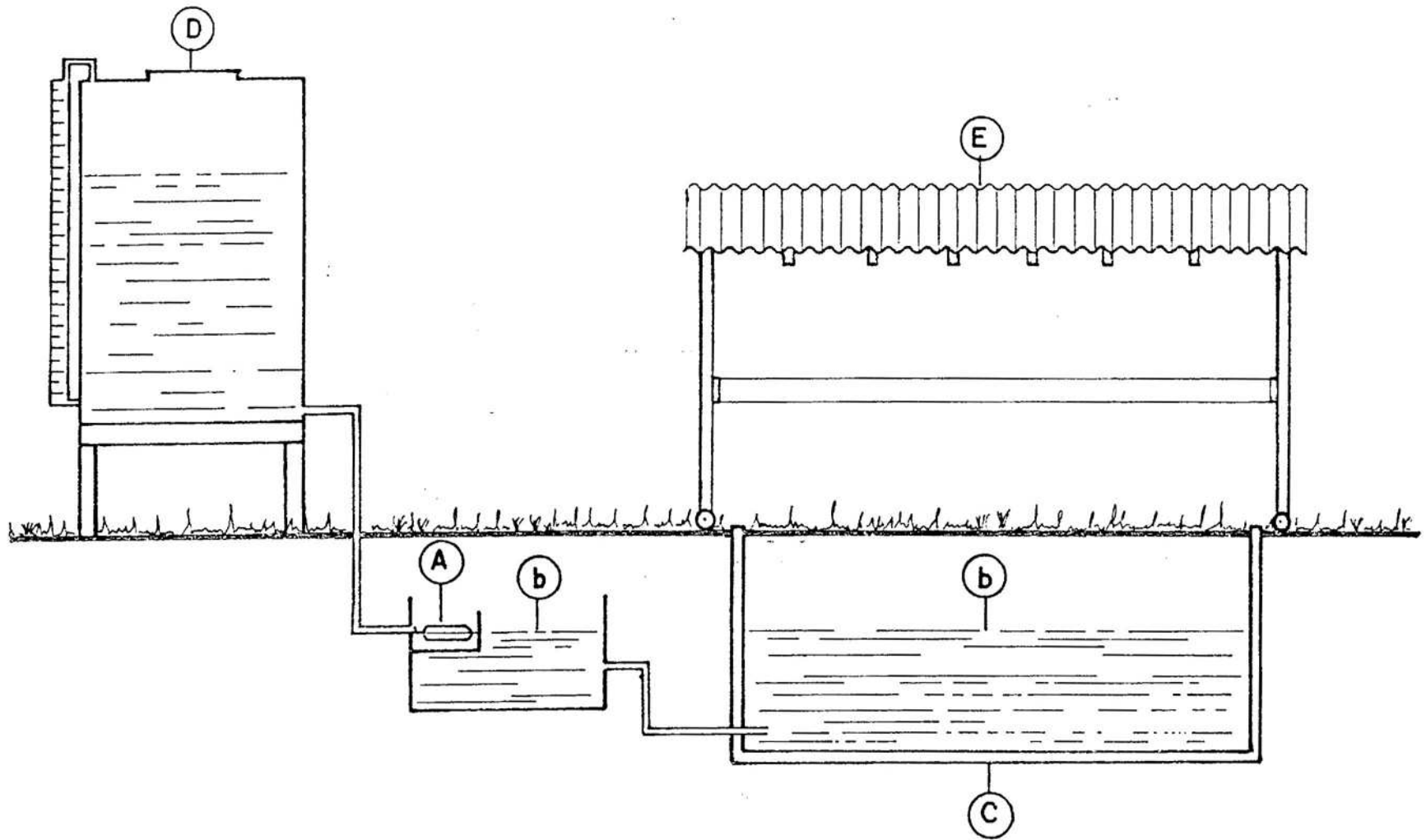


FIGURA 4. Evapotranspirômetro Tipo Thornthwaite com Nível de Lençol Freático Constante e Cobertura Móvel, Segundo ASSIS (2), Modificado. (A - Válvula da bóia. B - Nível da água. C - Tanque de ferro galvanizado. D - Reservatório de água. E - cobertura móvel).

Ltda. As temperaturas de bulbo seco foram lidas em intervalos de 15 minutos por meio de um "Dew Point Microvoltimeter", modelo WR33T, fabricado pela Wescon Inc.

A constante psicrométrica foi calculada utilizando-se a equação 13, sendo o calor latente de vaporização (L) tomado como  $2,4428 \times 10^6 \text{ J.Kg}^{-1}$  para a faixa de  $25^\circ\text{C}$ , e o calor específico à pressão constante do ar seco como  $1,03 \times 10^3 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ . A pressão atmosférica usada foi a média do período igual a 928,5 mb. Os valores da tangente à curva de pressão de saturação do vapor (S) foram obtidos do Quadro 2A, apresentado por ESPINOLA SOBRINHO (13).

A densidade de fluxo de calor sensível no solo foi obtida por meio de uma placa de fluxo Eko Instrumentos Trading, com constante de calibração igual a  $0,0155 \text{ mV/W.m}^{-2}$ , instalada a 2,0 cm de profundidade, próximo ao mastro amostrador. O registro foi feito continuamente em um registrador ECB, já citado. O saldo de radiação foi obtido utilizando-se um saldo-radiômetro, modelo S-1, fabricado por Swissteco Instrument, com constante de calibração igual a  $0,0517 \text{ mV/(W.m}^{-2})$ . Os dados foram registrados continuamente em um Speedomax Recorder, fabricado pela Leeds & Northrup. Os equipamentos de medida foram instalados em um mastro fixo de 2,0 m de altura, conforme apresentado na Figura 5. Dos registros do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e das temperaturas de bulbo úmido, foram tomadas médias horárias com base em intervalos de 15 minutos. Com esse intervalo, foram feitas medidas instantâneas da temperatura de bulbo seco nos dois níveis já referidos, utilizando-se um "Dew Point Microvoltimeter", a partir das quais obtiveram-se as médias horárias.

Para a estimativa de ETp utilizou-se um tanque Classe A, instalado no parque de instrumentos da Estação Agrometeorológica, localizada próxima da área do experimento.

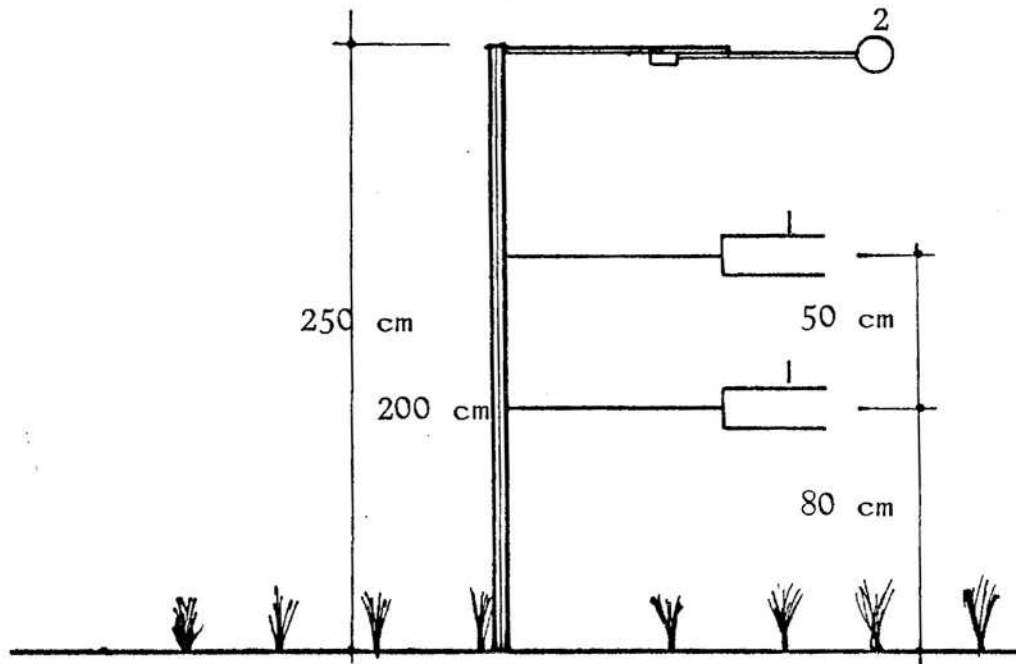


FIGURA 5. Mastro Amostrador com Sensores. (1 - Psicrômetros. 2 - Saldo-Radiômetro).

O manejo do tanque Classe A foi feito segundo as normas adotadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia. As observações foram realizadas em intervalos de uma hora, e a evapotranspiração, estimada por intermédio da equação:

$$ET_p = K_p \cdot E_t, \quad \text{eq. 22}$$

sendo  $K_p$  o coeficiente do tanque proposto por DOORENBOS e PRUITT (11), e  $E_t$  a evaporação medida com um micrômetro de gancho, graduado em décimos de milímetro.

Os valores de  $K_p$  foram adotados segundo as condições meteorológicas médias predominantes em cada etapa de medição (Quadro 2), admitindo-se uma bordadura de 100 metros.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados de saldo de radiação, de calor sensível no solo, dos gradientes de temperatura de bulbo úmido e de bulbo seco, apresentados nos Quadros 2A a 10A, e, ainda, nos valores da tangente à curva de saturação, apresentados no Quadro 1A, obteve-se, com o auxílio das equações 10, 19 e 21, o fluxo de calor latente e de calor sensível no ar, em intervalo de tempo de 15 minutos. Com base nesses valores, calcularam-se médias horárias cujos resultados estão representados graficamente nas Figuras 6, 7 e 8. Os valores de LE foram plotados com o sinal inverso (multiplicados por -1) para facilitar sua comparação com o fluxo do saldo de radiação. Nota-se uma estreita relação entre a marcha diária do saldo de radiação e dos outros componentes do balanço de energia. No que se refere ao instante de ocorrência dos valores máximos no ciclo diário, observa-se, em geral, pequena diferença de fase entre os componentes do balanço (Figuras 6 a 9), resultante dos diferentes mecanismos físicos de transferência de calor, específicos de cada componente.

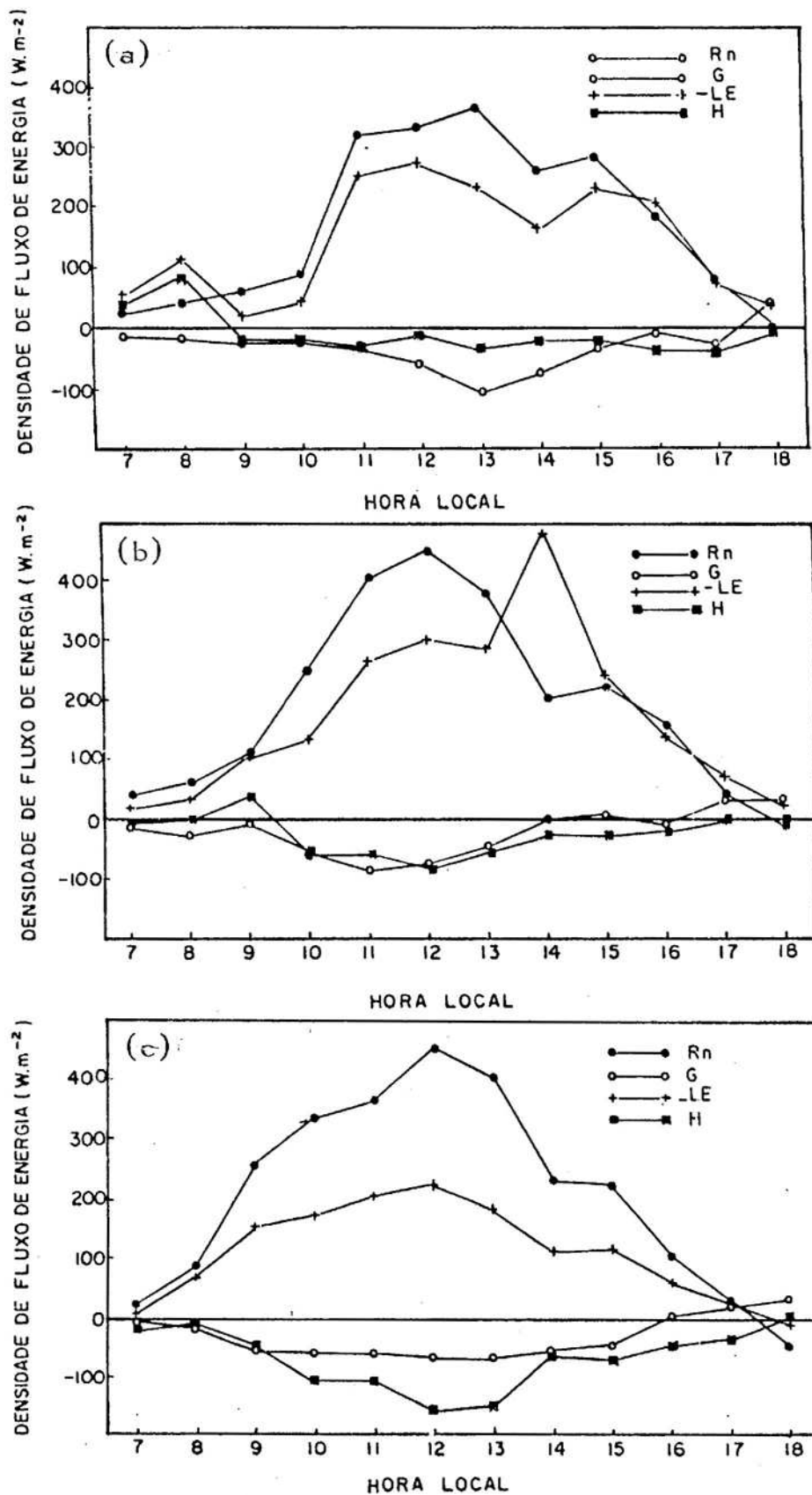


FIGURA 6. Representação Gráfica dos Componentes do Balanço de Energia em Cultura de Arroz (*Oryza sativa* L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO. (a - 15/01, b - 16/01, c - 24/01).

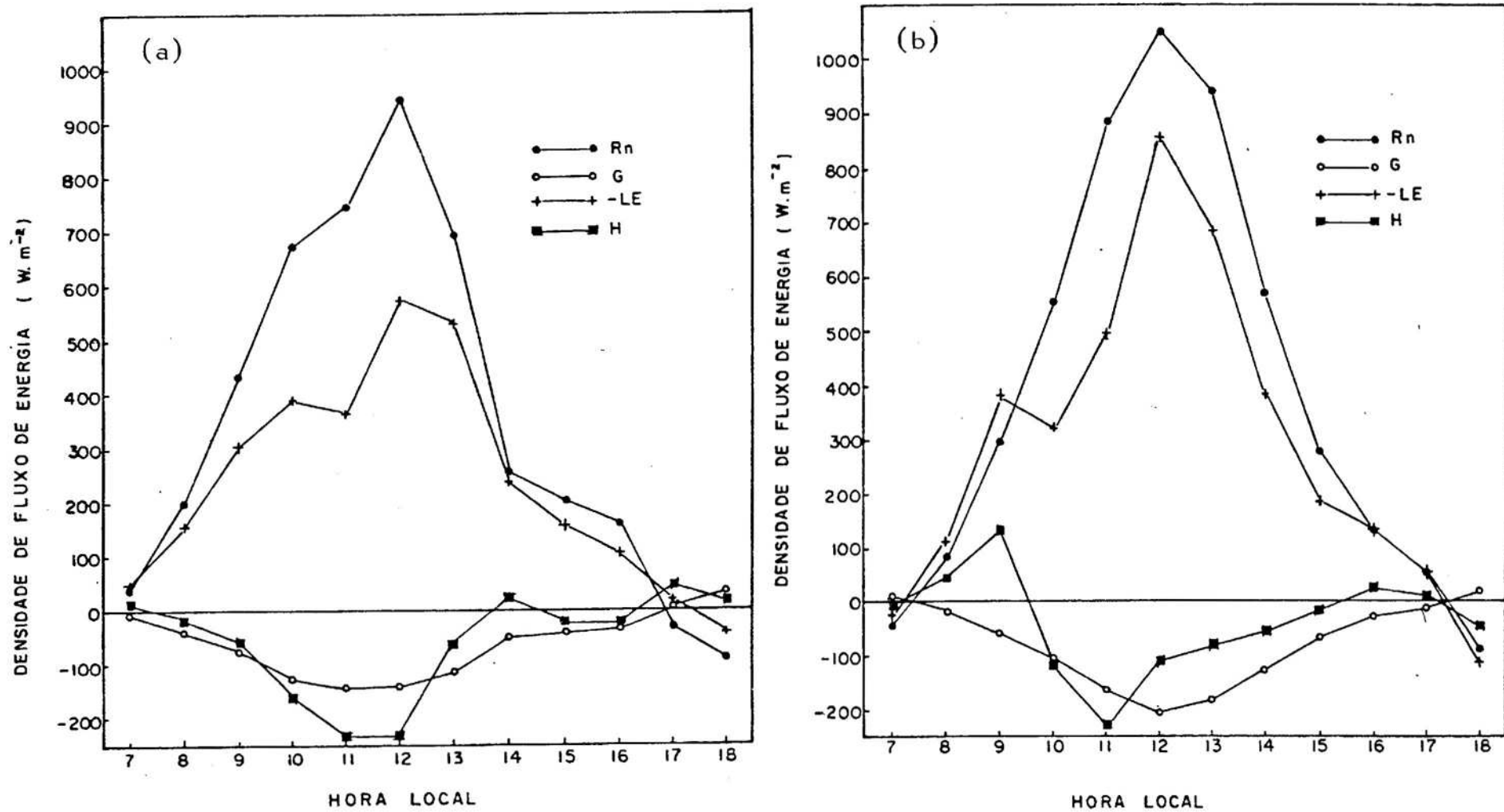


FIGURA 7. Representação Gráfica dos Componentes do Balanço de Energia em Cultura de Arroz (*Oryza sativa* L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO. (a - 12/02, b - 13/02).

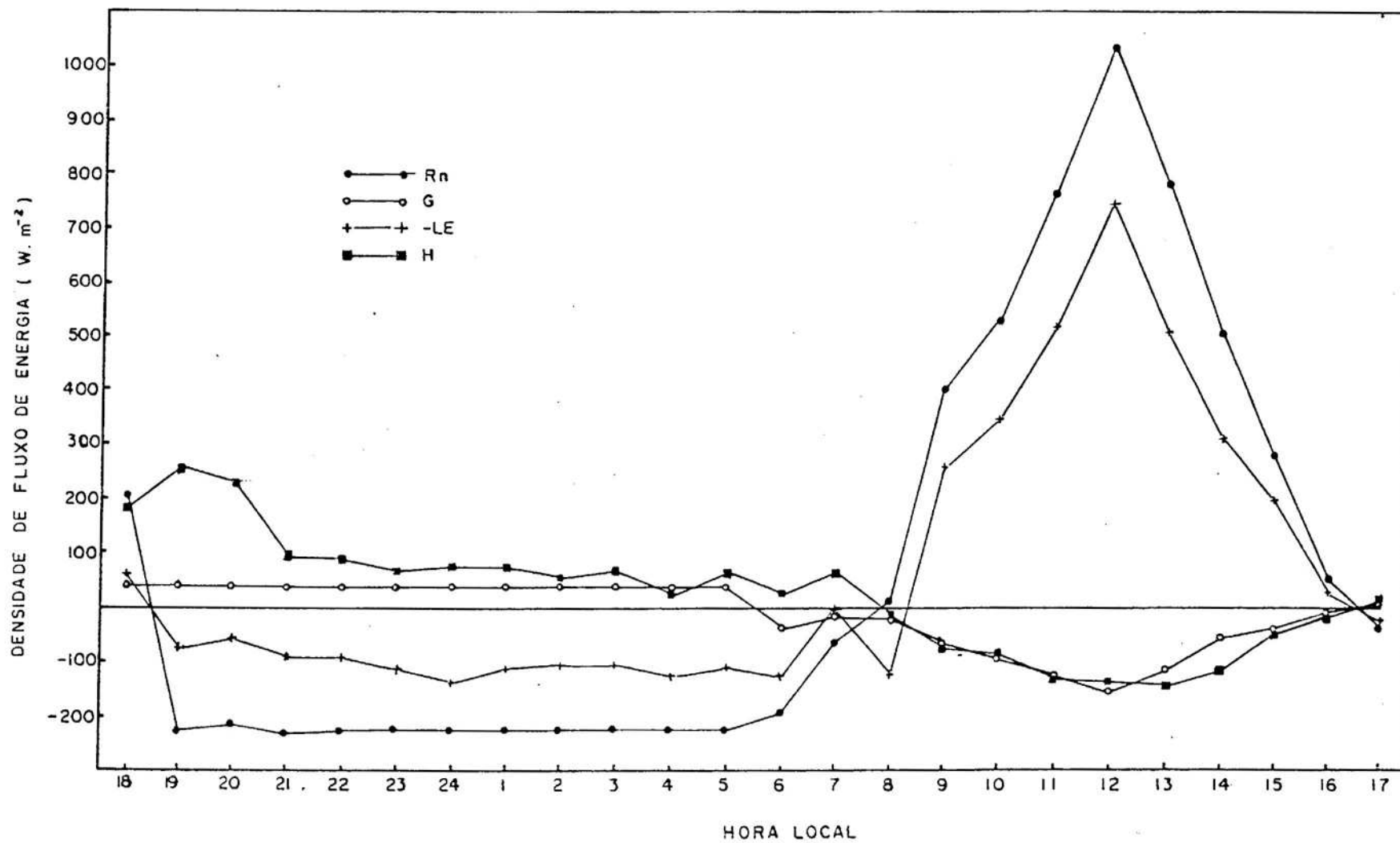


FIGURA 8. Representação Gráfica dos Componentes do Balanço de Energia em Cultura de Arroz (*Oryza sativa* L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO, para os Dias 14 e 15/02.

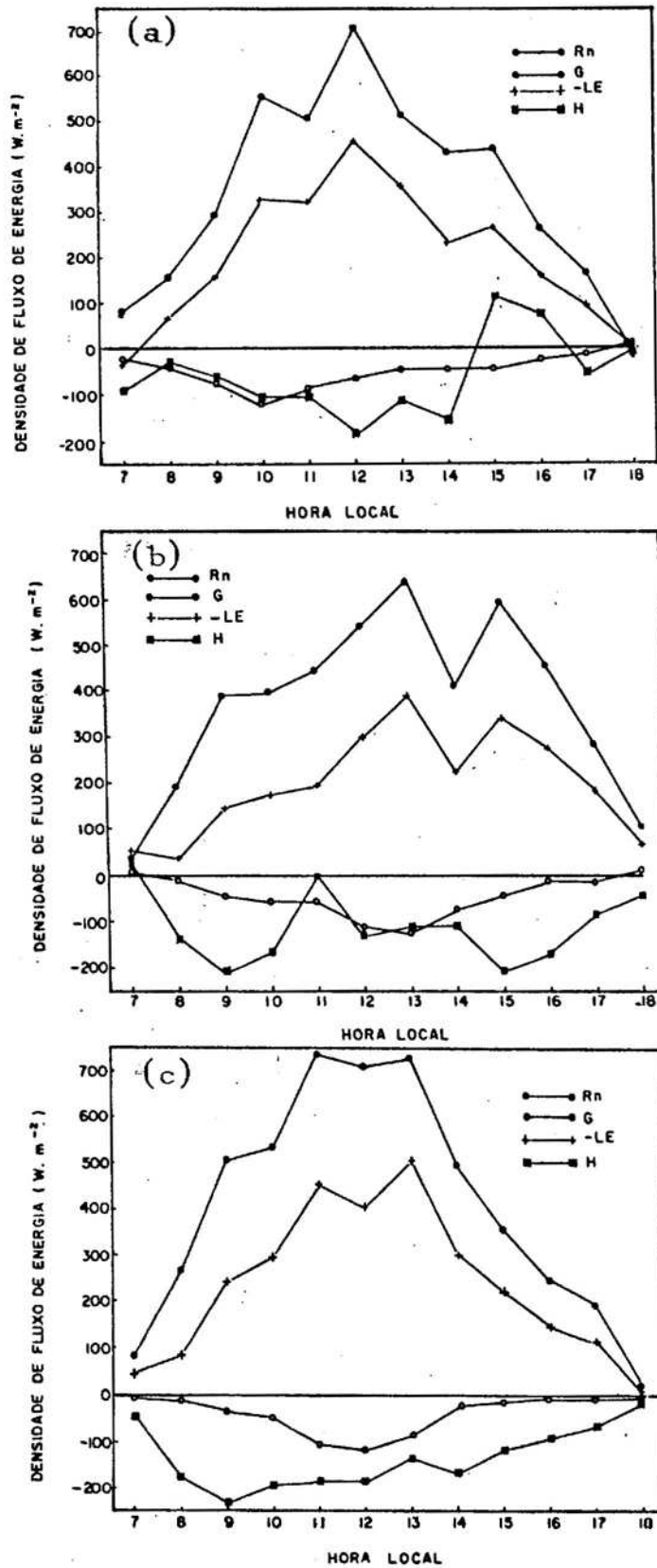


FIGURA 9. Representação Gráfica dos Componentes do Balanço de Energia em Cultura de Arroz (*Oryza sativa* L.) de Sequeiro, em Goiânia-GO. (a - 08/03, b - 09/03, c - 10/03).

O fluxo de calor sensível em direção ao ar inicia-se nas primeiras horas da manhã, em torno das 7 horas, invertendo sua direção, na maioria dos casos, em torno das 16 horas, exceto nos dias representados na Figura 8, nos quais tal fato ocorreu em torno das 18 horas. Comportamento semelhante observa-se com relação ao fluxo de calor sensível para o solo (G).

Para analisar a distribuição do saldo de radiação nos diferentes termos do balanço de energia, tomou-se a razão entre  $R_n$  e os outros componentes do balanço de energia relacionados na equação 9, em termos percentuais. No Quadro I encontram-se os resultados relativos a um dos três dias de cada etapa. Nesse Quadro, um percentual negativo indica que o valor do componente em questão não é resultante da partição de  $R_n$ , sendo contribuição de uma outra fonte, como o solo, por exemplo. As médias diárias foram obtidas integrando-se apenas os valores horários negativos de G, LE e H, representando perda de energia pelo sistema, enquanto que, para  $R_n$ , foram considerados apenas valores positivos, representando acréscimo de energia ao sistema. A relação  $G/R_n \times 100$  é primariamente afetada pelo grau de cobertura do solo expresso pelo índice de área foliar (IAF).

Observando o Quadro I, nota-se claramente um decréscimo, nesta relação, entre os dias 24/01 e 10/03. Tal comportamento pode ser atribuído não apenas à variação no IAF, mas também, e principalmente, à curvatura das folhas e panículas, típica da fase de maturação.

Para um mesmo grau de cobertura do solo e mesmo o saldo de radiação, a variação na razão  $G/R_n \times 100$  dependerá do estado de umidade da camada superficial do solo, que determina a proporção na qual a energia disponível será consumida em evaporação e no aquecimento do solo e do ar.

QUADRO 1. Valores Percentuais Médios Horários e Diários dos Componentes do Balanço de Energia Relativos ao Saldo de Radiação, para um Dia de Observação em Cada Etapa

Hora	G/Rn x 100			LE/Rn x 100			H/Rn x 100		
	24/01	13/02	10/03	24/01	13/02	10/03	24/01	13/02	10/03
7:00	0,0	-16,7	0,0	25,0	-83,3	50,0	75,0	0,0	50,0
8:00	15,4	16,7	2,6	76,9	133,3	31,6	7,7	-50,0	65,8
9:00	21,6	18,6	6,8	59,5	127,9	47,9	18,9	-46,5	45,2
10:00	16,7	20,3	9,1	52,1	58,2	54,5	31,3	21,5	36,4
11:00	15,4	18,9	14,0	55,8	55,1	60,7	28,8	30,0	25,2
12:00	15,4	19,1	16,7	48,2	71,1	56,9	35,4	9,8	26,4
13:00	17,2	19,1	11,4	44,8	72,1	68,6	37,9	8,8	18,1
14:00	26,5	22,2	4,3	47,1	67,9	61,4	26,5	9,9	34,3
15:00	18,2	25,0	3,9	51,5	65,0	62,7	30,3	10,0	33,3
16:00	-6,7	21,0	2,9	60,0	100,0	60,0	46,7	-21,1	37,1
17:00	-80,0	25,0	3,6	80,0	100,0	60,7	100,0	-25,0	35,7
18:00	-71,4	-23,1	50,0	-14,3	-130,7	100,0	-14,3	53,8	50,0
Média	16,7	20,0	9,3	52,5	72,0	57,9	32,1	13,8	32,9

A relação  $LE/R_n \times 100$  apresenta um aumento significativo no estágio de floração (13/02), o que pode ser atribuído, em grande parte, ao maior consumo de água pela cultura, característica deste estágio fenológico. Verificasse, em alguns horários, que o valor de LE superou o de  $R_n$ , em virtude da existência de um fluxo positivo de calor sensível, do ar para a superfície do solo, como se verifica no Quadro 6A.

A relação  $H/R_n \times 100$ , em geral, foi superior a  $G/R_n \times 100$ , particularmente nas primeiras horas da manhã e no final da tarde, quando a altura do sol é pequena, diminuindo sensivelmente o fluxo de calor para o solo.

Durante todo o período de observação, o termo LE predominou sobre os componentes H e G, como se pode observar no Quadro 1; isto confirma a expectativa de que a maior parte do saldo de radiação próximo à superfície é consumido na evapotranspiração. O aumento na proporção de LE durante o estágio de floração, como se pode notar no Quadro 1, revela uma importante contribuição da transpiração da cultura para o fluxo de calor latente (LE).

A evapotranspiração estimada por meio do tanque Classe A refere-se à evapotranspiração potencial ou de referência. Foi estimada, conforme citado na metodologia, multiplicando-se o valor da evaporação pelo coeficiente do tanque, recomendado por DOORENBOS e PRUIT (11). Em virtude das diferentes condições de tempo reinantes durante os dias nos quais foram realizadas as observações (Quadro 12A), utilizaram-se diferentes valores para o coeficiente do tanque, os quais encontram-se indicados nos Quadros 2 a 5. Os valores médios da evapotranspiração obtidos dessa forma em cada estágio do desenvolvimento da cultura encontram-se no Quadro 5. Nos Quadros 2 a 5 são apresentados

QUADRO 2. Valores Médios Horários de ET<sub>m</sub>, ET<sub>r</sub> e ET<sub>p</sub> para os Dias Referentes à Primeira Etapa (Pré-Floração)

Hora	Dia 15/01/85 (K <sub>p</sub> = 0,85)			Dia 16/01/85 (K <sub>p</sub> = 0,70)			Dia 24/01/85 (K <sub>p</sub> = 0,80)		
	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)
7:00	0,1	0,08	0,02	0,1	0,03	0,01	0,1	0,01	0,02
8:00	0,1	0,16	0,03	0,1	0,05	0,04	0,1	0,10	0,06
9:00	0,1	0,03	0,05	0,1	0,16	0,04	0,0	0,22	0,06
10:00	0,2	0,07	0,02	0,1	0,19	0,06	0,2	0,26	0,23
11:00	0,2	0,37	0,07	0,1	0,39	0,08	0,2	0,30	0,21
12:00	0,0	0,40	0,10	0,1	0,44	0,31	0,3	0,33	0,38
13:00	0,2	0,34	0,53	0,7	0,42	0,42	0,2	0,27	0,27
14:00	0,1	0,25	0,62	0,3	0,70	0,30	0,3	0,16	0,23
15:00	0,2	0,34	0,36	0,4	0,36	0,38	0,1	0,17	0,61
16:00	0,3	0,30	0,30	0,5	0,20	0,04	0,1	0,09	0,50
17:00	0,6	0,06	0,36	0,5	0,11	0,37	0,4	0,04	0,43
18:00	0,6	0,06	0,16	0,4	0,04	0,36	0,4	0,01	0,29
Total	2,7	2,45	2,62	3,4	3,09	2,83	2,4	1,96	3,29

QUADRO 3. Valores Médios Horários de ET<sub>m</sub>, ET<sub>r</sub> e ET<sub>p</sub> para os Dias Referentes à Segunda Etapa (Floração)

Hora	Dia 12/02/85 (K <sub>p</sub> =0,80)			Dia 13/02/95 (K <sub>p</sub> =0,80)		
	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)
7:00	0,3	0,07	0,11	0,1	0,00	0,21
8:00	0,3	0,22	0,12	0,1	0,16	0,06
9:00	0,1	0,45	0,10	0,3	0,56	0,14
10:00	0,4	0,57	0,38	0,3	0,47	0,40
11:00	0,4	0,54	0,35	0,4	0,71	0,48
12:00	0,5	0,84	0,05	0,3	1,10	0,34
13:00	0,3	0,78	0,57	0,4	1,00	0,48
14:00	0,3	0,35	0,17	0,4	0,56	0,54
15:00	0,4	0,22	1,18	0,7	0,27	0,48
16:00	0,6	0,15	0,45	0,5	0,19	0,48
17:00	0,5	0,03	0,24	0,3	0,08	0,48
18:00	0,5	0,06	0,48	0,3	0,00	0,10
Total	4,0	4,28	4,20	4,1	5,12	4,0

os valores da evapotranspiração potencial, da evapotranspiração máxima e da evapotranspiração real. Nota-se claramente, com relação à última, a tendência em acompanhar o curso diário do saldo de radiação, embora se possa observar, na Figura 6-b, horário de 13h às 15h, que LE supera R<sub>n</sub>, indicando uma situação de advecção de energia. Com relação a ET<sub>m</sub>, nota-se, em escala horária, uma defasagem acentuada, entre os instantes de ocorrência dos valores máximos, em relação a ET<sub>r</sub>. Tal comportamento deve-se provavelmente ao processo de redistribuição de água no perfil do solo no interior do evapotranspirômetro, isto é, a taxa de reposição da água perdida por evapotranspiração, na

QUADRO 4. Valores Médios Horários de ET<sub>m</sub>, ET<sub>r</sub> e ET<sub>p</sub> para os Dias Referentes à Segunda Etapa (Floração)

Dias 14 e 15/02/85 (K <sub>p</sub> = 0,80)			
Hora	ET <sub>m</sub> mm/h	ET <sub>r</sub> mm/h	ET <sub>p</sub> mm/h
18:00	0,0	0,09	0,24
19:00	0,1	0,00	0,03
20:00	0,3	0,00	0,09
21:00	0,2	0,00	0,35
22:00	0,2	0,00	0,15
23:00	0,2	0,00	0,06
24:00	0,2	0,00	0,09
01:00	0,1	0,00	0,05
02:00	0,2	0,00	0,01
03:00	0,0	0,00	0,00
04:00	0,2	0,00	0,06
05:00	0,1	0,00	0,07
06:00	0,3	0,00	0,22
07:00	0,0	0,00	0,14
08:00	0,0	0,11	0,01
09:00	0,3	0,38	0,23
10:00	0,2	0,51	0,05
11:00	0,4	0,76	0,20
12:00	0,4	1,09	0,26
13:00	0,5	0,75	0,71
14:00	0,4	0,46	0,50
15:00	0,4	0,29	0,40
16:00	0,6	0,05	0,79
17:00	0,4	0,04	0,45
Total	5,7	4,53	5,43

QUADRO 5. Valores Médios Horários de ET<sub>m</sub>, ET<sub>r</sub> e ET<sub>p</sub> para os Dias Referentes à Terceira Etapa (Maturação)

Hora	Dia 08/03/85 (K <sub>p</sub> = 0,85)			Dia 09/03/85 (K <sub>p</sub> = 0,85)			Dia 10/03/85 (K <sub>p</sub> = 0,80)		
	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)
7:00	0,1	0,00	0,02	0,1	0,09	0,63	0,1	0,06	0,20
8:00	0,0	0,10	0,03	0,1	0,07	0,02	0,1	0,12	0,16
9:00	0,1	0,22	0,01	0,3	0,21	0,24	0,2	0,36	0,20
10:00	-	0,48	0,06	0,2	0,26	0,05	0,3	0,43	0,12
11:00	0,2	0,47	0,12	0,2	0,57	0,17	0,1	0,66	0,17
12:00	0,3	0,66	0,20	0,3	0,44	0,10	0,3	0,59	0,22
13:00	0,3	0,52	0,40	0,1	0,58	0,22	0,2	0,73	0,24
14:00	0,3	0,34	0,25	0,5	0,33	0,23	0,5	0,44	0,46
15:00	0,5	0,39	0,65	0,2	0,50	0,65	0,4	0,33	0,53
16:00	0,1	0,22	0,41	0,1	0,41	0,07	0,7	0,21	0,66
17:00	0,1	0,14	0,21	0,2	0,28	0,07	0,3	0,17	0,36
18:00	0,1	0,00	0,03	0,1	0,10	0,15	0,3	0,02	0,34
Total	2,1	3,54	2,39	2,4	3,84	2,60	3,5	4,12	3,66

zona das raízes e camada superficial do solo (a qual depende da diferença de potencial hídrico e da condutividade hidráulica do solo) é menor do que a taxa de transferência de água para a atmosfera, especialmente em situação de alta demanda. Conseqüentemente, o consumo de água indicado no tubo de plástico, instalado no reservatório do evapotranspirômetro (Figura 4), subestima a evapotranspiração. Em situação de baixa demanda, como nos horários noturnos, a situação se inverte, passando a ocorrer reposição de água a uma taxa superior à de evapotranspiração. Isto pode ser observado no Quadro 6, onde se encontra os valores obtidos nesses horários.

Pelo Quadro 6 verifica-se que, em termos de médias diárias para cada estágio, os valores da evapotranspiração máxima, obtida no evapotranspirômetro, apresentam uma diferença percentual em relação à evapotranspiração real de +13,6%, -7,2% e -29,1% durante a primeira, a segunda e a terceira etapas, respectivamente. O percentual positivo, observado na primeira etapa, indica que  $ET_m$  foi maior do que  $ET_r$ . Durante a segunda e terceira etapas, o percentual foi negativo, o que indica que  $ET_m$  foi menor do que  $ET_r$ , contrariando o esperado, uma vez que  $ET_m$ , sendo medida no interior do evapotranspirômetro (onde a disponibilidade de água se encontra em condição ideal), deverá superar, ou no mínimo, igualar-se à  $ET_r$ .

A diferença percentual de -29,1%, observada na terceira etapa, quando é baixo o consumo de água pela cultura, indica que o método do balanço de energia tende a superestimar o termo  $LE$ , já que depende primariamente do saldo de radiação ( $R_n$ ).

Em relação à  $ET_p$ , verifica-se pelo Quadro 6 que, em termos de médias diárias, os valores obtidos apresentaram,

QUADRO 6. Valores Médios Horários, Totalizados, de ET<sub>m</sub>, ET<sub>r</sub> e ET<sub>p</sub>, nos Diferentes Estádios Fenológicos do Arroz (*Oryza sativa* L.) de Sequeiro

Hora	1ª Etapa			2ª Etapa			3ª Etapa		
	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)	ET <sub>m</sub> (mm/h)	ET <sub>r</sub> (mm/h)	ET <sub>p</sub> (mm/h)
7:00	0,10	0,04	0,02	0,13	0,00	0,15	0,10	0,03	0,28
8:00	0,10	0,10	0,04	0,13	0,16	0,06	0,07	0,10	0,07
9:00	0,07	0,14	0,05	0,23	0,46	0,16	0,20	0,26	0,15
10:00	0,17	0,17	0,10	0,30	0,52	0,28	0,20	0,39	0,08
11:00	0,17	0,35	0,12	0,40	0,67	0,34	0,17	0,57	0,15
12:00	0,13	0,39	0,26	0,40	1,01	0,22	0,30	0,56	0,17
13:00	0,37	0,34	0,41	0,40	0,84	0,59	0,20	0,61	0,28
14:00	0,23	0,37	0,38	0,37	0,46	0,40	0,43	0,37	0,31
15:00	0,23	0,29	0,45	0,50	0,26	0,69	0,37	0,41	0,61
16:00	0,30	0,20	0,42	0,57	0,13	0,57	0,30	0,28	0,38
17:00	0,50	0,07	0,39	0,40	0,05	0,39	0,20	0,20	0,21
18:00	0,47	0,04	0,27	0,40	0,00	0,34	0,17	0,04	0,17
Total (mm/dia)	2,84	2,50	2,91	4,23	4,56	4,19	2,71	3,82	2,86

quando comparados com  $ET_m$ , diferenças de 2,5%, -0,9% e 5,5%. Os percentuais positivos indicam que os valores de  $ET_r$  foram superiores aos de  $ET_m$ . Essas percentuais indicam uma boa concordância entre os métodos, revelando, inclusive, como esperado, valores de  $ET_p$  que superam os de  $ET_r$  nos estádios em que a evapotranspiração máxima é baixa, e praticamente igualando-se, durante o estágio de floração plena, quando o consumo de água pela cultura é máximo.

## 5. RESUMO E CONCLUSÃO

Conduziu-se o presente trabalho na área experimental do Laboratório de Agrometeorologia do Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão (CNPAF-EMBRAPA), localizado na cidade de Goiânia-GO, com o objetivo de determinar a evapotranspiração do arroz de sequeiro (Oryza sativa L.), em três diferentes fases de desenvolvimento da cultura, e analisar como se distribui o saldo de radiação em seus diferentes componentes, em três diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

O plantio foi realizado em 30/11/84 e as observações, realizadas em três etapas, transcorreram nos períodos: de 10 a 24/01/85, primeira etapa; de 11 a 15/02/85, segunda etapa; e a terceira etapa de 8 a 10/03/85.

Utilizou-se um evapotranspirômetro, tipo Thornthwaite, com lençol freático a nível constante, adaptado com uma cobertura móvel, para medir a evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>). As medições foram realizadas por meio de um tubo de plástico, graduado em milímetros, acoplado ao reservatório

de água do evapotranspirômetro. As leituras foram realizadas a intervalos de uma hora.

A evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) foi estimada utilizando-se o método do balanço de energia. Para a obtenção dos dados foi instalado um mastro amostrador fixo de 2,5 metros de altura. O saldo de radiação foi obtido por meio de um saldo-radiômetro; a densidade de fluxo de calor no solo foi medida com uma placa de fluxo e os gradientes de temperatura de bulbo úmido e de bulbo seco foram obtidos por meio de termopares, com aspiração forçada, instalados aos níveis de 0,80 e 1,30 metro da superfície do solo. Para a estimativa da evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>), foi utilizado um tanque Classe A, instalado na estação agrometeorológica situada próximo à área experimental.

Com base nos resultados obtidos e nas análises realizadas, pode-se dizer, a título de conclusão, que:

. A evapotranspiração obtida por meio do evapotranspirômetro (ET<sub>m</sub>) superou, invariavelmente, os valores estimados por meio do balanço de energia (ET<sub>r</sub>) nos primeiros horários da manhã e no final da tarde. Entretanto, quando se consideram os totais diários, apenas na primeira etapa os valores medidos com o evapotranspirômetro foram superiores aos estimados por meio do balanço de energia. Neste caso, a diferença entre ET<sub>m</sub> e ET<sub>r</sub> diminuiu sensivelmente, sendo observados os valores percentuais de 12,0%, -7,8% e -41,0% durante a primeira, a segunda e a terceira etapas, respectivamente, com o sinal negativo representando diferença em favor de ET<sub>r</sub>. Exceto na primeira etapa, os valores de ET<sub>r</sub> superaram aqueles obtidos com os outros dois métodos, quando se consideraram as médias em cada etapa, o que indica uma tendência em superestimar os valores da evapotranspiração real, quando se utiliza o método do balanço de energia.

- . O valor máximo da evapotranspiração potencial estimada por meio do tanque Classe A apresentou uma defasagem em relação ao máximo do saldo de radiação, ocorrendo, em mé dia, entre 14 h e 10 h.
- . Quanto à distribuição do saldo de radiação entre os di versos componentes do balanço de energia, houve forte predominância do termo LE durante todo o ciclo, especialmente no estágio de floração, quando o percentual em re lação a Rn foi de 72%, contra 52,5% e 57,9% nos estádios de pré-floração e maturação, respectivamente.
- . Nos horários do início da manhã e final da tarde, em vá rios dias, a participação de energia externa ao sistema, adicionada por advecção e/ou em virtude da inversão térmica típica desses horários, foi importante no processo de evapotranspiração. Em uma destas ocasiões, LE superou Rn em 33,3%.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

1. ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. Lysimeters. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982. 69 p. (FAO Irrigation and Drainage, Paper nº 39.)
2. ASSIS, F.N. de. O uso de evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, ESALQ, 1978. 74 p. (Tese de M.S.)
3. BERGGREN, W.P. Some consideration in the treatment of profile slopes. In: BROOKS, F.A. (ed.). Investigations of energy, momentum and mass transfer near the ground. California, University of California, 1965. 161-164 p. (Final Report.)
4. BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Agrônomicas, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, nº 7.)
5. BLUMENSCHNEIN, A.; AQUINO, A.R.L.; BLUMENSCHNEIN, F.; DALL ACQUA, F. Cultura de arroz de sequeiro, fatores afetando a produtividade. FERREIRA, M.E. YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (eds.). Piracicaba, 1983. 315 p.
6. BLUMENSCHNEIN, A.; AQUINO, A.R.L.; BLUMENSCHNEIN, F.; DALL ACQUA, F. O Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão e as pesquisas com arroz. Informe Agropecuário, 10: 114, 1984.

7. BRUTSAERT, W. Evaporation into the atmosphere, theory, history and application. London, Publishing Company, 1982. 299 p.
8. BUSINGER, J.A.; WYNGAARD, J.C.; IZUMI, Y.; BRADEY, E. F. Flux-profile relationship in the atmospheric surface layer. J. of Atmospheric Science, 28: 181-189, 1971.
9. CHANG, J.H. Climate and agriculture, an ecological survey. Chicago, Aldine Publishing Company, 1971. 304 p.
10. DOORENBOS, J. & KASSAN, A.H. Yield response to water. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 193 p. (FAO Irrigation and Drainage, Paper nº 33)
11. DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Guidilines for predicting crop water requirements. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 144 p. (FAO Irrigation and Drainage, Paper nº 24.)
12. EAGLEMAN, J.R. & DECKER, W.L. The role of soil moisture in evapotranspiration. Agronomy Journal, 57: 626-29, 1965.
13. ESPINOLA SOBRINHO, J. Análise dos termos "aerodinâmicos" "balanço de energia" da equação de Penman, para Viçosa, MG. Viçosa, Imprensa Universitária, 1983. (Tese de MS.)
14. FONTANA, C.D.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não-irrigada. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 5º, Belém, 1987. Coleção de Trabalhos, C.P.A.T.U. 1987, p. 317-319.
15. GANGOPADHYAYA, M. Measurements and estimation of evaporation and evapotranspiration. Genova, W.M.O. 1966. 121 p. (Technical Note, nº 83).
16. GRASSI, C.J. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos: criterios y procedimientos. Merida. C.I.D.I.A.T. 1968. 96 p. (Documento nº 53.)
17. HALTINER, J.G. & MARTIN, F.L. Dynamical and physical meteorology. New York, MacGraw-Hill Book, 1957. 470 p.

18. JENSEN, M.E. Consumptive use of water and irrigation water requirement. New York, American Society of Civil Engineers, 1973. 215 p.
19. LAURENCE, F.J.; PRUIT, W.O.; SERVIS, A. Energy balance and crop water requirements of rice grown in California. Davis, Dep. of Water Science and Eng. Univ. of California, 1970. 44 p.
20. LIST, R.J. Smithsonian meteorological tables. 6. ed. Washington, D.C., Smithsonian Institution Press, 1971. 527 p.
21. PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. Série A, 193: 124-45, 1948.
22. PENMAN, H.L. The dependence of transpiration on weather and soil conditions. Journal of Soil Science, 1: 74-89, 1949.
23. PRUITT, W.O. & LAURENCE, F.J. Teste of aerodynamic, Energy Balance and other evaporation equation over grass surface. In: Brooks, F.A. (ed.). Investigation of energy, momentum and mass transfer near the ground. California, University of California, 1965. p. 37-63. (Final Report.)
24. REDY, S.J.; & NETTO, S.A. Um método para estimar evapotranspiração potencial e/ou evaporação do tanque no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 19: 247-67, 1984.
25. ROSENBERG, N.J.; HOST, H.E.; BROWN, K.W. Evapotranspiration review of research. University of Nebraska, 1968. 78 p:
26. ROSENBERG, N.J.; BLAD, L.B.; VERMA, S.B. Microclimate: The biological environment. New York, John Wiley & Sons, 1984. 494 p.
27. SEDIYAMA, G.C. Estudos de métodos para estimativa da evapotranspiração potencial em Viçosa. Viçosa, Imprensa Universitária, 1972. 43 p. (Tese de MS.)
28. SEDIYAMA, G.C. Necessidade de água para os cultivos. ABEAS/PRONI, 1987. 144 p. (Curso de Engenharia da Irrigação - Módulo 4.)
29. SHAW, R.H. Curso de micrometeorologia. Piracicaba, SP, 1977. (Mimeografado.)

30. STEINMETZ, S. Agroclimatologia do arroz. Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão - EMBRAPA, 1984. 59 p. (Apostila do I Curso de Produção de Arroz - EMBRAPA/CNPAF )
31. STEINMETZ, S.; REYNIERS, F.N.; FOREST, F. Evaluation of climatic risk on upland rice in Brazil. In: Simpósio "Resistance a la secheresse en milieu intertropical: quelles recherches pour moyen terme". Dacar, 1984. 15 p. (Mimeografado.)
32. STONE, L.F.; STEINMETZ, S.; SANTOS, A.B. dos. Manejo do solo e da cultura para minimizar o efeito da deficiência hídrica na produtividade do arroz de sequeiro. Informe Agropecuário, 10: 114, 1984.
33. SUTTON, O.G. Micrometeorology. New York, MacGraw-Hill Book, 1976. 333 p.
34. TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 24: 138-41, 1960.
35. TANNER, C.B. Measurement of evapotranspiration. Agronomy, 11: 534-74, 1967.
36. TANNER, C.B. Evaporation of water from plants and soils. In: Kozlowski, T. (ed.) Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. p. 73-106.
37. THORTNWAITE, C.W. & HARE, F.K. The loss of water to the air. Meteorological Monographs, 6: 163-70, 1965.
38. VAN BAVEL, C.H.M. Lysimetric measurements of evapotranspiration rates in the eastern United States. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 24: 138-41, 1961.
39. VILLA NOVA, N.A. Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1983. 21 p. (Mimeografado.)
40. VILLA NOVA, N.A. Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, ESALQ, 1973. 83 p. (Tese de Livre Docência.)

APÊNDICE

## APÊNDICE A

QUADRO IA. Valores da Tangente à Curva de Pressão de Saturação de Vapor (S) para Temperaturas de 5 a 45°C

T (°C)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	mmHg . °C <sup>-1</sup>									
05	0,4565	0,4593	0,4621	0,4650	0,4679	0,4707	0,4736	0,4766	0,4795	0,4824
06	0,4854	0,4884	0,4914	0,4944	0,4974	0,5004	0,5035	0,5065	0,5096	0,5127
07	0,5159	0,5190	0,5221	0,5253	0,5285	0,5317	0,5349	0,5381	0,5414	0,5447
08	0,5479	0,5512	0,5546	0,5579	0,5612	0,5646	0,5680	0,5714	0,5748	0,5783
09	0,5817	0,5852	0,5887	0,5922	0,5957	0,5993	0,6028	0,6064	0,6100	0,6136
10	0,6172	0,6209	0,6246	0,6283	0,6320	0,6357	0,6394	0,6432	0,6470	0,6508
11	0,6546	0,6584	0,6623	0,6662	0,6701	0,6740	0,6779	0,6819	0,6859	0,6899
12	0,6939	0,6979	0,7020	0,7060	0,7101	0,7143	0,7184	0,7225	0,7267	0,7309
13	0,7351	0,7394	0,7436	0,7479	0,7522	0,7565	0,7609	0,7652	0,7696	0,7740
14	0,7785	0,7829	0,7874	0,7919	0,7964	0,8009	0,8055	0,8101	0,8147	0,8193
15	0,8239	0,8286	0,8333	0,8380	0,8427	0,8475	0,8523	0,8571	0,8619	0,8668
16	0,8716	0,8765	0,8814	0,8864	0,8914	0,8963	0,9014	0,9064	0,9115	0,9165
17	0,9217	0,9268	0,9319	0,9371	0,9423	0,9476	0,9528	0,9581	0,9634	0,9687
18	0,9741	0,9795	0,9849	0,9903	0,9957	1,0012	1,0067	1,0123	1,0178	1,0234
19	1,0290	1,0346	1,0403	1,0460	1,0517	1,0574	1,0632	1,0690	1,0748	1,0807
20	1,0865	1,0924	1,0984	1,1043	1,1103	1,1163	1,1223	1,1284	1,1345	1,1406
21	1,1468	1,1529	1,1591	1,1654	1,1716	1,1779	1,1842	1,1906	1,1969	1,2033
22	1,2098	1,2162	1,2227	1,2292	1,2358	1,2424	1,2490	1,2556	1,2623	1,2690
23	1,2757	1,2824	1,2892	1,2960	1,3029	1,3097	1,3166	1,3236	1,3305	1,3375
24	1,3446	1,3516	1,3587	1,3658	1,3730	1,3802	1,3874	1,3946	1,4019	1,4092
25	1,4166	1,4240	1,4314	1,4388	1,4463	1,4538	1,4613	1,4689	1,4765	1,4841
26	1,4918	1,4995	1,5072	1,5150	1,5228	1,5306	1,5385	1,5464	1,5544	1,5623
27	1,5703	1,5784	1,5864	1,5946	1,6027	1,6109	1,6191	1,6273	1,6356	1,6440
28	1,6523	1,6607	1,6691	1,6776	1,6861	1,6946	1,7032	1,7118	1,7204	1,7291
29	1,7378	1,7466	1,7554	1,7642	1,7731	1,7820	1,7909	1,7999	1,8089	1,8180
30	1,8271	1,8362	1,8453	1,8546	1,8638	1,8731	1,8824	1,8918	1,9012	1,9106
31	1,9201	1,9296	1,9391	1,9487	1,9584	1,9680	1,9778	1,9875	1,9973	2,0071
32	2,0170	2,0269	2,0369	2,0469	2,0569	2,0670	2,0771	2,0873	2,0975	2,1077
33	2,1180	2,1283	2,1387	2,1491	2,1595	2,1700	2,1806	2,1912	2,2018	2,2124
34	2,2232	2,2339	2,2447	2,2555	2,2664	2,2773	2,2883	2,2993	2,3104	2,3215
35	2,3326	2,3438	2,3551	2,3664	2,3777	2,3890	2,4005	2,4119	2,4234	2,4350
36	2,4466	2,4582	2,4699	2,4817	2,4934	2,5053	2,5171	2,5291	2,5410	2,5530
37	2,5651	2,5772	2,5894	2,6016	2,6138	2,6261	2,6385	2,6509	2,6633	2,6758
38	2,6884	2,7010	2,7136	2,7263	2,7390	2,7518	2,7647	2,7775	2,7905	2,8035
39	2,8165	2,8296	2,8427	2,8559	2,8692	2,8824	2,8958	2,9092	2,9226	2,9361
40	2,9497	2,9633	2,9769	2,9906	3,0044	3,0182	3,0320	3,0460	3,0599	3,0739
41	3,0880	3,1021	3,1163	3,1305	3,1448	3,1592	3,1736	3,1880	3,2025	3,2171
42	3,2317	3,2463	3,2611	3,2758	3,2907	3,3056	3,3205	3,3355	3,3506	3,3657
43	3,3808	3,3960	3,4113	3,4267	3,4421	3,4575	3,4730	3,4886	3,5042	3,5199
44	3,5356	3,5514	3,5673	3,5832	3,5992	3,6152	3,6313	3,6474	3,6636	3,6799
45	3,6962	3,7126	3,7290	3,7456	3,7621	3,7787	3,7954	3,8122	3,8290	3,8458

QUADRO 2A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 15/01 - 45 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	Le (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
7:00	21,6	20,4	21,4	21,5	-0,1	3,44	-0,75	27,91	-13,96	-55,82	41,87
8:00	21,7	21,0	20,1	20,2	-0,1	3,29	-0,75	41,87	-13,96	-111,65	83,74
9:00	22,0	22,5	19,8	20,1	0,6	3,26	1,04	62,80	-20,93	-20,93	-20,93
10:00	22,4	22,7	19,6	19,9	0,1	3,24	0,45	90,71	-20,93	-48,85	-20,93
11:00	22,3	22,5	19,2	19,7	2,5	3,20	0,14	320,99	-34,89	-251,21	-34,89
12:00	22,0	22,1	18,5	19,6	11,0	3,16	0,03	334,94	-55,82	-272,14	-6,99
13:00	22,0	22,4	17,6	18,5	2,3	3,04	0,17	369,83	-104,67	-230,27	-34,89
14:00	22,2	22,7	16,8	18,2	2,8	2,97	0,14	265,16	-76,76	-167,45	-20,93
15:00	22,0	22,3	17,2	18,3	3,7	3,01	0,10	286,10	-35,89	-230,27	-20,93
16:00	22,4	22,5	19,0	18,8	-2,0	3,13	-0,14	181,43	-6,98	202,36	-34,89
17:00	22,7	22,6	18,9	19,0	1,0	3,14	0,47	83,74	-27,91	-76,76	-34,89
18:00	21,4	21,0	21,1	19,6	3,8	3,31	0,09	0,00	48,85	-41,87	-6,98

QUADRO 3A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 16/01 - 47 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	Le (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
7:00	21,2	20,9	18,6	18,1	1,67	3,07	0,27	41,87	-13,96	-20,93	-6,98
8:00	21,7	21,6	19,1	18,5	6,00	3,12	0,06	62,80	-27,91	-34,89	0,00
9:00	21,7	22,1	19,2	19,0	-0,50	3,16	-0,39	118,63	-8,85	-111,65	41,87
10:00	21,2	22,5	18,1	19,4	1,08	3,12	0,42	251,21	-62,80	-132,58	-55,82
11:00	20,6	21,9	15,7	18,2	1,92	2,92	0,22	404,72	-83,74	-265,16	-55,82
12:00	19,9	21,1	13,9	16,0	1,75	2,72	0,27	453,57	-76,76	-300,05	-76,76
13:00	21,8	22,2	16,1	17,0	2,25	2,88	0,18	383,79	-48,85	-286,10	-48,85
14:00	22,6	23,0	16,6	16,5	-0,25	2,88	-0,58	202,36	0,00	-481,48	-27,91
15:00	23,0	23,1	17,5	16,8	-7,00	2,94	-0,05	223,30	6,98	-244,23	-27,91
16:00	24,1	24,0	18,1	17,7	4,00	3,02	0,09	160,49	-6,98	-139,56	-13,96
17:00	22,0	22,1	19,4	18,1	-13,00	3,12	-0,02	41,87	34,85	-76,76	0,00
18:00	21,5	21,3	19,5	17,6	9,50	3,10	0,04	-6,98	34,85	-27,91	0,00

QUADRO 4A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 24/01 - 55 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	Le (W.m <sup>-2</sup> )	H. (W.m <sup>-2</sup> )
7:00	20,6	21,5	19,0	19,4	0,44	3,17	2,50	27,91	0,00	-6,98	-20,93
8:00	21,2	21,5	18,3	19,2	3,00	3,12	0,12	90,71	-13,96	-69,78	-6,98
9:00	20,2	21,6	16,8	18,6	1,29	3,00	0,35	258,19	-55,82	-153,52	-48,85
10:00	20,7	21,7	17,0	17,9	0,90	2,97	0,60	334,94	-55,82	-174,45	-104,67
11:00	21,2	21,6	16,4	16,8	1,00	2,89	0,53	362,86	-55,82	-202,36	-104,67
12:00	20,9	21,5	16,0	16,5	0,83	2,85	0,73	453,57	-69,78	-223,30	-160,49
13:00	20,6	21,7	15,0	15,7	0,78	2,76	0,87	404,72	-69,78	-181,43	-153,52
14:00	21,2	22,0	16,3	17,1	1,00	2,89	0,53	237,25	-62,80	-111,65	-62,80
15:00	21,5	22,3	16,6	17,3	0,88	2,92	0,64	230,27	-41,87	-118,63	-69,78
16:00	21,8	22,6	17,6	18,2	0,75	3,02	0,79	104,67	6,98	-62,80	-48,85
17:00	21,3	21,8	18,4	18,7	0,60	3,10	1,16	34,89	27,91	-27,91	-34,89
18:00	20,6	20,6	18,8	18,9	1,00	3,13	0,47	-48,85	34,89	6,98	6,98

QUADRO 5A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 12/02 - 91 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	LE (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
7:00	20,7	21,2	20,4	20,0	-0,80	3,29	-0,27	41,17	-6,98	-48,85	13,96
8:00	21,7	21,8	20,8	21,1	3,00	3,39	0,11	202,36	-34,89	-153,52	-13,96
9:00	21,9	22,4	19,8	20,8	2,00	3,30	0,18	439,61	-76,76	-307,03	-55,82
10:00	23,3	24,1	17,7	18,6	1,13	3,05	0,41	676,87	-125,60	-390,77	-160,49
11:00	23,6	24,6	16,3	17,2	0,90	2,90	0,62	746,65	-146,54	-369,83	-230,27
12:00	24,7	25,9	16,6	18,0	1,17	2,95	0,41	942,03	-139,56	-572,20	-230,27
13:00	25,4	26,2	15,9	19,0	3,88	2,97	0,10	697,80	-111,65	-530,33	-55,82
14:00	25,4	24,3	17,3	20,3	-2,73	3,31	-0,12	258,19	-48,85	-237,25	27,91
15:00	24,8	26,0	18,6	21,6	2,50	3,28	0,14	216,32	-41,87	-153,52	-20,93
16:00	23,9	25,4	19,4	22,1	1,80	3,36	0,20	160,49	-34,89	-104,67	-20,93
17:00	22,8	24,8	19,7	23,6	1,95	3,48	0,17	-34,89	6,98	-20,93	48,85
18:00	22,4	23,9	20,3	23,3	2,00	3,49	0,17	-90,71	34,89	41,87	13,96

QUADRO 6A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 13/02 - 92 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	LE (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
7:00	25,9	25,7	23,1	22,4	3,50	3,63	0,09	-41,87	6,98	34,69	0,00
8:00	27,9	28,4	23,1	22,6	-1,00	3,64	-0,38	83,74	-13,96	-111,65	41,87
9:00	28,3	28,7	22,0	21,8	0,50	3,51	-0,36	300,05	-55,82	-383,79	139,56
10:00	28,5	29,5	19,7	20,8	1,10	3,30	0,38	551,26	-111,65	-320,99	-118,63
11:00	29,1	30,0	18,3	19,5	1,33	3,13	0,32	886,21	-167,47	-488,45	-230,27
12:00	29,6	30,2	17,6	19,2	1,00	3,07	0,48	1060,66	-202,36	-753,62	-104,67
13:00	30,1	30,8	17,9	19,7	2,57	3,12	0,14	949,01	-181,43	-683,84	-83,74
14:00	29,6	30,4	17,8	20,2	3,00	3,14	0,12	565,22	-125,60	-383,79	-55,82
15:00	29,2	30,3	19,5	22,0	2,27	3,36	0,15	279,12	-69,78	-181,43	-27,91
16:00	27,8	28,3	21,7	21,1	-1,20	3,44	-0,20	132,58	-27,91	-132,58	27,91
17:00	24,4	25,4	20,6	19,8	-0,80	3,29	-0,28	55,82	-13,96	-55,82	13,96
18:00	22,9	24,2	20,4	19,8	-0,46	3,28	-0,40	-90,71	20,93	118,63	-48,85

QUADRO 7A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente aos Dias 14 e 15/02 - 93 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	LE (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
18:00	29,3	28,2	23,8	23,4	0,36	3,74	2,86	209,34	41,87	-62,80	188,41
19:00	25,5	24,5	22,3	21,8	0,50	3,53	1,30	-223,30	41,87	76,76	258,19
20:00	24,7	23,0	21,0	20,6	0,44	3,36	2,08	-216,2	41,87	55,82	230,27
21:00	23,7	22,5	20,3	19,9	0,57	3,28	1,15	-230,27	41,87	90,71	97,69
22:00	23,5	22,0	20,1	19,5	0,60	3,24	1,05	-223,30	41,87	90,71	90,71
23:00	22,9	21,1	19,7	19,0	0,78	3,19	0,67	-223,30	41,87	111,65	69,78
24:00	21,7	20,6	19,3	18,5	1,33	3,13	0,32	-223,30	41,87	139,56	76,76
1:00	21,3	19,8	18,8	18,2	0,86	3,05	0,62	-223,30	41,87	111,65	76,76
2:00	20,8	19,6	18,8	18,0	0,80	3,07	0,69	-223,30	41,87	104,67	55,82
3:00	20,5	19,3	18,4	17,7	0,78	3,04	0,73	-223,30	41,87	104,67	69,78
4:00	20,3	19,2	18,1	17,3	0,90	3,00	0,43	-223,30	41,87	125,60	27,91
5:00	20,1	20,8	18,0	17,2	0,89	2,99	0,60	-223,30	41,87	111,65	69,78
6:00	21,1	23,5	18,1	17,6	1,67	3,02	0,25	-188,41	-35,00	125,60	27,91
7:00	23,8	27,1	20,4	20,3	0,33	3,52	6,25	-62,80	-13,96	6,98	69,78
8:00	26,4	28,4	22,3	23,2	1,29	3,63	0,27	18,63	-20,93	76,76	-20,93

Continua...

QUADRO 7A, Cont.

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	LE (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
9:00	27,4	28,4	23,2	24,1	0,90	3,76	0,30	404,42	-69,80	-258,19	-76,76
10:00	27,6	28,5	20,8	21,7	1,13	3,43	0,26	530,33	-90,71	-348,90	-90,71
11:00	28,0	28,6	19,5	20,3	1,60	3,25	0,24	767,58	-125,60	-516,37	-125,60
12:00	28,2	29,2	18,1	18,9	2,00	3,09	0,19	1039,72	-153,52	-746,65	-139,56
13:00	28,6	30,0	17,4	18,3	1,50	3,02	0,28	774,56	-118,63	-509,39	-146,54
14:00	29,3	30,0	19,2	20,0	1,14	3,22	0,38	502,42	-69,80	-314,01	-118,63
15:00	29,4	29,8	20,8	21,5	1,75	3,41	0,20	279,12	-41,87	-195,38	-41,87
16:00	29,2	29,7	21,9	22,7	1,60	3,56	0,18	48,85	-6,98	-34,89	-6,98
17:00	29,4	29,7	22,9	23,5	2,00	3,69	0,16	-41,87	6,98	27,91	6,98

QUADRO 8A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 08/03 - 101 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	LE (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
7:00	24,9	26,0	22,0	22,2	0,18	3,52	-2,70	83,74	-20,93	34,90	-97,69
8:00	25,3	26,3	22,1	22,9	0,80	3,59	0,54	153,52	-41,87	-69,78	-41,87
9:00	25,3	26,2	22,7	23,5	0,89	3,67	0,44	293,08	-76,76	-153,52	-62,80
10:00	25,4	26,3	22,8	23,5	0,78	3,67	0,54	558,24	-125,60	-327,97	-104,67
11:00	25,6	26,2	21,7	22,4	1,17	3,52	0,32	509,39	-83,74	-320,99	-104,67
12:00	26,1	26,6	20,7	21,2	1,00	3,39	0,42	711,76	-69,78	-453,57	-188,41
13:00	26,9	27,3	20,1	20,6	1,25	3,30	0,32	516,37	-48,85	-355,88	-111,65
14:00	27,4	28,2	20,1	20,7	0,75	3,31	0,68	432,64	-48,85	-230,27	-153,92
15:00	27,3	28,4	20,9	22,0	1,00	3,45	0,41	439,61	-48,85	-265,16	125,60
16:00	26,1	27,3	21,8	22,8	0,83	3,55	0,51	265,16	-34,90	-153,52	76,76
17:00	25,4	26,5	22,2	23,0	0,73	3,59	0,62	167,47	-13,96	-97,69	-55,82
18:00	24,5	25,7	22,6	23,6	0,83	3,67	0,49	-13,96	13,96	0,00	0,00

QUADRO 9A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 9/03 - 102 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta Tu/\Delta Ts$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	LE (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
7:00	20,2	21,8	19,9	19,5	-0,25	3,22	-0,55	34,90	6,98	-62,80	20,93
8:00	22,4	24,3	20,3	20,8	0,63	3,34	2,94	195,38	-6,98	-48,85	-139,56
9:00	24,0	25,6	21,1	21,9	0,50	3,45	1,37	390,78	-41,87	-146,54	-202,36
10:00	24,8	26,2	22,0	22,8	0,50	3,57	0,96	397,75	-55,82	-174,45	-167,47
11:00	25,2	26,5	23,1	23,1	0,57	3,67	0,00	446,59	-55,82	-181,43	0,00
12:00	26,6	27,4	22,9	23,6	0,00	3,69	0,44	544,28	-111,65	-300,05	-132,58
13:00	27,1	27,7	22,4	23,1	0,88	3,63	0,31	641,98	-125,60	-397,75	-118,63
14:00	27,2	27,8	22,4	22,9	1,17	3,60	0,50	411,70	-76,76	-223,30	-111,65
15:00	25,9	26,6	23,0	23,5	0,83	3,70	0,61	600,11	-48,85	-341,92	-209,34
16:00	24,7	25,4	23,5	24,0	0,71	3,76	0,60	460,55	-13,96	-279,12	-167,47
17:00	23,8	24,8	22,6	23,5	0,90	3,66	0,44	286,10	-13,96	-188,41	-83,74
18:00	22,8	24,1	20,8	22,6	1,39	3,47	0,26	104,67	13,96	-69,78	-48,85

QUADRO 10A. Valores Médios Horários dos Parâmetros Necessários à Realização do Balanço de Energia Referente ao Dia 10/03 - 103 Dias após o Plantio

Hora	TSS (°C)	TSI (°C)	TUS (°C)	TUI (°C)	$\Delta TU/\Delta TS$	$\frac{\gamma+S}{\gamma}$	$\beta$	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	G (W.m <sup>-2</sup> )	LE (W.m <sup>-2</sup> )	H (W.m <sup>-2</sup> )
7:00	19,5	21,2	18,4	19,5	0,65	3,14	0,96	83,74	0,00	-41,87	-41,87
8:00	20,6	21,9	19,3	19,9	0,46	3,22	2,08	265,16	-6,98	-83,74	-174,50
9:00	21,6	23,0	19,5	20,4	0,64	3,26	0,92	509,39	-34,89	-244,23	-230,27
10:00	22,6	23,7	20,5	21,3	0,73	3,38	0,68	537,31	-48,84	-293,10	-195,40
11:00	22,8	24,0	20,7	21,9	1,00	3,43	0,41	746,65	-104,67	-453,57	-188,41
12:00	23,4	24,2	19,0	19,8	1,00	3,19	0,46	771,76	-118,63	-404,72	-188,41
13:00	24,5	25,1	19,7	20,5	1,33	3,28	0,30	732,70	-83,74	-502,42	-132,58
14:00	25,2	25,8	20,4	20,9	0,83	3,35	0,56	488,46	-20,98	-300,10	-167,47
15:00	24,9	25,9	21,6	22,4	0,80	3,52	0,55	355,88	-13,96	-223,30	-118,63
16:00	24,0	25,1	22,3	23,1	0,73	3,62	0,61	244,23	-6,98	-146,54	-90,71
17:00	23,3	24,3	21,2	22,0	0,80	3,48	0,56	195,38	-6,98	-118,63	-69,78
18:00	22,0	23,3	20,0	21,0	0,77	3,33	0,64	13,96	-6,98	-13,96	-6,98

QUADRO 11A. Dados Obtidos na Estação Agrometeorológica do CNPAF Instalada Próximo à Área de Plantio

Mês	Temp. Média do Ar	Umidade Relativa Média	Precip. (mm)	Evapor. Tanque (mm)	Radiação Solar Global Mensal ( $10^8 \text{ J.m}^{-2}$ )
Dez.	22,8	88	226,8	163,1	6,66
Jan.	21,7	92	391,5	114,0	5,34
Fev.	23,2	76	82,2	170,0	6,76
Mar.	23,0	82	138,2	148,9	6,88

QUADRO 12A. Condições Meteorológicas Predominantes nos Dias de Observação

	Data	Precipitação (mm)	Temperatura Média do Ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Umidade Relativa do Ar (%)	Vento a 2 m (km/dia)
1ª Etapa	15/01/85	10,0	22,1	77,0	129,60
	16/01/85	1,5	22,2	64,7	241,92
	21/01/85	3,6	-	-	-
	22/01/85	14,8	20,9	82,3	-
	23/01/85	2,4	21,9	79,5	352,56
	24/01/85	2,4	22,2	78,8	317,04
2ª Etapa	12/02/85	1,0	23,7	56,5	168,48
	13/02/85	0,0	23,2	62,8	132,96
	14/02/85	0,0	24,3	44,0	119,28
	15/02/85	0,0	24,6	52,5	132,96
	16/02/85	0,0	22,0	82,3	163,20
3ª Etapa	08/03/85	7,0	22,7	82,0	131,28
	09/03/85	8,3	22,0	88,3	162,48
	10/03/85	0,6	22,6	74,0	192,72