

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO EM METEOROLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**Avaliação das Necessidades Hídricas e Manejo de
Irrigação da Cultura de Amendoim**

Autor: Luiz Antonio Candido

Campina Grande, Fevereiro de 1998

Paraíba - Brasil

Avaliação das Necessidades Hídricas e Manejo de Irrigação
da Cultura de Amendoim

Luiz Antonio Candido

Avaliação das Necessidades Hídricas e Manejo de Irrigação da Cultura de
Amendoim

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Meteorologia da Universidade
Federal da Paraíba, em cumprimento às
exigências para a obtenção do Título de
Mestre.

Área de concentração: Ciências Atmosféricas

Sub-área de concentração: Agrometeorologia

Mário de Miranda V. B. R. Leitão

Orientador

Pedro Vieira de Azevedo

Orientador

Campina Grande, fevereiro de 1998

Paraíba - Brasil



C217a Candido, Luiz Antonio.
Avaliação das necessidades hídricas e manejo de irrigação da cultura de amendoim / Luiz Antonio Candido. - Campina Grande, 1998.
75 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1998.
"Orientação : Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão, Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo".
Referências.

1. Amendoim - Cultivo. 2. Irrigação. 3. Manejo Hídrico. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Leitão, Mário de Miranda Vilas Boas Ramos. II. Azevedo, Pedro Vieira de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 633.368(043)

LUIZ ANTONIO CANDIDO


AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES HÍDRICAS E MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA
CULTURA DE AMENDOIM

APROVADO EM 26/02/98

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Universidade Federal da Paraíba


Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Universidade Federal da Paraíba


Dr. LUIZ CARLOS SILVA
Centro Nacional de Pesquisa do Algodão - CNPA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Ao meu avô

João Candido (in memória),

homem nascido e criado no campo e que dedicou sua
vida a terra e pela terra,

Aos meus pais,

Lourenço Candido e Maria Margarida Pedrosa,

pela dedicação e sacrifícios e pela oportunidade de poder
realizar este trabalho,

Aos meus irmãos,

pelo apoio e incentivo,

À minha esposa, Neves,

pelo companheirismo e compreensão,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba pela estrutura didático-científica, e apoio na realização do experimento de campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

À EMBRAPA ALGODÃO, CODEVASF e HIDROSERVICE, pelo apoio financeiro, material e profissional na execução do experimento de campo.

Aos doutores MÁRIO DE MIRANDA V. B. R. LEITÃO e PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO, pela orientação e definição do experimento de campo.

Aos membros convidados da BANCA EXAMINADORA, pelas sugestões apresentadas para melhoria deste trabalho.

Aos pesquisadores MALAQUIAS DA SILVA AMORIM NETO, JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO e JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA, pela colaboração na execução do experimento de campo e repasse de experiências e material bibliográfico.

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas pela atenção e amizade, em especial ao Dr. TANTRAVAHU VENKATA RAMANA RAO.

A todos àqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

No Nordeste brasileiro é cada vez maior o uso da irrigação no manejo agrícola, o que exige como orientação, o conhecimento das necessidades hídricas das culturas. Diante disto, foi conduzido um experimento com uma nova cultivar de amendoim, a **BR1**, durante a estação de cultivo de 1996, em Rodelas-Ba. A pesquisa objetivou identificar o método de estimativa da evapotranspiração mais adequado às condições de cultivo do amendoim, como também, determinar as necessidades hídricas da cultura ao longo do ciclo fenológico e fornecer subsídios à otimização de sua irrigação. No centro de uma área de 2 hectares plantada com amendoim, foi montada uma torre micrometeorológica equipada com um sistema "data logger", efetuando leituras instantâneas dos parâmetros ambientais. O consumo hídrico da cultura foi monitorado por meio de dois evapotranspirômetros de lençol freático constante, e o valor máximo diário foi 11mm/dia na fase de maturação da semente, totalizando 632,2mm em todo o ciclo vegetativo. A disponibilidade hídrica no solo afetou em cerca de 30% o crescimento das plantas no campo, comparado as plantas dos evapotranspirômetros. A variação diária dos parâmetros ambientais evidenciou a ocorrência freqüente de advecção de ar quente e seco, sempre associada a fortes ventos. Os modelos de estimativa da evapotranspiração evidenciaram uma tendência de superestimativa de ET na fase inicial de desenvolvimento e subestimativa na fase final. Segundo a análise estatística, o método de Penman-Monteith apresentou melhor ajuste em relação aos dados observados ($r^2=0,74$), podendo haver melhoras quando se aplicar variáveis culturais mais representativas do período diário. Na estimativa da ET_o , apesar do bom ajuste do método do tanque Classe "A" ($r^2=0,89$), o método Penman-Monteith-FAO foi o que apresentou resultados mais consistentes. Por causa das condições ambientais, os valores do k_c obtidos foram superiores aos da literatura, e indicaram uma subdivisão na fase de floração. A irrigação do amendoim na região de Rodelas-Ba, deve ser feita no período da manhã, com lâminas dependentes da eficiência do sistema e baseada no coeficiente de cultivo resultante do método Penman-Monteith-FAO.

ABSTRACT

The use of irrigation in the Brazilian Northeast region has been increasing, what requires, as an advise the acknowledge of crops water requirements. So that, it was conducted a field experiment with a new peanut cultivar, the **BR1**, during the 1996 growing season, in Rodelas-Ba. The research had the objective of identifying the evapotranspiration estimation method most appropriated to the peanut cropping conditions, as well as to determine the crop water requirements for its whole growing cycle and to provide allowance to the its irrigation efficiency. A micrometeorological tower was installed in the center of a 2ha peanut growing area with measurements of the instantaneous environmental parameters been taken by a data logger system. The crop water consumption was daily measured by two constant water table evapotranspirometers. The maximum evapotranspiration daily value it was 11mm/day in the seed maturity phenological phase, reaching 632,2mm in the whole growing cycle. The soil available water affected in about 30% the plants growth of the field, in comparison with the plants of the evapotranspirometers. The daily change of the environmental parameters showed a frequent occurrence of hot and dry air advection, always associated to strong winds. The model for estimating the evapotranspiration showed a tendency for overestimating ET in the initial crop growing phase and underestimating in the final phase. According to the statistical analysis, the Penman-Monteith method presented the best adjustment to the observed data ($r^2=0.74$), getting better with the use of crop variables more representatives of the daily period. Despite the good adjustment of the Class "A" pan method ($r^2=0.89$), used for estimating the reference evapotranspiration, the Penman-Monteith-FAO method showed more consistency values. Due to environmental conditions the obtained k_c values were higher than those of the literature and showed a subdivision in the flowering phase. The irrigation of the peanut crop growing in the region of Rodelas-Ba should be applied in the early morning with the water amount been established as a function of the irrigation system efficiency and based on the crop coefficient obtained by the Penman-Monteith-FAO method.

SUMÁRIO

	Pg.
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1 Considerações Sobre a Camada Limite Superficial	5
2.2 Perfil Logaritmo	7
2.3 Correção de Estabilidade Atmosférica	8
2.4 Funções Universais	10
2.5 Balanço de Energia	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Evapotranspiração	16
3.2 Parâmetros da Cultura	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Área Experimental.....	28
4.2 Instrumentos Utilizados	31
4.3 Sistemática da Coleta de Dados	35
4.4 Cálculo da Evapotranspiração.....	36
4.5 Determinação do Coeficiente de Cultivo	43

(cont.)	pg.
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1 Altura da Cultura e Índice de Área Foliar.....	45
5.2 Temperatura Foliar.....	49
5.3 Temperatura, Umidade Relativa e Velocidade do Vento.....	51
5.4 Parâmetros Radiativos e Fluxos de Vapor d'água	55
5.5 Análise de Estabilidade	58
5.6 Evapotranspiração da Cultura.....	58
5.7 Evapotranspiração de Referência	63
5.8 Coeficiente de Cultivo.....	66
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	69
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

LISTA DE SÍMBOLOS

S	- uma propriedade qualquer (calor, quantidade de movimento, vapor d'água)
F_s	- fluxo vertical da propriedade S
n	- direção normal ao gradiente de S
K_s	- fator de proporcionalidade
K_m	- coeficiente de difusividade turbulenta para quantidade de movimento
K_h	- coeficiente de difusividade turbulenta para calor
K_w	- coeficiente de difusividade turbulenta para vapor d'água
c_p	- calor específico do ar a pressão constante
L	- calor latente de vaporização da água
u	- velocidade do vento
T	- variável temperatura
q	- umidade específica
z	- altura
k	- constante de Von Kármán
u_*	- velocidade de fricção
τ	- fluxo vertical de quantidade de movimento
H	- fluxo vertical de calor sensível
LE	- fluxo vertical de vapor d'água
ρ	- densidade do ar
ϕ_m	- função universal para quantidade de movimento
ϕ_w	- função universal para vapor d'água
ϕ_h	- função universal para calor
ζ	- escala de similaridade
g	- aceleração da gravidade
ζ	- parâmetro de estabilidade atmosférica
Ri	- número de Richardson
θ	- temperatura potencial
∂	- derivada parcial
R_n	- saldo de radiação

G	- fluxo de calor no solo
A	- energia advectada
P'	- energia para a fotossíntese
β	- razão de Bowen
IAF	- índice de área foliar
ET _o	- evapotranspiração de referência
k _p	- coeficiente de tanque
UR	- umidade relativa
FT	- distância do tanque em relação a bordadura do campo
P	- pressão atmosférica
γ	- parâmetro psicométrico
e	- pressão parcial de vapor d'água
T _a	- temperatura do ar
T _u	- temperatura úmida
e _s	- pressão de saturação do vapor d'água
r _a	- resistência aerodinâmica
ET _c	- evapotranspiração da cultura
r _c	- resistência da cultura
Δ	- inclinação da curva de saturação do vapor d'água
h _c	- altura da cultura
d	- deslocamento do plano zero
Z _{om}	- parâmetro de rugosidade para quantidade de movimento
Z _{oh}	- parâmetro de rugosidade para calor e vapor d'água
Ψ_{om}	- correção de estabilidade para quantidade de movimento
Ψ_{oh}	- correção de estabilidade para calor e vapor d'água
k _c	- coeficiente de cultivo
R _g	- radiação global incidente
E _p	- evaporação do tanque Classe "A"
r ²	- coeficiente de determinação
a, b	- constantes
\bar{Y}	- erro padrão de valores estimados
X	- variável independente
Y	- variável dependente

- be - método da razão de Bowen
- ar - método aerodinâmico
- pm - método de Penman-Monteith
- pmf - método de Penman-Monteith-FAO
- ca - método do tanque Classe "A"

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
Fig. 4.1 - Localização geográfica do município de Rodelas no Estado da Bahia (área hachuriada no mapa), e setorização mostrando divisas com municípios vizinhos.....	29
Fig. 4.2 - Foto do amendoim BR1 após o arranque das plantas, na fase de secagem das vagens ao sol.	30
Fig. 4.3 - Vista da torre micrometeorológica com os instrumentos usados para monitorar os parâmetros ambientais, localizada ao centro da plantação de amendoim.	33
Fig. 4.4 - Vista frontal dos dois evapotranspirômetros localizados em meio a plantação, juntamente com o sistema de abastecimento de água construído ao lado do campo.	34
Fig. 5.1 - Comportamento estacional da altura do amendoim (cv. BR1) na condição de irrigação no campo e nos evapotranspirômetros (Rodelas - Ba, 1996).	47
Fig. 5.2 - Comportamento estacional do IAF estimado para o amendoim (cv.BR1) na condição de irrigação no campo e nos evapotranspirômetros (Rodelas - Ba, 1996).....	47
Fig. 5.3 - Comportamento da temperatura foliar ao longo da estação de cultivo na condição de irrigação no campo e nos evapotranspirômetros, para os horários de 9, 12 e 15h (Rodelas - Ba, 1996).	50

Fig. 5.4 - Comportamento diário da temperatura do ar (T_a) e úmida (T_u), velocidade do vento a 2m (u) e umidade relativa (UR), para os dias 15 de outubro, 11 e 29 de novembro e 11 de dezembro (Rodelas - Ba, 1996).....	52
Fig. 5.5 - Comportamento da radiação global incidente (R_g), saldo de radiação à superfície (R_n), fluxo de calor no solo (G), evapotranspiração da cultura (ET_c) e evaporação do tanque Classe "A" (E_p), durante a estação de cultivo (Rodelas - Ba, 1996).....	56
Fig. 5.6 - Comportamento da evapotranspiração da cultura medida (ET_c) e estimada segundo os métodos: da razão de Bowen (ET_{c-be}), aerodinâmico (ET_{c-ar}) e Penman-Monteith (ET_{c-pm}), durante a estação de cultivo (Rodelas - Ba, 1996).....	59
Fig. 5.7 - Dispersão dos valores diários da evapotranspiração da cultura no período de formação das vagens e maturação da semente, referente aos métodos: a) razão de Bowen, b) aerodinâmico e c) Penman-Monteith.....	61
Fig. 5.8 - Comportamento da evapotranspiração de referência obtida via método do tanque Classe "A" (ET_o-ca) e Penman-Monteith- FAO (ET_o-pmf), ao longo da estação de cultivo (Rodelas - Ba, 1996).....	65
Fig. 5.9 - Comportamento estacional dos valores médios do coeficiente de cultivo, obtidos para o período de cinco dias, segundo as estimativas da ET_o via método do tanque classe "A" (k_c-ca) e Penman-Monteith-FAO (k_c-pmf) (Rodelas - Ba, 1996).....	68

LISTA DE TABELAS

	Pg.
Tab. 5.1 - Comparação entre os valores do índice de área foliar medido por Silva (1997) e estimado segundo a equação (4.14), em intervalos de dias após a semeadura (DAS) (Rodelas - Ba, 1996).	48
Tab. 5.2 - Análise estatística entre o índice de área foliar medido por Silva (1997) e estimado em função da altura da cultura... ..	48
Tab. 5.3 - Resultado da análise de regressão entre a evapotranspiração obtida pelos métodos: aerodinâmico (ET_c -ar), Penman-Monteith (ET_c -pm), e razão de Bowen (ET_c -be), com a medida nos evapotranspirômetros.. ..	63
Tab. 5.4 - Resultado de regressão da estimativa da ET_o referente aos métodos do tanque classe "A" (ET_o -ca) e Penman-Monteith-FAO (ET_o -pmf), para o período de formação das vagens e maturação da semente.....	66
Tab. 5.5 - Valores médios de k_c para as diferentes fases de desenvolvimento do amendoim, segundo a ET_o obtida via método do tanque classe "A" e Penman-Monteith-FAO, juntamente com os resultados de Kassam et al. (1975) (Rodelas - Ba, 1996)	67

1 - INTRODUÇÃO

Dentre os diversos recursos naturais a que o homem tem acesso, a água apresenta-se como um dos mais essenciais à sua sobrevivência. Na elaboração de suas variadas atividades o homem necessita da água e essa exigência cada vez maior dos recursos hídricos tem gerado problemas não apenas de escassez, mas também de redução da sua qualidade. Uma das atividades em que se consome mais a água é a agricultura irrigada, responsável por boa parte da produção de alimentos entre outros produtos. A ocorrência dos períodos de longa estiagem na região semi-árida do Nordeste brasileiro, associada a alta disponibilidade de energia que favorece a diminuição do nível de água nos reservatórios, torna a agricultura de grandes áreas um fator de risco, enquanto a agricultura de subsistência que é explorada pelo pequeno agricultor, não apresenta rentabilidade de modo a evitar a migração do agricultor para a cidade. Para manter o pequeno agricultor no campo e restaurar a produção agrícola no semi-árido, projetos de irrigação vêm sendo implantados em toda a região. Esses projetos dividem os campos em lotes ou áreas produtivas distribuídas com os pequenos agricultores, usufruindo de sistemas de irrigação apoiados em mananciais de grande capacidade. Tendo em vista a aparente fonte "inesgotável" de água, nesses projetos não há uma preocupação com o uso

racional da mesma. Segundo Mota (1995), só a ocupação de extensas áreas por projetos de irrigação pode gerar grandes mudanças nas características das mesmas. Este autor afirma ainda que o problema da salinização do solo, devido a irrigação, deve ser considerado, principalmente no semi-árido nordestino, em virtude deste apresentar condições climáticas favoráveis. Os sais que ficam na camada superficial do solo, é resultado da evaporação da água, quase sempre aplicada em excesso. Quando a salinidade atinge um nível elevado, as culturas são prejudicadas e o solo torna-se inapto à prática agrícola. Portanto, no uso racional da água devem ser considerados uma série de fatores, dentre os quais o tipo de solo, a cultura e as condições climáticas são os mais importantes.

No cultivo agrícola, no que se refere ao manejo de irrigação, a base para a quantificação da água a ser aplicada a uma dada cultura é comumente associada a capacidade da superfície, como um todo (solo e vegetação), de perder água para a atmosfera em determinada condição climática. A forma usual de se quantificar a água a ser aplicada ao longo do ciclo da cultura, é considerar os processos de evaporação do solo e de transpiração da planta, conjuntamente, no que se denomina *evapotranspiração*. Na determinação da evapotranspiração das áreas cultivadas, têm sido usadas várias técnicas de medida e modelos de estimativa. As medidas são obtidas por meio de tanques evapotranspirométricos ou lisímetros. Os modelos são expressões algébricas que tentam descrever os processos físicos relacionados com o fluxo de vapor d'água em termos de variáveis climáticas e da vegetação. Por causa da alta sensibilidade da evaporação e da transpiração às variações microclimáticas, a magnitude da evapotranspiração varia no tempo e no espaço. Esta é a razão pela qual muitos

métodos de estimativa não são precisos. Uma outra razão é que a maior parte dos modelos são aplicados para períodos longos, superiores a um dia, baseados em informações de parâmetros meteorológicos obtidos por instrumentos nem sempre calibrados e passíveis a erros de leitura. Desta forma, não é comum ter-se estimativas de evapotranspiração geradas a partir de informações instantâneas dos parâmetros ambientais, que forneçam, de forma mais precisa, as variações diárias da perda de água pelas superfícies cultivadas. Ao aplicar estes dados aos modelos, espera-se obter estimativas mais representativas da transferência de água da superfície cultivada para a atmosfera.

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos no Nordeste brasileiro, a fim de obter modelos de melhoria da produtividade em função da quantidade de água aplicada. No entanto, nenhuma informação existe a respeito do consumo hídrico da planta de amendoim nas condições climáticas do semi-árido nordestino. A obtenção dessa importante informação não só racionaliza o uso da água, através de um planejamento de irrigação adequado às diferentes fases de desenvolvimento da cultura, como também, evita o desperdício de insumos no controle de ervas daninhas e pragas, possibilitando maior rentabilidade na produção. Com vista a obter estas informações, foram feitas medidas e estimativas da evapotranspiração do amendoim ao longo da estação de cultivo.

A superfície em estudo é uma área cultivada com amendoim sob condições irrigadas. Diante da implantação de perímetros irrigados e agrovilas ao longo do rio São Francisco, o cultivo do amendoim foi ampliado, e a tradicional prática da agricultura de sequeiro foi substituída pela irrigada. Segundo Barros et al. (1993), apesar do cultivo de amendoim ter se expandido, a produção ainda é

baixa, devido, principalmente, a falta de tecnologia de aperfeiçoamento na produção da cultura.

O presente estudo objetivou identificar o método de estimativa da evapotranspiração mais adequado às condições de cultivo do amendoim, visando comparar os resultados com medidas efetuadas no campo através de tanques evapotranspirométricos de lençol freático constante, e assim descrever as necessidades hídricas da cultura em cada estágio fenológico de seu desenvolvimento, por meio da determinação do coeficiente de cultivo, fornecendo subsídios à otimização da irrigação.

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Considerações Sobre a Camada Limite Superficial

A camada superficial é a parte mais baixa da camada limite atmosférica, onde os fluxos de calor, momento e vapor d'água são considerados invariáveis com a altura. Nesta camada, as interações do ar com a superfície são mais fortes e relativamente rápidas. O ar ao escoar por sobre a superfície poderá tornar-se turbulento ou irregular, devido aos efeitos de fricção gerados pela rugosidade da superfície e pelos efeitos de estratificação térmica.

O retardamento do movimento do ar pela superfície favorece a uma contínua absorção da quantidade de movimento do ar, que produz um fluxo descendente de momento. Esta quantidade de movimento que é transferido para baixo diretamente da camada para a superfície exerce uma força de arraste ou tensão de cisalhamento (τ). Essa tensão é expressa como:

$$\tau = \rho u_*^2 \quad (2.1)$$

em que u_* é a velocidade de fricção, constante com a altura e ρ a densidade do ar.

Na teoria da relação fluxo/gradiente é assumido que a turbulência gera um fluxo vertical da propriedade S (calor, quantidade de movimento e vapor d'água), em direção ao gradiente de concentração dessa propriedade, numa taxa proporcional a este gradiente.

De forma genérica, temos:

$$F_s = -\rho K_s \frac{\partial \bar{S}}{\partial n} \quad (2.2)$$

onde K_s é o fator de proporcionalidade e F_s o fluxo de tal propriedade.

Por analogia a expressão (2.2), podemos obter equações independentes para os fluxos verticais de calor, quantidade de movimento e vapor d'água, com os seus respectivos coeficientes de proporcionalidade:

$$\tau = \rho K_m \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (2.3)$$

$$H = -\rho c_p K_h \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \quad (2.4)$$

$$LE = -\rho L K_w \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \quad (2.5)$$

em que estas equações são aproximações para a camada limite superficial. K_m , K_h e K_w são os respectivos coeficientes de difusividade turbulenta, e \bar{u} , \bar{T} e \bar{q} são as médias da velocidade do vento, temperatura e umidade específica na camada, c_p é o calor específico do ar a pressão constante, L é o calor latente de vaporização da água e z é a altura.

2.2 - Perfil Logaritmo

Experimentalmente os resultados confirmam o que teoricamente tem sido aceito por definição, que na subcamada dinâmica, em condições neutras, os perfis médios de velocidade do vento, temperatura e umidade específica, são todos função logaritmo da altura. Estes perfis, no entanto, podem sofrer modificações quando a camada de ar acima da superfície apresentar condições não-neutras.

Numa atmosfera neutra ou quase neutra, a variação da velocidade do vento com a altura é logaritma. Nestas condições, normalmente assume-se a igualdade entre os coeficientes de difusividade turbulenta, que apresentam uma variação linear com a altura. Desta forma temos:

$$K_m = K_w = K_h \quad (2.6)$$

Utilizando as equações (2.1) e (2.6) podemos rescrever a equação (2.3) na forma:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_*}{kz} \quad (2.7)$$

por integração da equação (2.7) em dois níveis z_1 e z_2 na camada, obtemos:

$$u_* = \frac{k(\bar{u}_2 - \bar{u}_1)}{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)} \quad (2.8)$$

onde k é a constante de Von Kármán ($k=0,41$), u_1 e u_2 são as velocidades do vento relativa aos dois níveis.

2.3 - Correção de Estabilidade Atmosférica

Para outras condições de estabilidade atmosférica a equação (2.7) não é aplicável. Neste caso, a variação com a altura da velocidade do vento medida em períodos curtos pode ser conhecida usando a Teoria de Similaridade para a camada limite de Monin & Obukhov (1954) citado por Dyer (1974), a qual expressa o cisalhamento do vento por meio de funções empíricas. A expressão da variação da velocidade do vento com a altura é dada por:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_*}{kz} \phi_m\left(\frac{z}{\zeta}\right) \quad (2.9)$$

em que ϕ_m é uma função universal da altura z , relativa a escala de similaridade ζ .

Obukhov (1946) citado por Businger (1973), definiu ζ como sendo uma altura de equilíbrio dependente do cisalhamento, em termos de (u_*), e do fluxo de calor sensível (H). Sua expressão matemática é da forma:

$$\zeta = \frac{u_*^3 \rho c_p T}{kgH} \quad (2.10)$$

onde g é a aceleração da gravidade, e T a temperatura do ar.

Por causa das dificuldades envolvidas na determinação de ζ , é comum utilizar um outro parâmetro de estabilidade, o número de Richardson (Ri), em substituição a $\zeta = z/\zeta$. As variáveis usadas na determinação de ζ ou Ri são todas correlacionadas de modo que teoricamente, ambos podem ser usados para caracterizar os efeitos da estabilidade atmosférica na turbulência (Brutsaert, 1982).

O número de Richardson foi definido como um parâmetro de estabilidade, baseado no equilíbrio entre a produção de energia térmica e mecânica. A vantagem de sua aplicação está em envolver gradientes que podem ser determinados experimentalmente. Sua expressão é dada por:

$$Ri = \frac{g \bar{\theta} / \partial z}{\theta (\partial \bar{u} / \partial z)^2} \quad (2.11)$$

em que θ é a temperatura potencial.

Para pequenas alturas próximas a superfície, podemos rescrever a equação (2.11) na forma:

$$Ri = \frac{g \Delta \bar{T} / \Delta z}{T (\Delta \bar{u} / \Delta z)^2} \quad (2.12)$$

Neste contexto, pode-se definir três situações bases distintas:

a) $Ri \cong 0$

A atmosfera apresenta condição de estabilidade neutra ou quase neutra. Neste caso, o perfil logaritmo do vento e a igualdade entre os coeficientes de difusividade turbulenta são válidos;

b) $Ri > 0$

A atmosfera está estavelmente estratificada, o que implica em condição de inversão térmica. Isto ocorre geralmente à noite, quando a superfície está mais fria do que o ar adjacente e o fluxo de calor sensível é descendente;

c) $Ri < 0$

Condição de instabilidade atmosférica. Ocorre comumente durante o período diurno quando a superfície está mais aquecida do que o ar, o que implica numa queda gradual da temperatura com a altura.

Comumente aceita-se que o número de Richardson varie de -0,02 a 0,02 numa atmosfera neutra, e que fora deste intervalo deve-se levar em consideração os efeitos de estabilidade ou instabilidade atmosférica. De acordo com Businger et al. (1971) o gradiente do número de Richardson, calculado a partir de perfis, e o parâmetro de estabilidade de Obukhov, obtido através de medidas dos fluxos, apresentam relação aproximadamente linear sob condição de instabilidade. E que Ri , na condição de crescente estabilidade, tende no limite ao valor de 0,21.

2.4 - Funções Universais

A natureza das funções universais ϕ_m , ϕ_w e ϕ_h , tem sido objeto de vários estudos teóricos e experimentais (Businger et al., 1971; Dyer & Hicks, 1970; Webb, 1970). Várias funções são propostas em termos de ζ ou Ri .

Para Dyer (1974) os resultados de Dyer & Hicks (1970) e Businger et al. (1971), representam provavelmente os experimentos mais satisfatórios para o caso de instabilidade, em que os fluxos turbulentos e os perfis verticais foram determinados independentemente, e em seguida relacionados com a variável ζ . No entanto, este autor considera o trabalho de Dyer & Hicks (1970) como o mais

completo e conveniente na descrição das funções fluxo-gradiente apresentando consistência com as fornecidas pela literatura.

Considerando o número de Richardson como parâmetro de estabilidade, as formas das funções universais para a condição de instabilidade são:

$$\phi_h = \phi_w = (1 - 16\text{Ri})^{-0,50} \quad (2.13a)$$

e

$$\phi_m = (1 - 16\text{Ri})^{-0,25} \quad (2.13b)$$

enquanto para a condição de estabilidade, são dadas por:

$$\phi_h = \phi_w = \phi_m = (1 - 5\text{Ri})^{-1,0} \quad (2.13c)$$

De acordo com a análise dimensional de Monin e Obukhov (1954), as expressões para os fluxos de calor, quantidade de movimento e vapor d'água, dadas por (2.3), (2.4) e (2.5), podem ser rescritas para satisfazer todas as condições de estratificação atmosférica em função do número de Richardson, na forma:

$$\tau = \rho \frac{k u_* z}{\phi_m} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (2.14)$$

$$H = -\rho c_p \frac{k u_* z}{\phi_h} \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \quad (2.15)$$

$$LE = -\rho L \frac{k u_* z}{\phi_w} \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \quad (2.16)$$

Portanto de acordo com as equações (2.14), (2.15) e (2.16), as expressões dos coeficientes de difusividade turbulenta para quantidade de movimento, calor e vapor d'água, são da forma:

$$K_m = \frac{ku_*z}{\phi_m} \quad (2.17a)$$

$$K_h = \frac{ku_*z}{\phi_h} \quad (2.17b)$$

$$K_w = \frac{ku_*z}{\phi_w} \quad (2.17c)$$

2.5 - Balço de Energia

Para se processar a partição de energia em diferentes fluxos na interface superfície-atmosfera é necessário que haja uma demanda energética disponível. A quantificação dessa energia pode ser tratada considerando-se o balanço dos fluxos que entram e saem da superfície em termos de uma equação, a equação do balanço de energia a superfície, dada por:

$$R_n = LE + H + G + P' + A \quad (2.18)$$

onde R_n é o saldo de radiação, LE o fluxo de calor latente, H é o fluxo de calor sensível e G o fluxo de calor no solo. Os termos A e P' representam as energias decorrentes da advecção horizontal de calor, e a energia usada na produção de matéria seca, respectivamente. Considerando que P é muito pequeno não

ultrapassando em média a 3% de R_n , este termo pode ser negligenciado. Por fundamentar-se no equilíbrio entre os fluxos verticais de energia, esta equação não considera os fluxos advectados. Portanto, a equação (2.18) pode ser rescrita na forma:

$$R_n = LE + H + G \quad (2.19)$$

que sob condições não-advectivas fornece resultados bastante precisos.

A soma dos termos R_n , H e G fornece a energia convertida em calor latente durante o processo de evapotranspiração. Na equação (2.19), R_n e G são obtidos com bastante precisão, no entanto, H e LE são difíceis de medir diretamente, tendo em vista, os complexos processos envolvidos. Além disso, os instrumentos existentes para medi-los, ainda são bastante onerosos. Para contornar esta dificuldade, costuma-se utilizar um parâmetro recorrente que foi definido inicialmente por Bowen (1926) citado por Rosenberg (1974), chamado *razão de Bowen* (β).

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O amendoim é uma planta dicotiledônea da família Leguminosae, subfamília Papilionoideae e do gênero *Arachis* (Gregory et al., 1973). Segundo estes autores, a espécie *Arachis hypogaea* L. é a que apresenta maior valor econômico em termos de amendoim cultivado. De acordo com Nakagawa et al. (1986), a exigência hídrica do amendoim é baixa, apresentando bom desenvolvimento em regiões com precipitação média anual em torno de 640 mm.

No Nordeste é cada vez maior o uso da irrigação e o cultivo do amendoim, fazendo-se necessário a realização de pesquisas com cultivares adequados e de melhor qualidade produtiva, que se enquadrem nas condições climáticas da região. Recentemente, realizando experimentos em alguns Estados do Nordeste brasileiro, Santos et al. (1993), avaliaram o desempenho da nova cultivar BR1, e concluíram que sob condições edafoclimáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, a cultivar BR1 supera a tradicional Tatu na produção de grãos em até 57%.

As necessidades hídricas de uma cultura segue um comportamento diferente a cada estágio de desenvolvimento, e são regidas, principalmente, pela fisiologia da cultura e pelas condições ambientais. O consumo hídrico diário da

cultura do amendoim é baixo no início do crescimento vegetativo, e máximo quando a planta aproxima-se do desenvolvimento pleno (Baldwin & Harrison, 1996). Estes autores afirmam ainda que, ao atingir um desenvolvimento foliar suficiente para cobrir toda a superfície do solo, o consumo hídrico diário do amendoim será aproximadamente igual a evaporação medida pelo tanque evaporimétrico "classe A", enquanto que após o desenvolvimento total, o consumo de água será quase que totalmente dependente dos fatores ambientais. Em experimento realizado no sudeste dos Estados Unidos, Baldwin & Harrison (1996), concluíram que para obter máxima produtividade, a cultura do amendoim necessita de 508 a 635 mm de água durante todo o ciclo. Assim, apesar do baixo consumo de água da cultura do amendoim, o seu cultivo em regiões semi-áridas e áridas, no período seco, deve dispor de um sistema de irrigação adequado, visto que raramente nestas regiões as chuvas atingem valores de 500 ou 600 mm durante o período úmido, e quando ocorre apresenta variabilidade espacial e temporal bastante acentuada.

Boote (1982) ao classificar as diversas fases de desenvolvimento do amendoim, utilizando cultivares dos grupos Spanich e Virginia, afirma que para uma eficiente irrigação deve ser considerado o estágio real de desenvolvimento da cultura. Para Baldwin & Harrison (1996), existem três períodos críticos as condições de disponibilidade de água, em que escassez ou excesso prejudicam igualmente a produção do amendoim. O primeiro compreende a fase de semeadura e germinação; o segundo a fase de formação de vagens e o terceiro a fase de maturação das vagens.

Silva et al. (1995) ao submeterem a cultura do amendoim a diferentes tratamentos de irrigação, observaram que a água aplicada influenciou no crescimento vegetal não só pela quantidade total ofertada, mas também pela frequência de irrigação empregada. Neste contexto, obtiveram o maior valor do índice de área foliar (IAF) no tratamento submetido a uma lâmina total de 700 mm, com frequência de quatro dias (IAF=4,3), e o menor valor do IAF no tratamento de 300 mm com irrigações a cada seis dias (IAF=2,7). Nos tratamentos em que foram aplicados os totais de 700 e 500 mm, com frequência de irrigação de dois e quatro dias, respectivamente, o IAF foi de 3,7.

3.1 - Evapotranspiração

O conhecimento preciso da transferência de água da superfície de solos cultivados para a atmosfera, é bastante difícil, tendo em vista os complexos processos físicos envolvidos. A opção mais comumente usada é a de medir a evapotranspiração diretamente por meio de lisímetros e/ou tanques evapotranspirômétricos. Apesar de teoricamente corretos, na prática a precisão desses instrumentos depende de como o solo e a cultura estão simulados no tanque.

Os métodos mais utilizados na determinação da evapotranspiração, fundamentam-se nas propriedades conservativas da subcamada limite acima do dossel vegetativo. Nesta camada, o processo turbulento é o mecanismo dominante, e de acordo com a teoria turbulenta, os fluxos verticais das propriedades, calor, quantidade de movimento e vapor d'água, não variam apreciavelmente com a altura e são proporcionais ao gradiente vertical da

propriedade por uma taxa de mistura. Esta taxa de mistura não depende da velocidade do vento, mas da sua variação vertical. Geralmente as estimativas são para períodos de um dia ou mais, utilizando dados climáticos médios coletados em estações meteorológicas convencionais, onde os instrumentos fornecem indicações referentes ao comportamento atmosférico em um dado horário, e portanto não trazem implícitas as configurações das variações diárias dos parâmetros ambientais.

Para Klar (1991), existe uma forte relação entre a precisão dos resultados e o período de tempo das estimativas de evapotranspiração. Segundo este autor, há evidências de que a fórmula de Penman e suas derivações se adaptam bem à avaliações de cinco, sete e dez dias. Contudo, se o saldo de radiação for medido diretamente e não estimado, o período de estimativa diminui sem haver prejuízos à precisão. Para Knapp (1985), a principal razão pela qual muitos métodos de estimativa de evapotranspiração não são particularmente precisos, é a alta sensibilidade às variações climáticas, temporais e espaciais dos processos de evaporação e transpiração.

- Método do Tanque Classe "A"

Com o surgimento da teoria da evaporação, diversos estudos foram desenvolvidos e equações estabelecidas a partir dos parâmetros ambientais envolvidos no processo. Fundamentados nos trabalhos precursores da teoria da evaporação, donde foi estabelecida a chamada "lei de Dalton", surgiram diversas formulações para avaliar o fluxo evaporativo, tendo em vista a necessidade de se

conhecer a perda de água pelas diferentes superfícies naturais. A dificuldade em obter essas informações foi contornada com o surgimento do tanque evaporimétrico que fornece a taxa de evaporação de uma superfície livre de água, em intervalos superiores a um dia. Embora existam diversos tanques, o evaporimétrico Classe "A" é considerado como padrão, e tem sido usado com grande aceitação prática na determinação da evapotranspiração de culturas irrigadas, especialmente nas regiões semi-áridas. Encarnação (1980) obteve bons resultados ao avaliar a evapotranspiração da cultura de feijão. Por meio de um evapotranspirômetro de lençol freático constante, ele verificou que as estimativas de evapotranspiração potencial pelo método do tanque Classe "A" forneceu resultados condizentes com os da literatura. Amorin Neto et al. (1985) e Azevedo et al. (1987) confirmam em seus resultados o bom desempenho das estimativas de evapotranspiração pelo tanque Classe "A" no semi-árido. Segundo eles, a evaporação medida pelo tanque para períodos superiores a um dia, é altamente correlacionada com a evapotranspiração de culturas em desenvolvimento pleno e bem supridas com água. Mesmo com a existência de métodos de estimativa mais precisos, o método do tanque consolidou-se na avaliação das necessidades hídricas de uma cultura, principalmente como orientação ao manejo da irrigação (Jensen et al., 1990).

- Método da Razão de Bowen

O balanço de energia envolve os fluxos de energia absorvidos e emitidos pela superfície, incluindo os fluxos radiativos, de calor sensível e latente, calor no solo, entre outros. Na produção de matéria seca, as culturas usam cerca

de 1% da energia disponível, raramente ultrapassando os 3%, a não ser certas plantas, como o Aguapé, que atinge 5%. Portanto, seu valor pode ser desprezível no balanço total durante o dia. No entanto, este termo é relativamente importante ao nascer e pôr do sol, quando as variações de temperatura são mais rápidas e o saldo de radiação, e os fluxos de calor sensível e latente são pequenos, apresentando ordem de magnitude equiparáveis (Klar, 1991).

Apesar de ser bastante utilizado e de grande precisão nas estimativas de evapotranspiração, o balanço de energia não considera os fluxos horizontais de calor sensível e latente gerados por advecção. Através deste método (Hanks et al., 1971), obtiveram resultados com erros variando de 20 a 30% nas estimativas, quando a advecção local apresentou-se como fator determinante.

A validade do método do balanço de energia pela razão de Bowen depende criticamente da similaridade dos perfis de temperatura e umidade, o que equivale considerar os coeficientes de difusividade turbulenta para o calor e vapor (K_h e K_w) iguais na subcamada superficial, o que comumente já é feito (Brutsaert, 1982). Vários estudos, no entanto, sugerem não ser este sempre o caso. De acordo com Verma et al. (1978), sobre condições de advecção regional este método consistentemente subestima a evapotranspiração de uma superfície vegetada bem suprida com água em relação à medida em lisímetro. Para eles, isso significa que as funções de estabilidade atmosférica ϕ_h e ϕ_w , propostas por Dyer & Hicks (1970) citado por Dyer (1974) e Businger et al. (1971), não são as mesmas em condições estáveis.

- Método de Penman-Monteith

A equação original de Penman vem sendo modificada ao longo do tempo no intuito de ampliar sua sensibilidade e precisão, apesar de nem sempre isso ocorrer. Com base nesta equação, Monteith (1965) citado por Allen et al. (1994), introduziu os termos de resistência aerodinâmica e de resistência estomática à transferência de vapor d'água, obtendo uma expressão mais completa e precisa para determinar a evapotranspiração real, ao assumir que todo o mecanismo de transferência de calor sensível e latente entre a superfície vegetada e a atmosfera ocorre em um dado nível de referência próximo a tal superfície.

Sharma (1985) considera o modelo Penman-Monteith como a mais aceitável e completa forma de equação combinada para a estimativa de evapotranspiração. Este modelo de estimativa requer grande precisão dos termos envolvidos, e portanto, é mais comumente aplicado a pesquisas. Há alguns anos, seus resultados vêm sendo comparados com os obtidos pelas diferentes formulações da equação de Penman e com medidas lisimétricas, principalmente, na determinação da evapotranspiração de referência utilizando a alfafa e a grama (Vanzyl & De Jager, 1987; Allen et al., 1989; Jensen et al., 1990).

Ao comparar os fluxos de energia medidos com os estimados segundo a equação de Penman-Monteith e os modelos multi-níveis SiB e CUPID, Inclán & Forkel (1995) observaram que a partição entre os fluxos de calor sensível e latente, estimados pela equação de Penman-Monteith, apresenta a melhor

aproximação com os valores medidos em lisímetros. Enquanto discrepâncias foram observadas nas contribuições relativas à transpiração do dossel e à evaporação do solo para o fluxo total de calor latente estimado com o SiB e CUPID.

Vanzyl & De Jager (1987), analisando a influência da estabilidade atmosférica sobre a equação de Penman-Monteith, aplicada simultaneamente em superfícies de grama e trigo, observaram não haver melhora na precisão das estimativas de evapotranspiração, ao aplicar a função de correção de estabilidade atmosférica sugerida por Webb (1970). Segundo estes autores, foram obtidos coeficientes de correlação de 0,97 para a equação não ajustada e 0,94 para a equação ajustada em relação aos valores horários medidos com lisímetro. E isso, apesar do amplo intervalo do espectro de estabilidade considerado, provavelmente está associado a erros nas medidas meteorológicas.

O surgimento de um grande número de funções e correções para a equação de Penman, tem acarretado confusões no seu uso entre cientistas e profissionais da área. Para solucionar o problema, foi definido, com base em expressivo número de experimentos, que o método de Penman-Monteith é o mais recomendado para a determinação da evapotranspiração de referência e no cálculo dos coeficientes de cultivo. A conclusão deu-se em face aos resultados extraordinários obtidos na determinação de ET_0 , avaliada em diversos locais, e também pelo fato de agregar a mais completa fundamentação física, incorporando tanto o comportamento fisiológico da vegetação quanto as características aerodinâmicas da superfície (Allen et al., 1994).

- Método Aerodinâmico

O ar ao escoar por sobre uma superfície vegetada sofre os efeitos aerodinâmicos gerados pela rugosidade, e que altera o cisalhamento do vento no nível imediatamente acima da superfície. Sobre uma área árida com superfície horizontalmente homogênea, os processos dominantes são os transportes verticais de movimento e calor sensível (Businger et al., 1971).

Os primeiros a utilizar a teoria aerodinâmica para determinar o fluxo vertical de vapor d'água foram Thornthwaite e Holzman (1942). Estes autores desenvolveram uma relação entre o perfil logaritmo do vento e o gradiente de concentração de vapor d'água que exige grande precisão na obtenção das variáveis envolvidas. Alguns pesquisadores (Munn, 1966; Businger et al., 1971; Dyer, 1974; Mahrt & Ek, 1984) sugerem correções de estabilidade atmosférica, visto que foram obtidos resultados subestimados na presença de pronunciada instabilidade. As estimativas dos fluxos de calor sensível e calor latente, usando o método proposto por Thornthwaite e Holzman (1942), segundo Thompson & Pinker (1981), requerem como prioridade o conhecimento do parâmetro de rugosidade da superfície e a variação da altura da vegetação. Se os valores destes parâmetros não forem representativos da estrutura do vento acima do dossel, erros serão então induzidos nos cálculos dos fluxos, os quais podem ser significativos, caso sejam usados valores médios, numa fase em que estes se apresentem mais variáveis.

3.2 - Parâmetros da Cultura

A perda de água pelas plantas obedece as mesmas leis que regem a evaporação da água de superfícies úmidas. A água evapora de toda a superfície externa da planta, e também de partes internas que estejam ou possam entrar em contato com o ar atmosférico. O principal meio para a troca de vapor d'água entre as folhas e a atmosfera são os estômatos. Apesar da área total de estômatos completamente abertos representar em média apenas 1% a 3% da área da folha, e a transpiração por unidade de área foliar pode atingir cerca de 50% da evaporação de uma superfície de água livre com área equivalente. A difusão do vapor d'água inicia-se nas paredes celulares limitadas com as cavidades subestomáticas, continua nos poros, passa através da camada limite, jusante a superfície foliar e alcança o meio ambiente (Lacher, 1995)

A resistência externa à difusão do vapor d'água deve-se à existência de uma fina camada limite aderente à superfície da folha. Quando essa resistência é reduzida pela ação do vento os estômatos passam a exercer papel fundamental no controle de perda de água. Devido a grande quantidade de energia necessária à mudança de fase líquido/vapor, a evaporação é um mecanismo muito eficiente na dissipação de calor. Para Blad et al. (1981) a redução da transpiração pode facilmente resultar em um aumento de 2 a 3 °C na temperatura da planta, podendo atingir até 10 °C em condições extremas. A taxa de transferência de vapor d'água de uma planta ou mesmo de uma folha, para o meio externo, varia sensivelmente no tempo e no espaço. A intensidade desta taxa resulta basicamente, da interferência nos processos fisiológicos por fatores

ambientais, como: radiação solar, umidade atmosférica, temperatura do ar, vento e disponibilidade hídrica. Os principais efeitos da radiação solar sobre a transpiração está no condicionamento da luz sobre o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos. Segundo Ferri (1985) o transporte de vapor d'água é diretamente afetado pela sua concentração na atmosfera, e sempre que os estômatos estiverem abertos, a transferência depende da diferença entre a tensão de vapor d'água nos espaços intercelulares e no meio externo.

Segundo Schulze et al. (1995) a taxa de transpiração de uma área de floresta é amplamente determinada pela condutância da vegetação e pelo déficit de saturação ambiental. Como os máximos valores de condutância da vegetação ocorrem pela manhã e os maiores valores do déficit de saturação ambiental são à tarde, a combinação da variação de ambos resulta em um evidente modelo senusoidal da transpiração durante o dia. Esses autores consideram que os estômatos respondem ao déficit de saturação na superfície da folha. Na prática, entretanto, este déficit é medido a uma mesma distância acima do dossel da planta. Isto não gera problemas quando se trata de dosséis aerodinamicamente rugosos como as coníferas e florestas onde o ar é bem misturado e há pequena variação vertical no déficit de saturação. Todavia, em baixas vegetações, como grama, que tende a ser aerodinamicamente laminar pode haver grande diferença entre o déficit de saturação medido a uma altura acima do dossel e aquele obtido exatamente acima da superfície evaporante.

A turbulência do ar acima do dossel de uma cultura é o principal mecanismo de transporte na remoção do vapor d'água da superfície das folhas.

Se esta remoção permanece continuamente sendo processada, a transpiração passa a ocorrer por mais algumas horas após o pôr do sol, em virtude da energia fornecida pelo calor sensível armazenado no ar, na cultura e no solo. Contrariamente, sob condições calmas a transpiração cessa logo após o anoitecer quando o saldo de energia torna-se negativo (Boote et al., 1982).

Embora a transpiração possa ocorrer a curtos intervalos de tempo a uma taxa apreciavelmente mais elevada do que a taxa de absorção de água pelas raízes, e se as condições de umidade do solo são tais que a absorção é reduzida, a taxa de transpiração apresentará diminuição correspondente pelo fato da própria planta assegurar seu equilíbrio hídrico em condições de estresse (Lacher, 1995). Esse autor afirma ainda que a habilidade de uma planta para regular a abertura estomática possibilita-a modular a taxa de transpiração de acordo com as exigências de seu balanço hídrico. Uma redução temporária no grau de abertura estomática pode ser gerada pelo decréscimo na intensidade da luz; entrada de ar seco, particularmente em conexão com o vento; déficit hídrico; temperaturas extremas e gases tóxicos. A resposta limiar, a rapidez e a eficiência da regulação estomática varia entre as espécies e com o grau de adaptação ao habitat. De acordo com Black & Squire (1979), o déficit de pressão de vapor na atmosfera tem forte influência na resistência estomática do amendoim irrigado. Em condições de umidade elevada, estes autores obtiveram valores de resistência estomática variando de 0,33 a 0,5 scm^{-1} .

Soegaard & Boegh (1995) afirmam que a disponibilidade de água é escassa, e muitas vezes fator limitante ao desenvolvimento das plantas no

deserto de Sahel. E em adição a esta limitação, o aumento da temperatura da folha devido ao estresse hídrico pode aumentar a respiração e favorecer o retardamento do crescimento. Segundo eles, muitos sistemas de produção da cultura do milho no deserto do Sahel tem uma baixa eficiência no uso da água, e isso deve-se, principalmente, a baixa densidade de plantas e a alta evaporação do solo. Desta forma a otimização do manejo da água em áreas áridas, necessita de um profundo conhecimento da mínima e máxima demanda hídrica a ser utilizada.

Para Boote et al. (1982) as diferenças de consumo hídrico entre as várias cultivares de amendoim, são provavelmente causadas pelos distintos tamanhos das raízes que influenciam na captura de água, e também pelo grau de cobertura do solo. Segundo estes autores, na ausência de vegetação a evaporação da água do solo representa cerca de 30 a 40% da evaporação medida no tanque classe "A".

A variação do consumo hídrico das culturas ao longo da estação de cultivo, rotineiramente é expressa em termos do coeficiente de cultivo (k_c), o qual por definição é a razão entre a evapotranspiração da cultura específica e a evapotranspiração da cultura de referência nas mesmas condições ambientais. Desta forma, o coeficiente de cultivo depende do tipo do solo e do seu teor de umidade, como também do grau de desenvolvimento e das características biológicas da cultura. Devem ser considerados ainda, o método de estimativa aplicado e as condições atmosféricas dominantes.

Goldberg et al. (1967) estimaram o coeficiente de cultivo do amendoim para um solo totalmente coberto encontrando valores variando de 0,8 a 0,9 sob condições áridas, e observaram que em virtude da ampliação da frequência de irrigação o k_c aumentou durante a fase final da estação de cultivo.

A folha do amendoim apresenta estômatos em ambas as faces, sendo que na face inferior encontra-se dois tipos de estômatos, um "tipo" normal, distribuído por toda superfície à semelhança da face superior. Outro "tipo" de dimensões bastante reduzidas em relação ao primeiro, distribui-se pelas nervuras da folha (Silva, 1997). Segundo este autor, configuração morfológica associada a fenômenos bioquímicos e fisiológicos, confere à planta do amendoim a habilidade de manter suas funções mesmo sob severo estresse hídrico. Em suas análises constatou, praticamente, as mesmas densidades estomatais em ambas as faces da folha de amendoim. Cerca de $7,2 \pm 1,0$ estômatos por $0,54\text{mm}^2$ de área foliar na face abaxial e $8,2 \pm 0,8$ estômatos por $0,54\text{mm}^2$ de área foliar na face adaxial.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

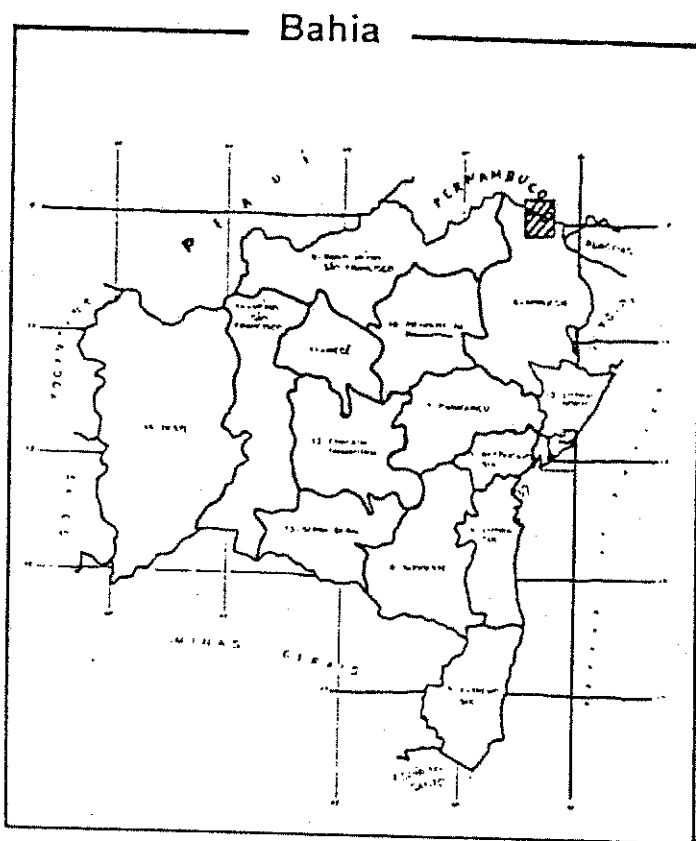
4.1- Área Experimental

- **Localização e Clima**

O experimento foi conduzido na Unidade de Observação e Demonstração (UOD) da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) no município de Rodelas - Ba ($8^{\circ} 50' S$; $38^{\circ} 45' W$; 270m, Fig. 4.1), localizada na parte semi-árida do Nordeste brasileiro às margens do rio São Francisco, no período de 18 de setembro a 23 de dezembro de 1996. A classificação climática da região, segundo os critérios de Köppen, é do tipo ***Bswh***, semi-árido quente, apresentando deficiência hídrica. A temperatura média anual é de $24,6^{\circ}C$, com máxima de $29,4^{\circ}C$ e mínima de $20,8^{\circ}C$. O período chuvoso é de janeiro a março com pluviosidade média anual de 460mm (CEI, 1994).

- **Cultura e Solo**

A área experimental correspondeu a um total de dois hectares plantados com amendoim cv. BR1 de porte ereto e ciclo de 90 a 110 dias (Fig. 4.2).



FONTE CEI

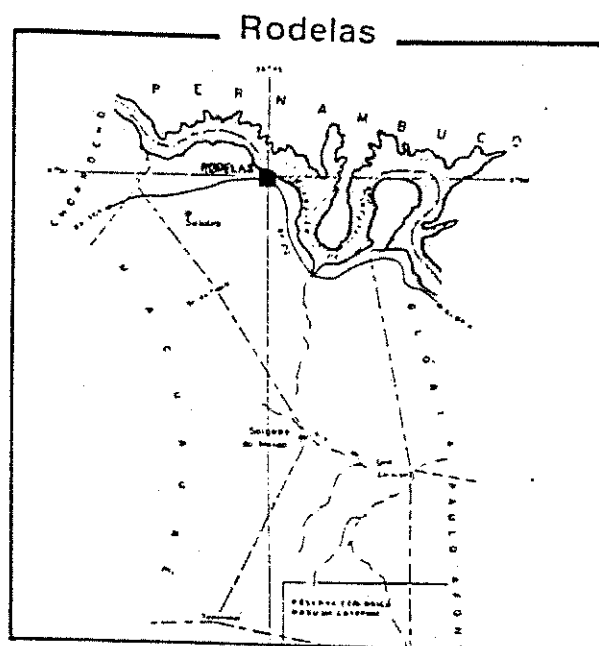


Fig. 4.1 - Localização geográfica do município de Rodelas no Estado da Bahia (área hachuriada no mapa), e setorização mostrando divisas com municípios vizinhos.



Fonte: Embrapa Algodão: <http://www.cnpa.embrapa.br/docs/amendcarac.html>

Fig. 5.2 - Foto do amendoim BR1 após o arranque das plantas, na fase de secagem das vagens ao sol.

O solo foi classificado como Regossol de textura arenosa (89,3% de areia, 3,2% de silte e 7,5% de argila), com densidade aparente de $1,5\text{g/cm}^3$ (Silva et al., 1997). Fez-se a semeadura com espaçamento entre fileiras de 0,5m e densidade populacional de dez plantas por metro linear, como recomenda Silva et al. (1993).

- Tratos Culturais

Durante o experimento, a cultura foi mantida livre de ervas daninhas, mediante realização de capina. O controle de doenças e pragas e as adubações foram realizadas de acordo com as recomendações, pelos técnicos da Embrapa Algodão.

- Irrigação

Utilizou-se um sistema fixo de irrigação por aspersão, com distância entre aspersores de 12m. A aplicação da água foi realizada considerando a eficiência do sistema aspersivo de 70%, onde os aspersores aplicavam em média uma lâmina de 8mm/hora. Com essa informação estabeleceu-se um período de tempo de 1,25h na primeira metade do experimento, e a medida que a cultura foi alcançando os estágios de maior desenvolvimento, o tempo de aplicação da irrigação foi ampliado para 2,25h, para garantir as necessidades hídricas da cultura nestas fases. Esse procedimento foi baseado nas informações de cultivos anteriores e na prática cotidiana dos agricultores da região, que recebem a orientação da Hidroservice. A frequência de irrigação foi de 2(dois) dias, e obedecia o período de funcionamento da estação moto-bomba, que fornecia água aos lotes a partir das 6h da manhã e finalizava por volta das 16h, a tarde, sempre da segunda ao sábado. Foi constatado na prática, que os arrendatários dos lotes faziam suas irrigações sem horário definido e durante um intervalo de tempo bastante superior, talvez por que a irrigação por aspersão, como constatado, apresentava baixa eficiência se não aplicada em excesso.

4.2 - Instrumentos Utilizados

Os parâmetros ambientais acima da superfície foram monitorados por instrumentos montados em uma torre situada no centro da plantação. A leitura destes instrumentos deu-se através de um sistema automático de aquisição de dados do tipo Micrologger 21X da Campbell Cientific. A torre foi equipada com os seguintes instrumentos (Fig. 4.3):

- Dois psicrômetros de ventilação natural, à base de sensores termopares de cobre-constantan, instalados a um e dois metros acima da superfície, fornecendo as temperaturas do ar e úmida;
- Um piranômetro do tipo Estrela da Eppley, situado no topo da torre, fornecia a radiação solar global incidente à superfície;
- Um saldo radiômetro da Micromet Instruments, instalado a um metro acima da superfície fornecia o saldo de radiação;
- Um piranômetro do tipo PSP da Appley, colocado na posição invertida a um metro de altura do solo e destinado à medição da radiação solar refletida pela superfície;
- Um fluxímetro da Micromet Instruments, enterrado a um centímetro de profundidade, monitorava o fluxo de calor armazenado no solo;
- Dois anemômetros Young modelo 03002 da M. R. Y, dispostos a um e dois metros de altura, forneciam a velocidade do vento.

Na estação meteorológica localizada a oeste da plantação, foram instalados os seguintes instrumentos: tanque evaporimétrico "Classe A", pluviômetro; anemômetro totalizador a 0,5m do solo e barômetro (instalado no escritório).

As medidas da evapotranspiração foram obtidas por meio de dois tanques evapotranspirométricos de lençol freático constante (Fig. 4.4), com área de 2,25m² cada, apresentando a mesma configuração de plantio da área externa. O comportamento fisiológico da cultura foi monitorado a partir do dia 23 de outubro, época em que as folhas já estavam aptas à medições porométricas, prolongando-se até o final do experimento. Para tal, utilizou-se um porômetro de

difusão modelo LI -1600 da Licor, com o qual foram realizadas medições de: fluxo de ar na câmara porométrica (cm^3/s), temperatura na referida câmara ($^{\circ}\text{C}$), temperatura da folha ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar na câmara (%), PAR ($\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{s}$); condutância estomática (cm/s) e transpiração da folha ($\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$).

O crescimento da cultura foi acompanhado através de medições semanais da altura de duas plantas por ponto, ao longo de dez pontos na plantação, e dois pontos dentro dos evapotranspirômetros.

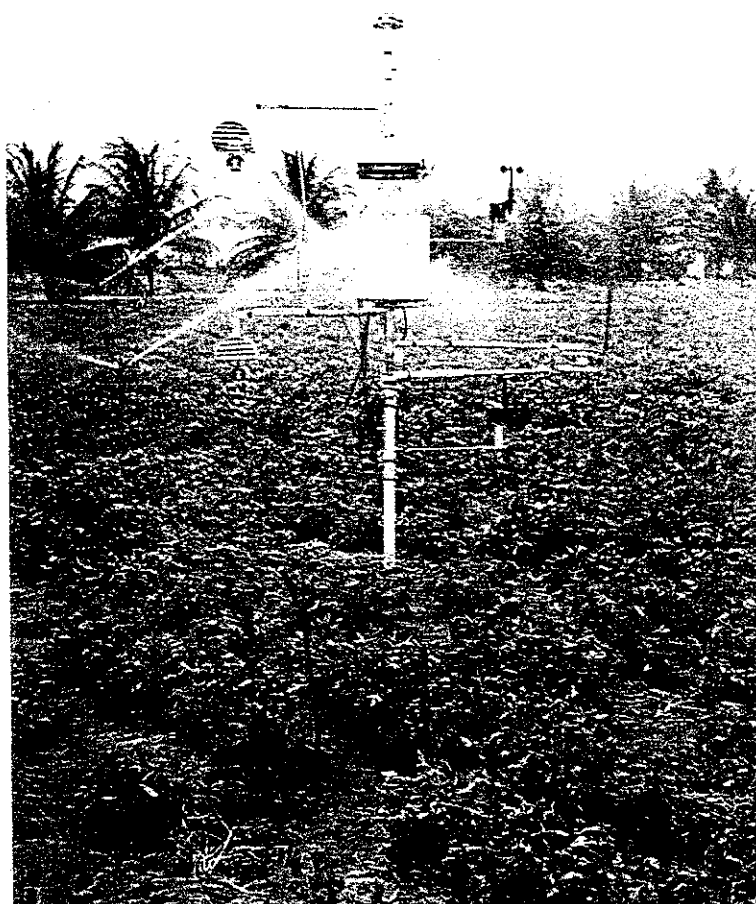


Fig. 4.3 – Vista da torre micrometeorológica com os instrumentos usados para monitorar os parâmetros ambientais, localizada ao centro da plantação de amendoim.

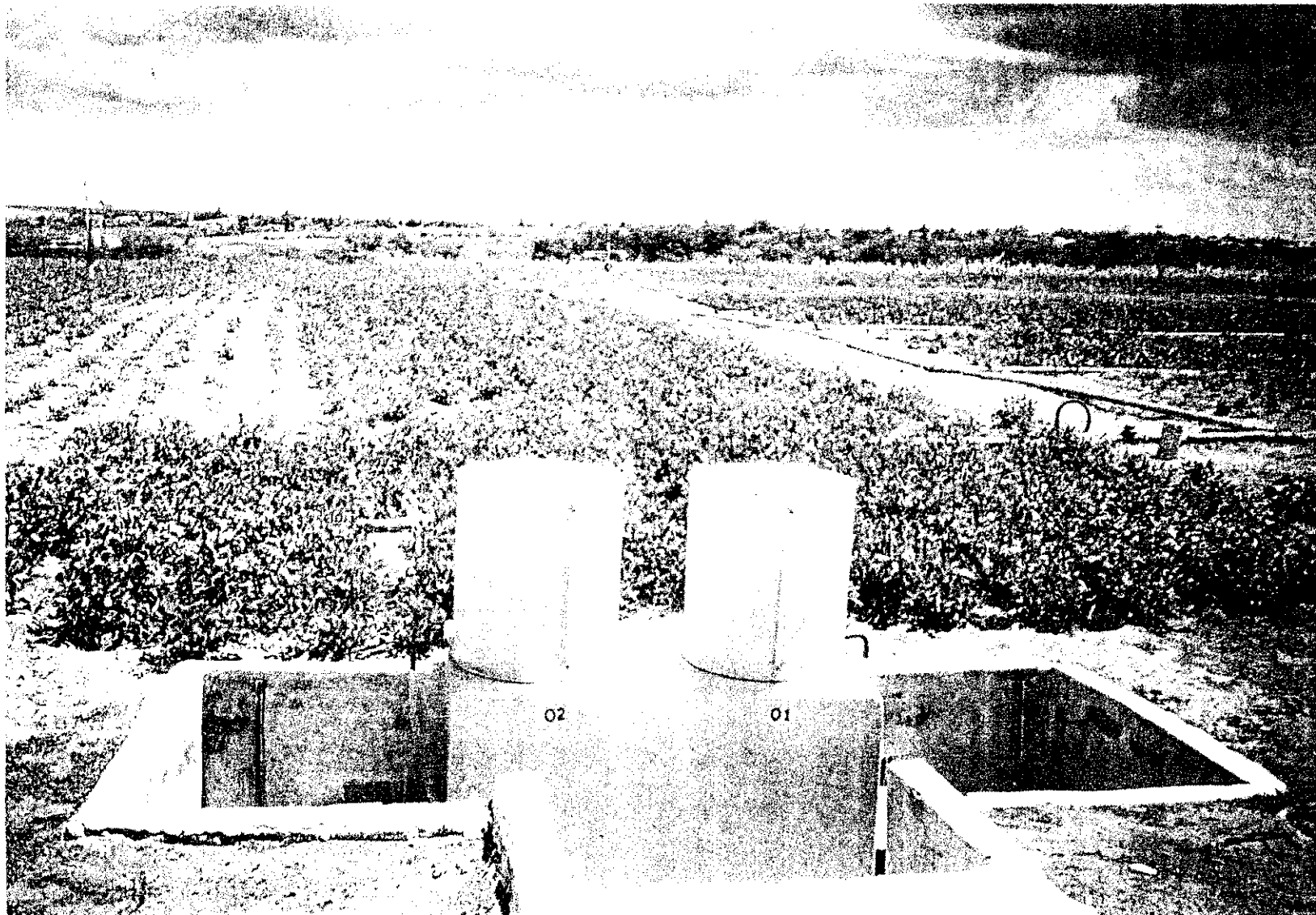


Fig. 4.4 - Vista frontal dos dois evapotranspirômetros localizados em meio a plantação, juntamente com o sistema de abastecimento de água construído ao lado do campo.

4.3 - Sistemática de Coleta de Dados

- Aquisição Automática

O sistema automático de aquisição de dados (Micrologger 21X) foi programado para gerar médias de 5 em 5 minutos, a partir de leituras efetuadas a cada segundo. Os dados ficavam armazenados na memória do sistema, e a cada dois dias eram coletados por meio de módulos, memória portátil, e destes transferidos para arquivos em computador. O funcionamento dos sensores foi monitorado diariamente como forma de corrigir possíveis interrupções nas leituras. O sistema permaneceu operante no período de 21 de setembro a 22 de dezembro de 1996, com o intuito de avaliar o comportamento dos parâmetros atmosféricos, desde a situação de solo nu até a de completo desenvolvimento da cultura.

- Leituras Diretas

Nos instrumentos de leitura direta, foram aplicadas diferentes sistemáticas de coleta de dados para atender aos objetivos específicos do estudo. Diariamente, no período de 21 de setembro a 23 de dezembro foram realizadas leituras, às 9h, dos parâmetros: evapotranspiração, evaporação, velocidade do vento ao nível de 0,5m, precipitação e pressão atmosférica. Nas medidas com o porômetro (iniciadas no dia 23 de outubro) foram selecionadas doze plantas representativas da configuração média do desenvolvimento da cultura, tanto no campo quanto nos tanques evapotranspirôométricos. Efetuaram-se tais medidas em duas folhas por planta (correspondendo a um total de 20 folhas), sempre na face adaxial de folhas insolaradas e não-insolaradas, como forma de obter uma

média mais representativa do comportamento fisiológico da cultura. Os parâmetros: temperatura do ar na câmara, temperatura da folha, condutância estomática e transpiração na folha foram medidos três vezes ao dia nos horários de 9, 12 e 15 h, juntamente com a pressão atmosférica.

4.4 – Cálculo da Evapotranspiração

Na determinação da evapotranspiração da cultura, foram utilizados três métodos: *razão de Bowen*, *aerodinâmico* e *Penman-Monteith*. Enquanto na estimativa da evapotranspiração de referência foram utilizados os métodos *Penman-Monteith-FAO* e do *tanque Classe "A"*. Com as informações dos parâmetros ambientais coletados acima do dossel, procedeu-se a determinação da evapotranspiração da cultura, utilizando o intervalo de tempo em foram geradas as médias, ou seja, cinco minutos. Ao adotar tal metodologia observou-se que as flutuações, geradas principalmente pela proximidade entre os níveis (1 e 2m) de medida, prejudicaram um pouco os resultados, o que exigiu algumas correções. Em associação, a baixa estatura da cultura contribuiu ainda mais para que tais problemas ocorrem, o que na prática não era esperado. Desta forma, o ideal é, ao utilizar os métodos micrometeorológicos, definir o nível inferior o mais próximo possível do dossel para que haja uma melhor aplicação dos modelos e definir um intervalo de tempo superior a meia hora na coleta dos dados. Em face a proximidade entre a plantação e estação meteorológica, considerou-se nas estimativas da evapotranspiração de referência, os dados coletados pela estação automática ao nível de dois metros. Ou seja, as diferenças entre as condições ambientais na área cultivada e no abrigo meteorológico foram desprezadas. Isso

foi estipulado, ao observar que os parâmetros ambientais coletados na torre central, em comparação com os coletados numa torre a meia distância do abrigo meteorológico, não diferiram muito.

- Método do tanque Classe "A"

Dispondo da evaporação medida por meio do tanque evaporimétrico Classe "A", estimou-se a evapotranspiração de referência, que segundo a FAO é a perda de água de uma superfície coberta por grama de 0,12m de altura, em desenvolvimento ativo e bem suprida de água (Allen et al. 1994). Nestas condições apenas os parâmetros ambientais determinam a evapotranspiração da superfície. O fator de conversão de evaporação para evapotranspiração, é chamado coeficiente de tanque (k_p), que segundo Jensen et al. (1990), é função da umidade relativa, da velocidade do vento, e do local em que o tanque está exposto, possuindo ainda uma certa interação com a radiação incidente. Pereira et al. (1995) ressaltam que o uso dos dados da evaporação do tanque Classe "A" é uma ferramenta bastante prática na estimativa da evapotranspiração de referência, desde que sejam adequadamente calibrados, e define um modelo para k_p com base na equação de Penman-Monteith considerando a grama como cultura de referência. As estimativas de k_p aqui obtidas foram baseadas na solução polinomial dada por Frevert et al. (1983), na forma:

$$k_p = 0,475 - 0,24 \cdot 10^{-3}(u_2) + 0,516 \cdot 10^{-2}(UR) + 0,118 \cdot 10^{-2}(FT) - 0,16 \cdot 10^{-4}(UR)^2 - 0,101 \cdot 10^{-5}(FT)^2 - 0,8 \cdot 10^{-8}(UR)^2(u_2) - 0,1 \cdot 10^{-7}(UR)^2(FT) \quad (4.1)$$

onde: u_2 é a velocidade do vento a 2m (Km/dia); UR a umidade relativa (%) e FT a distância do tanque em relação a bordadura do campo (m).

- Método da Razão de Bowen

Bowen (1926) citado por Rosenberg (1974), considerou que o fluxo de calor entrando na superfície constitui apenas uma pequena fração de R_n , quando a umidade do solo é não-limitante, e fracionou o saldo de energia entre os fluxos de calor sensível e latente. Por definição a razão de Bowen é dada por:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (4.2)$$

Nesta forma, H e LE podem ser obtidos a partir dos perfis de temperatura e umidade por meio das equações do transporte de difusão turbulenta (2.4) e (2.5), de modo que a expressão (4.2), torna-se:

$$\beta = \frac{c_p K_h \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}}{L K_w \frac{\partial q}{\partial z}} \quad (4.3)$$

De acordo com a definição de umidade específica (q) e sabendo que

$\gamma = \frac{c_p P}{0,622L}$, a expressão (4.3) pode ser rescrita na forma:

$$\beta = \gamma \frac{K_h \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}}{K_w \frac{\partial e}{\partial z}} \quad (4.4)$$

onde é γ o parâmetro psicrométrico ($mb/^\circ C$), c_p o calor específico do ar a pressão constante ($cal/g^\circ C$) e P a pressão atmosférica (mb). L é o calor latente de vaporização da água (cal/g) e foi obtido em função da temperatura do ar ($^\circ C$) através da fórmula:

$$L = 595 - 0,51T_a \quad (4.5)$$

Como referido anteriormente, as funções ϕ_h e ϕ_w , são iguais sob quaisquer condição de estratificação do ar, logo, $K_h = K_w$. Desta forma, a expressão (4.4) toma-se:

$$\beta = \gamma \frac{\partial \bar{T}}{\partial e} \quad (4.6)$$

Rearranjando os termos da equação (2.19) de forma a obter-se o parâmetro β no lado direito, tem-se a seguinte formulação:

$$LE = \frac{(R_n - G)}{1 + \beta} \quad (4.7)$$

A equação (4.7) fornece o fluxo de calor latente a superfície em quantidades de energia por área e por tempo. No caso da evapotranspiração, procedeu-se a devida conversão para a unidade de lâmina d'água por tempo. Assim, usando a equação (4.6) tem-se a equação final utilizada nos cálculos:

$$ET_c = \frac{R_n - G}{L \left(1 + \gamma \frac{\partial \bar{T}}{\partial e} \right)} \quad (4.8)$$

Para o cálculo da pressão parcial do vapor d'água utilizou-se a seguinte expressão:

$$e(T_a) = e_s(T_u) - 0,00066(1 + 0,00115T_u)(T_a - T_u)P \quad (4.9)$$

Em que T_a e T_u foram medidas no campo em ($^{\circ}C$). A estimativa da pressão de saturação do vapor d'água, foi obtida em função da temperatura do ar ou úmida, segundo a expressão:

$$e_s(T_{a,u}) = 6,1078 \text{EXP} \left[\frac{17,264T_{a,u}}{T_{a,u} + 237,3} \right] \quad (4.10)$$

as pressões de vapor d'água são dadas em (mb).

- Método de Penman-Monteith

Monteith (1965) introduziu parâmetros de resistência ao fluxo de vapor d'água na equação combinada, como forma de avaliar a influência da superfície nesse transporte, possibilitando determinar mais eficazmente a evapotranspiração de superfícies vegetadas. Na determinação do fluxo de vapor d'água acima da cultura do amendoim, foram utilizados os dados coletados pela torre micrometeorológica, considerando o intervalo de tempo de cinco minutos, a partir destes gerou-se as médias diárias das variáveis ambientais e em seguida as estimativas por meio da expressão:

$$ET_c = \frac{(R_n - G) + c_p(e_s - e)/r_a}{L \left[\Delta + \gamma \left(\frac{r_c}{r_a} + 1 \right) \right]} \quad (4.11)$$

onde: r_a é a resistência aerodinâmica (s/m); r_c a resistência da cultura (s/m); e Δ a inclinação da curva de saturação do vapor d'água (mb/°C), que foi obtida segundo a equação dada por Wright (1982):

$$\Delta = 33,8639 \left[0,05904 \left(0,00738 T_a + 0,8072 \right)^7 - 3,42,10^{-5} \right] \quad (4.12)$$

os outros termos já foram descritos anteriormente

A equação de Penman-Monteith assume que todo o dossel da vegetação atua como uma "**grande folha**". Mesmo assim, Bonel & Balek (1993), afirmam que o modelo pode ser usado para determinar o fluxo de calor latente, usando dados meteorológicos medidos durante um certo período (horas, dias), desde que as resistências sejam determinadas no mesmo período. Fisicamente, a resistência aerodinâmica descreve os efeitos turbulentos gerados pela rugosidade da superfície na transferência de energia e massa desde a fonte até um nível de

referência na atmosfera. A resistência da cultura descreve o controle biológico sobre a taxa de transpiração e está particularmente agregada ao comportamento fisiológico da planta, expresso em termos da resistência estomática. A resistência da cultura foi parametrizada segundo a expressão dada por Allen (1986):

$$r_c = \frac{\bar{r}_s}{0,5IAF} \quad (4.13)$$

sendo \bar{r}_s é a média diária das resistências estomáticas de folhas específicas (s/m) e IAF o índice de área foliar.

No caso do amendoim, foi utilizada uma equação de estimativa do índice de área foliar, dada por Allen (1986), para culturas com altura variando de 0,10 a 0,50m:

$$IAF = 5,5 + 1,5\ln(h_c) \quad (4.14)$$

em que h_c é a altura da cultura em metros, a qual foi medida semanalmente.

A resistência aerodinâmica acima da cultura do amendoim, foi calculada para toda faixa de estratificação da camada de ar através da função de estabilidade, ϕ_m (Dyer, 1974), que atua como uma correção para os efeitos diabáticos. Na determinação considerou-se a expressão usada por Camilo & Gurney (1986) e Ottoni et al. (1992) e definiu-se a altura de um metro como de referência:

$$r_a = \frac{\left[\ln\left(\frac{z_1-d}{z_{om}}\right) - \psi_{om} \right] \left[\ln\left(\frac{z_1-d}{z_{oh}}\right) - \psi_{oh} \right]}{k^2 u_1} \quad (4.15)$$

sendo: z_1 a altura de referência (1m); u_1 velocidade do vento na referida altura (m/s); d o deslocamento do plano zero (m); z_{oh} e z_{om} os parâmetros de

rugosidade para calor e quantidade de movimento (m), respectivamente; ψ_{oh} e ψ_{om} são as respectivas funções de correção de estabilidade.

O deslocamento do plano zero foi determinado em função da altura da cultura por: $d = 0,67h_c$, e os parâmetros de rugosidade z_{om} e z_{oh} , por:

$$z_{om} = 0,123h_c \quad \text{e} \quad z_{oh} = 0,0123h_c \quad (4.16)$$

com a altura da vegetação em metros (Brutsaert, 1982).

As funções de correção de estabilidade, ψ_{om} e ψ_{oh} , foram determinadas de acordo com as equações dadas por Businger (1975) e Choudhury et al. (1986):

$$\psi_{om} = 2 \ln \left[\frac{1+x}{2} \right]^2 + \ln \left[\frac{1+x^2}{2} \right] - 2 \arctg(x) + \frac{\pi}{2} \quad (4.17a)$$

$$\psi_{oh} = 2 \ln \left[\frac{1+x^2}{2} \right] \quad (4.17b)$$

em que, $x = (1 - 16Ri)^{0,25}$ foi aplicado para condições instáveis, enquanto para condições estáveis, usou-se:

$$\psi_{om} = \psi_{oh} = -5Ri \quad (4.17c)$$

- Método Aerodinâmico

Este método é fundamentado nas propriedades conservativas da subcamada limite acima da superfície evaporante. De acordo com os fluxos verticais da difusividade turbulenta fornecidos pelas equações (2.14) (2.15) e (2.16), aplicadas em termos de diferenças finitas pode-se definir uma expressão para o transporte vertical de vapor d'água considerando a razão entre os fluxos de calor latente e quantidade de movimento, na forma:

$$\frac{LE}{\tau} = \frac{-\rho L k u_* z}{\rho k u_* z} \frac{\partial \bar{q} / \partial z}{\partial u / \partial z} \phi_m \phi_w^{-1} \quad (4.18)$$

de maneira que, por simplificação, obtém-se:

$$\frac{LE}{\tau} = -L \frac{\phi_m}{\phi_w} \frac{\partial \bar{q} / \partial z}{\partial u / \partial z} \quad (4.19)$$

Segundo Businger (1975) e Brutsaert (1982) a integração da equação (2.9) entre os níveis z_1 e z_2 , produz a seguinte expressão:

$$\Delta \bar{u} = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z_2}{z_1} \right) - \psi_{om} \right] \quad (4.20)$$

substituindo agora a equação (2.1) na equação (4.19) em termos de diferenças finitas, tem-se:

$$\frac{LE}{\rho u_*^2} = -L \frac{\phi_m}{\phi_w} \frac{\Delta \bar{q}}{\Delta u} \quad (4.21)$$

obtendo a expressão de u_* diretamente de (4.20) e substituindo em (4.21), considerando o deslocamento do plano zero, temos a equação utilizada nas estimativas:

$$ET_c = \rho k^2 \frac{0,622 \phi_m}{PL \phi_w} \frac{(\bar{u}_2 - \bar{u}_1)(\bar{e}_1 - \bar{e}_2)}{\left[\ln \left(\frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right) - \psi_{om} \right]^2} \quad (4.22)$$

4.5 - Determinação do Coeficiente de Cultivo

Com os valores da evapotranspiração do amendoim medida (ET_c) e evapotranspiração de referência estimada (ET_o), obteve-se os valores do coeficiente de cultivo (k_c) ao longo do ciclo da cultura, com base nas médias

diárias da evapotranspiração medida e estimada para o período de cinco dias. O coeficiente médio do período foi então determinado através da razão que o define:

$$k_{cj} = \left| \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 \left(\frac{ET_c}{ET_o} \right)_i \right) \right| \quad (4.23)$$

onde: $i = 1, \dots, 5$; e $j = 1, \dots, n$; ET_c é a evapotranspiração da cultura e ET_o a de referência.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - Altura da Cultura e Índice de Área Foliar

O crescimento do amendoim sob condição irrigada no campo e nos evapotranspirômetros é apresentada na Fig. 5.1, através da variação estacional da altura da cultura. As duas curvas são semelhantes, e observa-se, por comparação, que não houve grande diferença entre as alturas do 35º ao 45º dia após a semeadura (DAS). Durante o experimento observou-se um certo atraso na floração das plantas no campo em relação as plantas dos evapotranspirômetros, o que refletiu na redução do crescimento. Isto pode ser constatado na comparação das duas curvas do 45º DAS em diante, em que as diferenças de altura atingiram o valor máximo de 0,20m na fase de formação das vagens. Essa diferença de crescimento foi causada pelo desencadeamento dos processos metabólicos da planta intimamente relacionados a atividade fotossintética, que nesta fase tornam-se altamente dependentes da quantidade de água disponível às plantas. A máxima altura da cultura em ambas condições, coincidiu com o início da fase de maturação em torno do 85º DAS, com valores de 0,31m no campo e 0,49m nos evapotranspirômetros, o que equivale a uma diferença de crescimento de 37%.

Em virtude da indisponibilidade instrumental, não foi possível medir o índice de área foliar (IAF) diretamente no campo durante o experimento. Optou-se por estimar tal índice em função da altura da cultura. Recorreu-se então a expressão proposta por Allen (1986) para culturas com altura variando de 0,10 a 0,50m (eq. 4.14). Os valores de IAF estimados foram confrontados com os valores medidos por Silva (1997), também usando a cultivar BR1 na mesma área e época do ano em experimento anterior. Os resultados de ambos encontram-se na Tab. 5.1. A melhor correlação encontrada entre os valores estimados e medidos nas diferentes condições de disponibilidade hídrica foram: na condição dos evapotranspirômetros correspondeu ao tratamento com lâmina total de 700mm e frequência de irrigação de 4 dias, com coeficiente de correlação igual a 0,99; na condição de irrigação periódica no campo (aspersão) o tratamento com lâmina total de 500mm e frequência de irrigação de 2 dias foi o melhor ajustado, com coeficiente de correlação igual a 0,98. Na Tab. 5.2 são apresentados a média, o desvio padrão e a variância dos valores de IAF teóricos e medidos.

Os resultados das estimativas de IAF (Fig. 5.2) revelaram-se coerentes com os valores observados por Silva (1997) para todo o ciclo fenológico. No período compreendido pela floração e formação das vagens, o índice de área foliar apresentou-se totalmente dependente da água disponível no solo, tendo em vista, que as condições ambientais e de quantidade de nutrientes no solo, que influenciam o desenvolvimento da cultura, foram praticamente os mesmos para ambas condições. O máximo IAF ocorreu no 85º DAS, e correspondeu ao valor de 3,8 no campo e 4,4 nos evapotranspirômetros, ou seja, uma diferença de cerca de 20%.

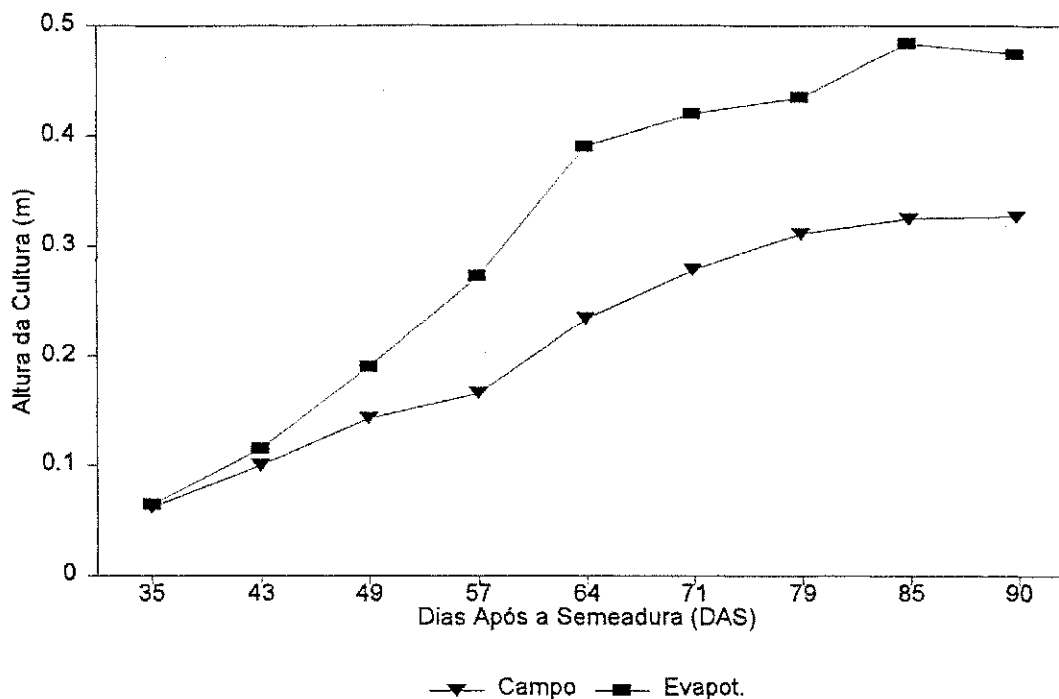


Fig. 5.1 - Comportamento estacional da altura do amendoim (cv. BR1) na condição de irrigação no campo e nos evapotranspirômetros (Rodelas - Ba, 1996)

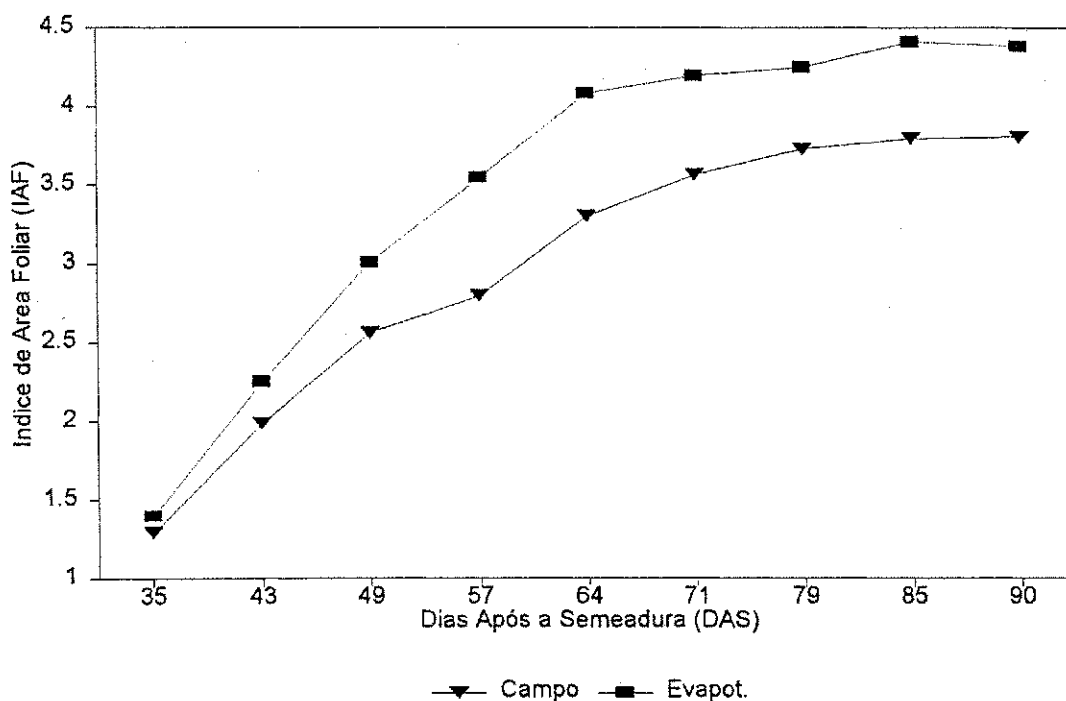


Fig. 5.2 - Comportamento estacional do IAF estimado para o amendoim (cv. BR1) na condição de irrigação no campo e nos evapotranspirômetros (Rodelas - Ba, 1996).

Tab. 5.1 - Comparação entre os valores do índice de área foliar medido por Silva (1997) e estimado segundo a equação (4.14), em intervalos de dias após a semeadura (DAS) (Rodelas - Ba, 1996).

DAS	IAF medido (Silva, 1997)		IAF estimado	
	700 mm/4dias	500 mm/2dias	Evapotransp.	Campo
35	1,2	1,0	1,4	1,3
43	2,2	2,0	2,3	2,0
49	3,2	2,4	3,0	2,6
57	4,1	3,1	3,5	2,8
64	4,2	3,4	4,1	3,3
71	4,3	3,6	4,2	3,6
79	4,4	3,7	4,2	3,7
85	4,4	3,8	4,4	3,8
90	4,4	3,8	4,4	3,8

Tab. 5.2 - Análise estatística entre o índice de área foliar medido por Silva (1997) e estimado em função da altura da cultura.

	Média	Desvio Padrão	Variância	r^2
Campo	2,99	0,84	0,70	0,98
500 mm/2dias	2,98	0,92	0,85	
Evapotrans.	3,50	1,00	1,01	0,96
700 mm/4dias	3,60	1,10	1,21	

Fica claro que as boas relações encontradas entre a lâmina de 700mm/4dias com os evapotranspirômetros, e a lâmina de 500mm/2dias com a irrigação por aspersão no campo, estão associadas ao fato de que as eficiências das irrigações foram semelhantes, embora os processos de irrigação tenham sido diferentes. A comparação dos índices de área foliar confirma que a irrigação no campo por aspersão, mesmo tendo lâmina superior, produziu uma eficiência equivalente a uma irrigação por sulcos de apenas 500mm, utilizando tubos janelados. Por outro lado, uma irrigação por sulcos com lâmina total de 700mm, apresentou a mesma eficiência que os evapotranspirômetros. Isto significa que a irrigação por aspersão, devido a ação do vento e de outros parâmetros, como

baixa umidade relativa e alta temperatura do ar, teve sua eficiência reduzida comparada a irrigação por sulcos, e portanto consome mais água. No outro caso, constatou-se que o fornecimento de água por lençol freático constante foi um pouco melhor do que por sulcos, tendo em vista que a perda por evaporação na superfície do solo é pequena, o que não é possível evitar no processo de irrigação por sulcos.

5.2 - Temperatura Foliar

No intuito de avaliar o comportamento fisiológico da cultura do amendoim em face as condições ambientais e de disponibilidade hídrica, são apresentadas na Fig. 5.3, a variação estacional da temperatura foliar, para a condição de irrigação no campo e nos evapotranspirômetros, nos horários de **9, 12 e 15h**. Durante toda a estação de cultivo as folhas das plantas bem supridas de água, apresentaram temperaturas inferiores comparadas àquelas encontradas na condição de campo, indicando que apesar da freqüente irrigação, não houve um bom aproveitamento da água aplicada. A causa dessa baixa eficiência pode ter sido o baixo poder de retenção de água pelo solo, associado a pouca cobertura vegetal propiciada pela cultura. Um outro ponto observado, foi que ao atingir a maturidade, as plantas tanto em condição ideal de umidade no solo, quanto as localizadas no campo, apresentaram temperatura foliar equiparáveis. Isso indica que mesmo sob disponibilidade hídrica ótima, as plantas dos evapotranspirômetros apresentaram taxa de transpiração, por unidade de área foliar, similar a das plantas no campo, tendo em vista que os parâmetros: radiação solar, velocidade do vento e concentração de vapor na atmosfera, não

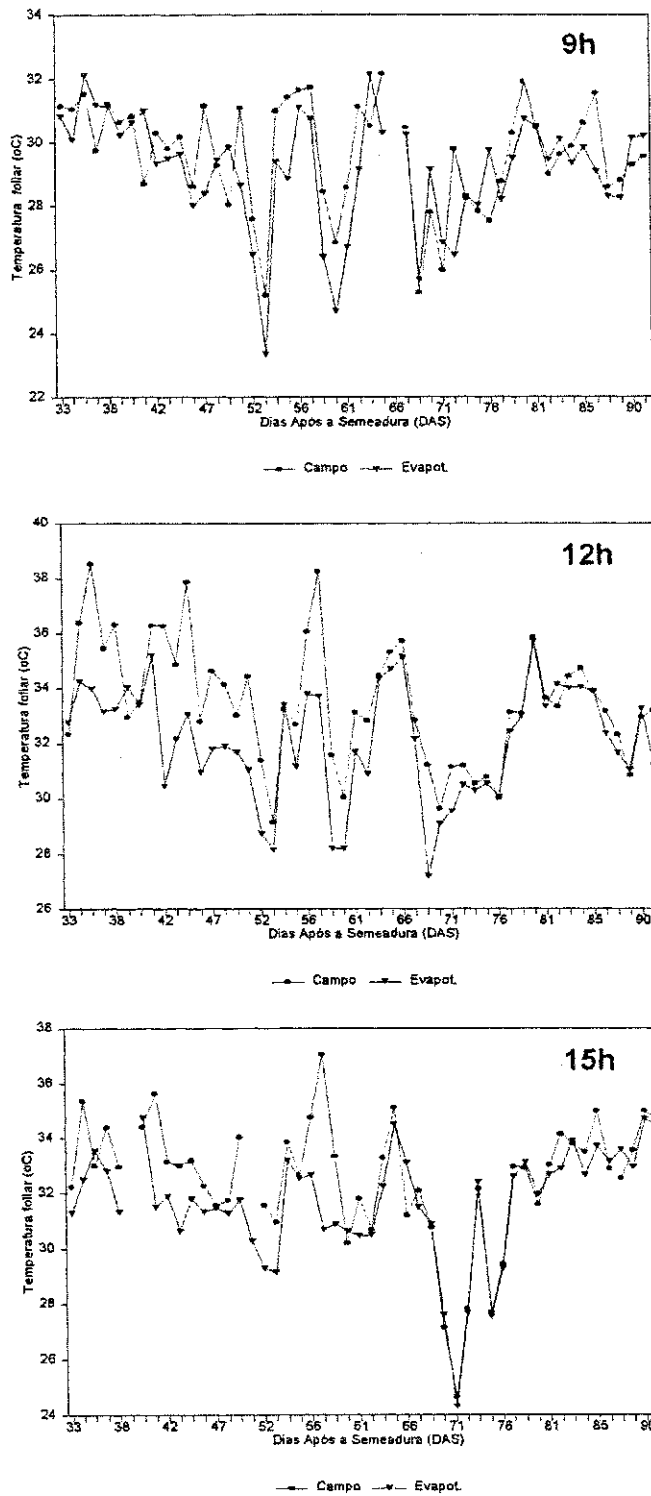


Fig. 5.3 - Comportamento da temperatura foliar ao longo da estação de cultivo, na condição de irrigação no campo e nos evapotranspirômetros, para os horários de 9, 12 e 15h (Rodelas - Ba, 1996).

apresentaram forte variação entre as duas situações. Ao contrário, na fase intermediária as diferenças de temperatura foliar, entre as plantas no campo e nos evapotranspirômetros foram maiores, e atingiram cerca de 3°C nas condições hídricas mais críticas as plantas no campo.

O comportamento diário da temperatura foliar pode ser avaliado comparando as curvas para os horários de 9, 12 e 15h. No período da manhã não ocorreu grandes diferenças de temperatura foliar entre ambas situações, o que retratou uma baixa taxa de transpiração da planta neste horário. Por outro lado, ao meio dia, as diferenças foram maiores evidenciando um maior controle fisiológico da planta do amendoim quando submetido a valores máximos de insolação. As 15h a temperatura foliar apresentou comportamento intermediário em relação aos horários anteriores, mas ainda com diferenças pronunciadas. Em dias sem irrigação foram observadas diferenças de temperatura foliar atingindo de 1 a 2°C as 9h; de 4 a 6°C as 12h e de 2 a 4°C as 15h.

5.3 - Temperatura, Umidade Relativa e Velocidade do Vento

Para ilustrar o comportamento diário da velocidade do vento (u), umidade relativa (UR) e temperatura do ar (T_a) e úmida (T_u), foram considerados quatro dias (15 de outubro, 11 e 29 de novembro, e 11 de dezembro), ou seja, a 25, 52, 70 e 82 dias após a semeadura (Fig. 5.4).

Os dias 15 de outubro e 11 de dezembro foram de céu claro e os dias 11 e 29 de novembro apresentaram nebulosidade acentuada. Observou-se que em dias de céu claro a temperatura do ar variou de 33 a 35°C com amplitude de 14°C.

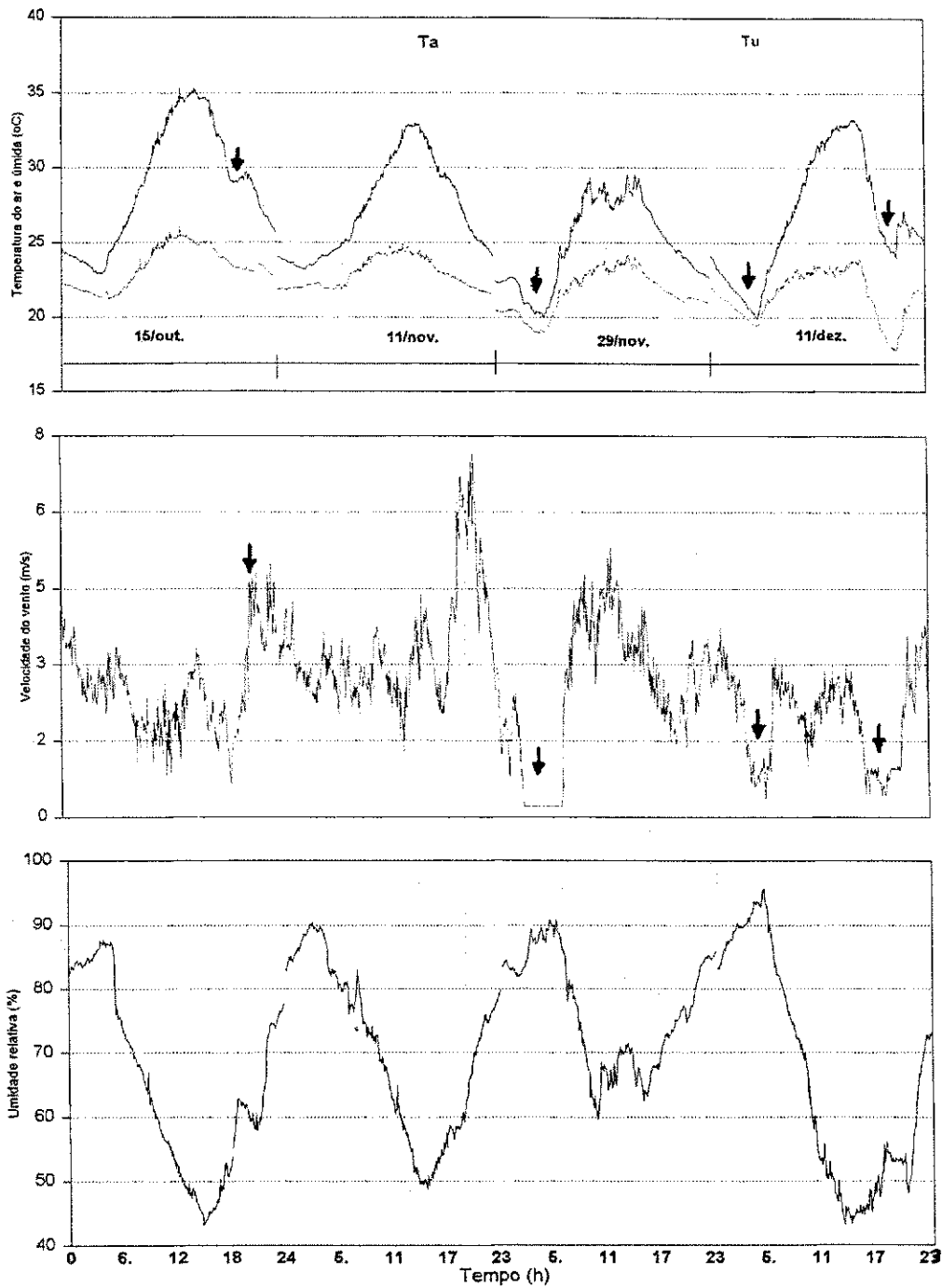


Fig. 5.4 - Comportamento diário da temperatura do ar (T_a) e úmida (T_u), velocidade do vento a 2m (u) e umidade relativa (UR), para os dias 15 de outubro, 11 e 29 de novembro e 11 de dezembro (Rodelas - Ba, 1996).

Com exceção do dia 11 de novembro as temperaturas mínimas sempre ocorreram pouco antes do amanhecer e não durante a madrugada, atingindo valores em torno de 23°C nos dias 15 de outubro e 11 de novembro, e cerca de 20°C nos dias 29 de novembro e 11 de dezembro, enquanto as temperaturas máximas ocorreram entre 14 e 15h para todos os dias. Comparando as curvas de temperatura do ar e úmida, constatou-se que mesmo durante a noite a atmosfera próxima a superfície apresentou relativo déficit de umidade. A diferença entre T_a e T_u em dias de céu claro, atingiu cerca de 3,0°C durante a noite e 10°C durante o dia. Nos dias com nebulosidade estas diferenças foram reduzidas caindo para cerca de 0,5°C à noite e 3,5°C no período diurno.

As curvas de umidade relativa apresentaram valores máximos diários de 90% durante curto intervalo na madrugada, voltando a cair em seguida. Enquanto no período diurno UR atingiu cerca de 45% em dias de céu claro e cerca de 60% em dias nublados. Apenas quando houve ocorrência de chuva forte UR atingiu o valor de 100%.

A velocidade do vento apresentou pronunciada variação ao longo do dia. O período diurno caracterizou-se por ventos mais amenos, em especial pela manhã, onde os valores variaram de 2 a 3m/s. Após o anoitecer foi comum a ocorrência de rajadas de vento, atingindo em alguns dias o valor de 8m/s, entre 20 e 21h. Após este pico, a velocidade do vento diminuiu apresentando valores em torno de 4 a 5m/s durante a madrugada.

Notou-se uma estreita relação entre as variações de velocidade do vento e de temperatura do ar (**setas** na Fig. 5.4). Esta dependência, no entanto, foi mais perceptível durante a noite, visto que durante o dia o aquecimento do ar causado pela absorção de energia radiativa pela superfície, prevaleceu, e os

efeitos do transporte de calor e massa na direção horizontal foram mascarados. Isso não significa dizer que a advecção horizontal foi pequena durante o dia, pelo contrário, o aquecimento das superfícies vizinhas, geralmente descobertas, favoreceu ao maior aquecimento do ar comparado aquele situado acima da superfície cultivada. Este ar ao escoar por sobre a superfície úmida favoreceu o aumento da evapotranspiração. Desta forma, o ar quente e seco que escorria por sobre o dossel funcionava como um "sumidouro" de umidade, provocando a intensificação do déficit de vapor d'água na atmosfera. Isto pôde ser observado nos dias 15 de outubro e 11 de dezembro entre 18 e 21h. No dia 29 de novembro, no início da manhã, o contrário foi observado. Quando o vento cessou a temperatura caiu bruscamente, com um correspondente aumento da umidade relativa. Neste momento, o fluxo de calor latente foi totalmente dependente do balanço de energia a superfície. Após o nascer do sol a evapotranspiração resultou da combinação do balanço de radiação e do transporte de calor e massa associado à velocidade do vento.

No dia 11 de novembro, apesar da velocidade do vento atingir cerca de 8m/s, não foi observado aumento de temperatura nem ressecamento da atmosfera como nos outros dias. Isto justifica-se pela chuva ocorrida no dia anterior (16,4mm), que contribuiu para resfriar as superfícies, de tal forma que, mesmo com vento forte o ar apresentou-se termodinamicamente equilibrado e próximo à saturação.

5.4 - Parâmetros Radiativos e Fluxos de Vapor d'água

A aplicação de irrigação em climas semi-áridos resulta numa considerável variação dos componentes energéticos, e desta forma, a avaliação dos efeitos da irrigação nos parâmetros ambientais, pode ser baseada não apenas nos valores absolutos dos componentes do balanço de energia, mas também considerando suas variações.

O comportamento estacional da radiação global incidente (R_g), do saldo de radiação à superfície (R_n) e do fluxo de calor no solo (G), é apresentado na Fig. 5.5, em unidades de mm/dia.

Durante os períodos de pouca ou nenhuma nebulosidade a radiação global incidente média diária, atingiu cerca de 12mm/dia, enquanto nos dias com nebulosidade acentuada atingiu em média 8mm/dia. O saldo de radiação médio diário apresentou comportamento semelhante a radiação global incidente, tendo em vista a forte relação existente entre ambos. Como a radiação disponível é influenciada também pelas características da superfície, observou-se que na fase inicial quando havia uma baixa cobertura vegetal, R_n foi menor comparado a fase final de máximo desenvolvimento da cultura. Na primeira fase R_n atingiu cerca de 50% de R_g (6,0mm/dia), enquanto na fase intermediária esta porcentagem aumentou para 60% (7,0mm/dia). Na maturação, a cultura cobria parcialmente o solo e R_n representou cerca de 66% de R_g (8,0mm/dia).

Em virtude da freqüência com que a cultura foi irrigada, o fluxo de calor no solo foi bastante variável, resultado da baixa cobertura vegetal propiciada pelo amendoim. A solo nu, nos dias sem irrigação, o máximo fluxo de calor no

solo, foi cerca de 10% de R_n , e a medida que a cultura se desenvolveu esta porcentagem diminuiu até atingir em média 4% na fase de maturação.

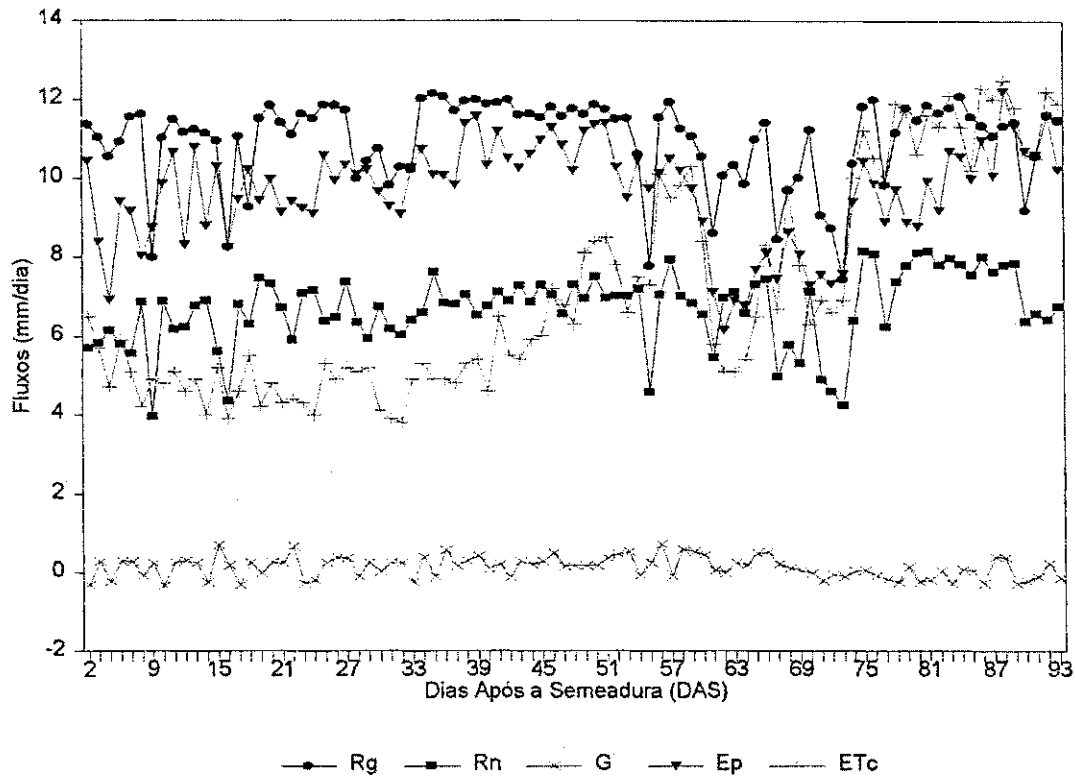


Fig. 5.5 - Comportamento da radiação global incidente (R_g), saldo de radiação à superfície (R_n), fluxo de calor no solo (G), evapotranspiração da cultura (ET_c) e evaporação do tanque Classe "A" (E_p), durante a estação de cultivo (Rodelas - Ba, 1996).

Na Fig. 5.5 é apresentado também, o comportamento estacional da evaporação do tanque Classe "A" (E_p) e da evapotranspiração da cultura (ET_c). A evaporação apresentou comportamento muito semelhante a R_g com variação de

8,5 a 11,5mm/dia e média de 10mm/dia. Isso equivaleu a cerca de 88,2% da radiação global incidente que foi utilizada para evaporar a água, portanto superior a R_n . Isto mostra que os reservatórios a céu aberto como açudes, represas, etc., estão sujeitos a uma redução média em seus níveis de água de cerca de 10 litros por metro quadrado de sua área, a cada dia.

A curva da evapotranspiração da cultura indica que desde a fase de estabelecimento até 30 dias após a semeadura, a perda de água pela superfície solo-planta manteve-se estável, apresentando uma ET_c média de 5mm/dia. No período posterior nas fases de floração e formação das vagens, ET_c aumentou proporcionalmente ao desenvolvimento da cultura, até atingir o valor de 11mm/dia no início da maturação, que permaneceu aproximadamente estabilizado até o final do ciclo fenológico.

Um fato importante pode ser observado ao comparar as curvas de saldo de radiação e evapotranspiração da cultura. Até cerca de 40 dias após a semeadura a ET_c manteve-se abaixo de R_n , de modo que toda transferência de água da superfície para a atmosfera, poderia ser explicada pelo balanço de radiação à superfície. No entanto, a medida que a planta aumentou sua capacidade de transpirar, a curva da ET_c sobrepôs a curva de radiação disponível, o que sugere a existência de uma fonte adicional de energia interagindo com os outros fluxos energéticos para aumentar a evapotranspiração no período de máximo desenvolvimento da cultura.

5.5 - Análise de Estabilidade

Na avaliação da influência das condições de estabilidade do ar nos modelos micrometeorológicos de determinação da evapotranspiração, processou-se a estimativa, a partir das informações obtidas a cada 5 minutos, do parâmetro de estabilidade de Richardson, ou número de Richardson (Ri), aplicando-o em seguida nas funções de correção de estabilidade. A variação média dos valores de Ri ficou entre -0,05 e -0,01 na condição de instabilidade atmosférica, e entre 0,01 e 0,03 na condição de estabilidade do ar. Esta pequena magnitude do número de Richardson foi causado pela pronunciada mistura do ar, associada a forte turbulência, que favoreceu a redução do gradiente vertical de temperatura. Desta forma, as flutuações de Ri permaneceram sempre próximas aos valores encontrados na literatura para a condição de neutralidade, e ao aplicá-lo nas equações não houve melhoras na determinação da evapotranspiração. Diante deste fato, as funções de correção para os efeitos diabáticos não foram consideradas na aplicação final dos modelos.

5.6 - Evapotranspiração da Cultura

A Fig. 5.6 apresenta a variação estacional da evapotranspiração média diária da cultura, determinada para o campo pelos métodos da razão de Bowen, aerodinâmico e Penman-Monteith, em comparação com a medida nos evapotranspirômetros.

O consumo diário de água nos evapotranspirômetros foi menor durante o início de crescimento vegetativo com média de 5mm/dia, mas aumentou

com o desenvolvimento da cultura e totalizou 632,2mm. O consumo máximo diário foi cerca de 11mm/dia por volta do 85º DAS. Esta alta taxa da evapotranspiração deu-se tanto pelo máximo índice de área foliar atingido pela cultura, quanto pela condição de pronunciada demanda evaporativa da região, em conjunção com o efeito de advecção de ar quente e seco na direção horizontal.

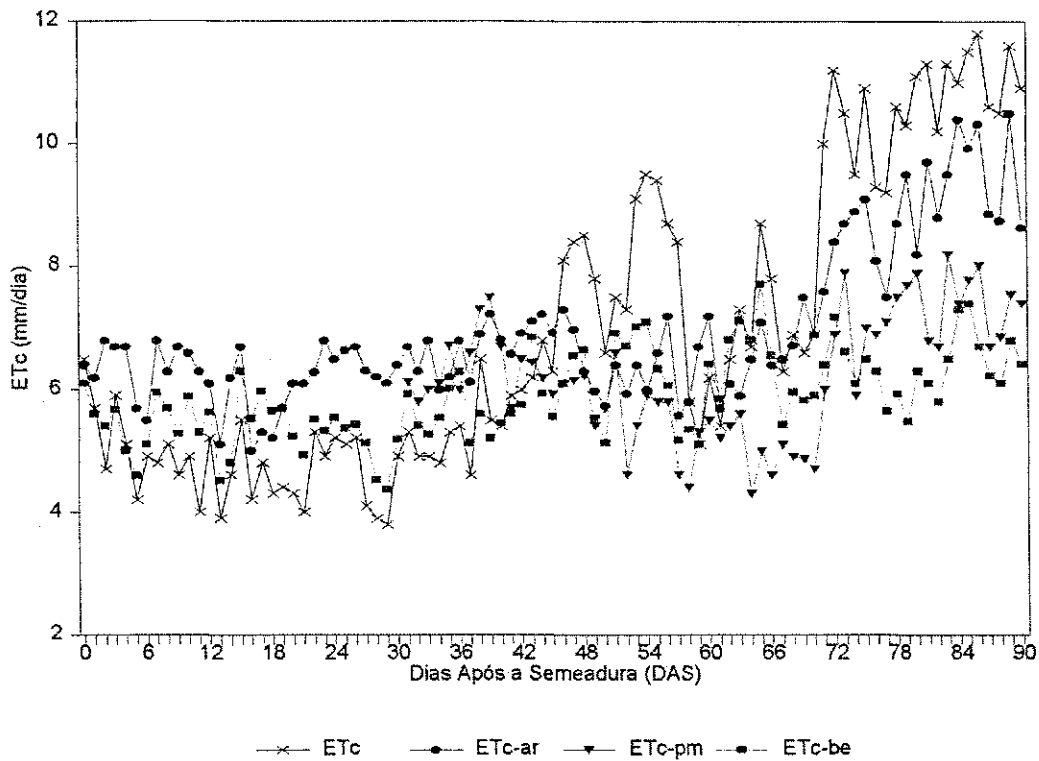


Fig. 5.6 - Comportamento da evapotranspiração da cultura medida (ET_c) e estimada segundo os métodos: da razão de Bowen (ET_{c-be}), aerodinâmico (ET_{c-ar}) e Penman-Monteith (ET_{c-pm}), durante a estação de cultivo (Rodelas - Ba, 1996).

As curvas teóricas indicam que desde a fase inicial de crescimento vegetativo até meados da fase de floração (45º DAS), todos os métodos superestimaram a evapotranspiração em relação a medida, sendo que o método da razão de Bowen foi o que apresentou melhor ajuste. Durante o período

intermediário de floração a formação das vagens (45º ao 65º DAS) a curva observada cruzou as curvas teóricas, evidenciando que a superfície solo-planta passou a evapotranspirar a uma taxa maior, que em parte não foi explicada pelos modelos. No período de formação das vagens até a maturação (66º DAS em diante) os modelos passaram a subestimar a evapotranspiração, fato também observado por Azevedo et al. (1993) para a cultura do algodão. Apenas os modelos baseados nos efeitos combinados dos parâmetros ambientais, que na condição do experimento sobrepujavam os demais, apresentaram os melhores resultados, ou seja, os modelos Penman-Monteith e aerodinâmico. A redução dos valores da evapotranspiração do 55º ao 70º DAS, foi causada pela ocorrência de chuvas.

A dispersão dos valores diários da evapotranspiração determinados para o período de formação das vagens até a maturação, são apresentados na Fig. 5.7 (a, b e c). A melhor curva de regressão encontrada do tipo $Y = a + bX$, juntamente com o erro padrão de estimativa e os respectivos coeficientes de correlação são apresentados na Tab. 5.3.

Ao contrário do esperado, a análise de regressão indica que o método da razão de Bowen foi inadequado em explicar a variabilidade da evapotranspiração da cultura na fase final. O baixo coeficiente de determinação ($r^2=0,58$) deve está associado, primeiro, ao forte comportamento turbulento do ar acima do dossel, que se encarregava de misturá-lo, reduzindo a diferença de temperatura entre os dois níveis e portanto afetando o gradiente vertical de temperatura. Em segundo lugar, o pronunciado efeito da advecção, ou seja, o transporte de ar mais quente e seco vindo da vizinhança escorrendo por sobre a

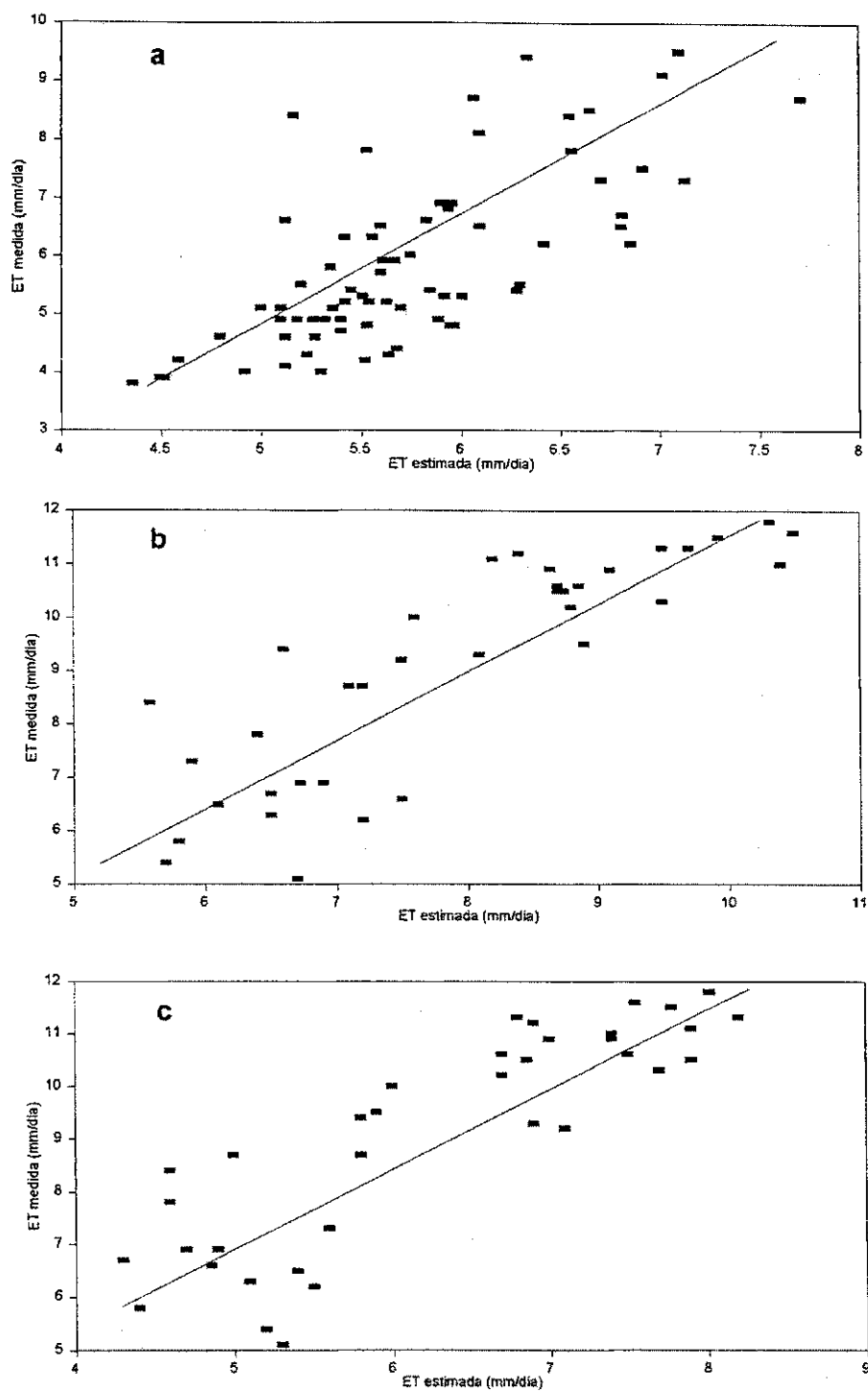


Fig. 5.7 - Dispersão dos valores diários da evapotranspiração da cultura, no período de formação das vagens e maturação da semente, referente aos métodos: a) razão de Bowen, b) aerodinâmico, e c) Penman-Monteith.

plantação, influenciou sobremaneira no fluxo de vapor d'água da superfície. Esses dois fatores, conjuntamente, contribuíram para manter o gradiente vertical de temperatura pequeno na camada de ar jusante a superfície, tomando o valor da razão de Bowen (β) pequeno, com variação ao longo do dia de -0,2 a 0,2. Desta forma, o grande espalhamento no diagrama, deve está associado a forte condição advectiva da área, constatada durante a coleta dos dados. Sendo assim, nesta condição, a igualdade dos coeficientes de difusividade turbulenta para calor e vapor d'água não se aplica, tornando necessário um ajuste em termos da avaliação dos gradientes horizontais de temperatura e umidade, quando for utilizado o método da razão de Bowen, baseado nos perfis de temperatura e umidade, como sugere Verma et al. (1978). Os resultados aqui obtidos concordam com os do autor acima citado quando propunha aplicação de correção aos efeitos advectivos na razão entre os coeficientes de difusividade turbulenta.

O modelo aerodinâmico apresentou melhores resultados na fase final, quantificando mais eficazmente a evapotranspiração. Essa tendência de se igualar ao valor da ET_c observado comprova que neste estágio boa parte da transferência de água da superfície para a atmosfera, deu-se em virtude do efeito combinado do escoamento de ar quente e seco por sobre a plantação e do balanço de radiação à superfície. O coeficiente de determinação obtido, $r^2=0,66$ (Tab. 5.3), foi pouco melhor que aquele retratado por Jensen et al. (1990) ao estimar a evapotranspiração da cultura de referência (grama e alfafa), utilizando medidas obtidas em lisímetros de precisão em local árido ($r^2 = 0,61$).

Os melhores resultados, segundo a análise de regressão, foram obtidos via modelo Penman-Monteith. O coeficiente de regressão foi menor comparado aos obtidos por outros pesquisadores (Vanzyl & De Jager, 1987;

Jensen et al., 1990; Inclán & Fokel, 1995). Essa diferença deu-se, provavelmente, em face a metodologia de avaliação da resistência da cultura empregada. A qual foi obtida apenas com as leituras porométricas efetuadas nos horários de **9, 12 e 15h**, e portanto, não procedeu-se a uma quantificação da resistência do amendoim, em termos de média diária. A boa resposta do modelo, no entanto, indica que a combinação de parâmetros envolvendo as características da superfície evapotranspirante e a atmosfera possibilita incorporar grande parte da energia advectada, desde que tais variáveis sejam representativas do ambiente em estudo, e não estabelecidos em situação distinta.

Tab. 5.3 - Resultado da análise de regressão entre a evapotranspiração obtida pelos métodos: aerodinâmico (ET_c -ar), Penman-Monteith (ET_c -pm), e razão de Bowen (ET_c -be), com a medida nos evapotranspirômetros.

Y	X	a	b	\bar{y}	r^2
ET_c	ET_c -pm	-0,40	1,51	0,88	0,75
ET_c	ET_c -ar	1,66	0,99	0,95	0,66
ET_c	ET_c -be	-4,27	1,75	1,01	0,58

5.7 - Evapotranspiração de Referência

Na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), foram utilizados os métodos do tanque Classe "A" e Penman-Monteith-FAO, dado por Allen et al. (1994) para a grama (cultura de referência).

Na ET_o obtida segundo o método do tanque classe "A" considerou-se o k_p médio calculado através da expressão de Frevert et al. (1983) (eq. 4.20), em

função dos dados coletados no período inicial do experimento, na condição de solo nu. Isso justifica-se, pelo fato de ser esta a condição em que o tanque Classe "A" foi exposto. O k_p médio obtido foi de 0,69, e coincidiu com o valor estabelecido pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, como citado por Jensen et al. (1990).

A cultura hipotética utilizada na estimativa de ET_0 foi a definida por Allen et al. (1994), ou seja, uma superfície de grama com: altura de 0,12m; índice de área foliar de 2,9; parâmetros de rugosidade para momento e calor de 0,015 e 0,0015m, respectivamente; deslocamento do plano zero igual a 0,08m; e resistência da cultura de 70s/m.

Os resultados de ambas estimativas são apresentados na Fig. 5.8 e a análise de regressão resultante, se encontra na Tab. 5.4.

Os valores de ET_0 obtidos via Penman-Monteith-FAO mantiveram-se bastante próximos aos estimados via tanque Classe "A", até cerca de 60 dias após a semeadura, e mesmo com coeficiente de determinação inferior, teve maior consistência com os valores de ET_0 estabelecidos por Doorenbos & Kassam (1979), para a região semi-árida. Na fase final do ciclo da cultura o método do tanque classe "A" forneceu estimativas cerca de 15% inferiores em relação ao Penman-Monteith-FAO, mas desfrutando de boa correlação com a curva observada.

Pela comparação dos resultados constatou-se que o coeficiente de determinação do modelo Penman-Monteith-FAO ($r^2=0,77$), foi maior na estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando os parâmetros estabelecidos para a **grama**, do que na determinação da evapotranspiração do **amendoim** ($r^2=0,75$) utilizando o modelo Penman-Monteith com os dados da cultura, obtidos no

campo. Isso comprova o que foi dito antes, que os valores de resistência para a cultura do amendoim não forneceram médias diárias representativas.

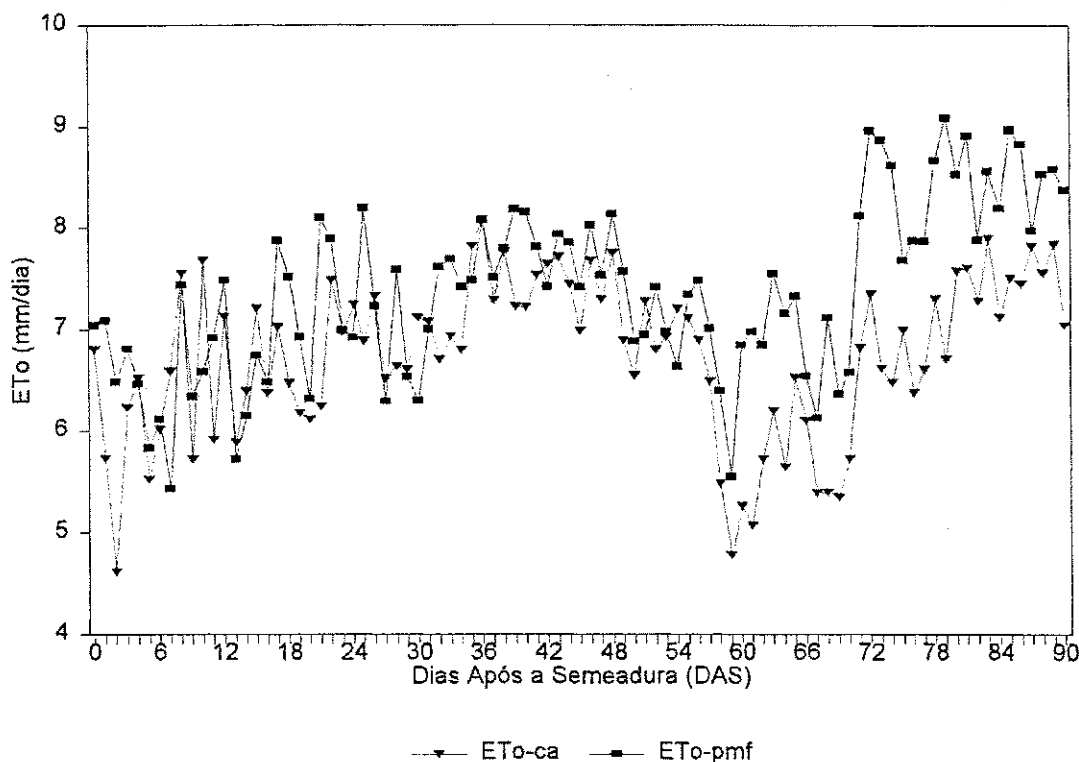


Fig. 5.8 - Comportamento da evapotranspiração de referência obtida via método do tanque classe "A" (ET_o -ca) e Penman-Monteith-FAO (ET_o -pmf), ao longo da estação de cultivo (Rodelas - Ba, 1996).

Apesar da simplicidade, o método do tanque Classe "A" apresentou um bom coeficiente de determinação ($r^2=0,89$) e o menor erro de estimativa (0,71). Isto indica que as medidas de evaporação usando o tanque Classe "A", quando bem elaboradas e estando o tanque em local adequadamente exposto, fornecem estimativas eficientes da evapotranspiração, principalmente na região semi-árida quando não for possível aplicar outro método. E desta forma, pode

reforçar o fato de que o tanque Classe "A" também foi submetido aos mesmos efeitos de advecção que atuavam sobre a plantação.

Tab. 5.4 - Resultado de regressão da estimativa da ET_o referente aos métodos do tanque Classe "A" (ET_o -ca) e Penman-Monteith-FAO (ET_o -pmf), para o período de formação das vagens e maturação da semente.

Y	X	a	b	\bar{Y}	r^2
ET_c	ET_o -ca	-3,91	2,04	0,71	0,89
ET_c	ET_o -pmf	-5,48	1,89	0,99	0,77

5.8 - Coefficiente de Cultivo

A variação estacional dos valores médios do coeficiente de cultivo (k_c), obtidos para o período de cinco dias via método do tanque Classe "A" e Penman-Monteith-FAO, é apresentada na Fig. 5.9.

Os resultados indicam valores de k_c superiores ao longo de todo ciclo fenológico, em relação aos estabelecidos por Kassam et al. (1975). Isso pode ser justificado pelo fato dos valores de k_c obtidos pelos autores acima citados, terem sido determinados em condições ambientais diferentes e utilizando uma outra cultivar de amendoim. A curva referente ao método do tanque Classe "A" (k_c -ca) evidencia uma superestimativa do k_c no período de formação das vagens e maturação da semente. Estes altos valores de k_c foram gerados, provavelmente, pela inadequação da expressão de determinação de k_p às condições ambientais, em que se desenvolveu o estudo. Os melhores valores foram obtidos via Penman-Monteith-FAO (k_c -pmf), muito embora o tanque Classe "A" tenha proporcionado valores melhor correlacionados com as condições ambientais.

Uma comparação entre os valores médios de k_c para cada fase de desenvolvimento do amendoim e os resultados de Kassam et al. (1975), são apresentados na Tab. 5.5. Em virtude da cultivar BR1 dispor de um ciclo total menor (cerca de 98 dias), comparado ao das outras cultivares do amendoim (de 120 a 130 dias), os resultados obtidos a partir dos dados observados no campo, sugerem uma subdivisão do coeficiente de cultivo na fase de floração.

Tab. 5.5 - Valores médios de k_c para as diferentes fases de desenvolvimento do amendoim, segundo a ET_0 obtida via método do tanque Classe "A" e Penman-Monteith-FAO, juntamente com os resultados de Kassam et al. (1975) (Rodelas - Ba, 1996).

Fase	Nome	Classe A	P-Monteith-FAO	Kassam et al. (1975)
I	Solo nu	0,79	0,76	-
II	Vegetativo	0,68	0,64	0,40-0,50
III	Floração	0,75	0,72	0,80-0,90
IV		1,14	1,09	
V	Vagem	1,29	1,05	0,95-1,10
VI	Maturação	1,47	1,28	0,70-0,80

Estes valores do coeficiente de cultivo são altos comparados aos da literatura, no entanto, a análise dos parâmetros ambientais feita anteriormente, caracteriza a área em estudo, como uma região com bastante influência do efeito da advecção horizontal de calor, favorecido ainda pela vegetação arbustiva e esparsa, e pela grande demanda energética, que contribuem para elevar os valores da evapotranspiração. Como reforço, Leitão (1989) também observou na mesma região, no perímetro irrigado de Mandacaru/Juazeiro - Ba, uma advecção média de cerca de 23%, ao estudar o balanço de energia numa cultura de soja irrigada. Diante destes fatos, os valores do coeficiente de cultivo tornam-se

coerentes e podem ser aplicados na prática. Portanto, os resultados obtidos pelo método Penman-Monteith-FAO foram melhores e são recomendados para o amendoim, os respectivos valores do coeficiente de cultivo dados na Tab. 5.5.

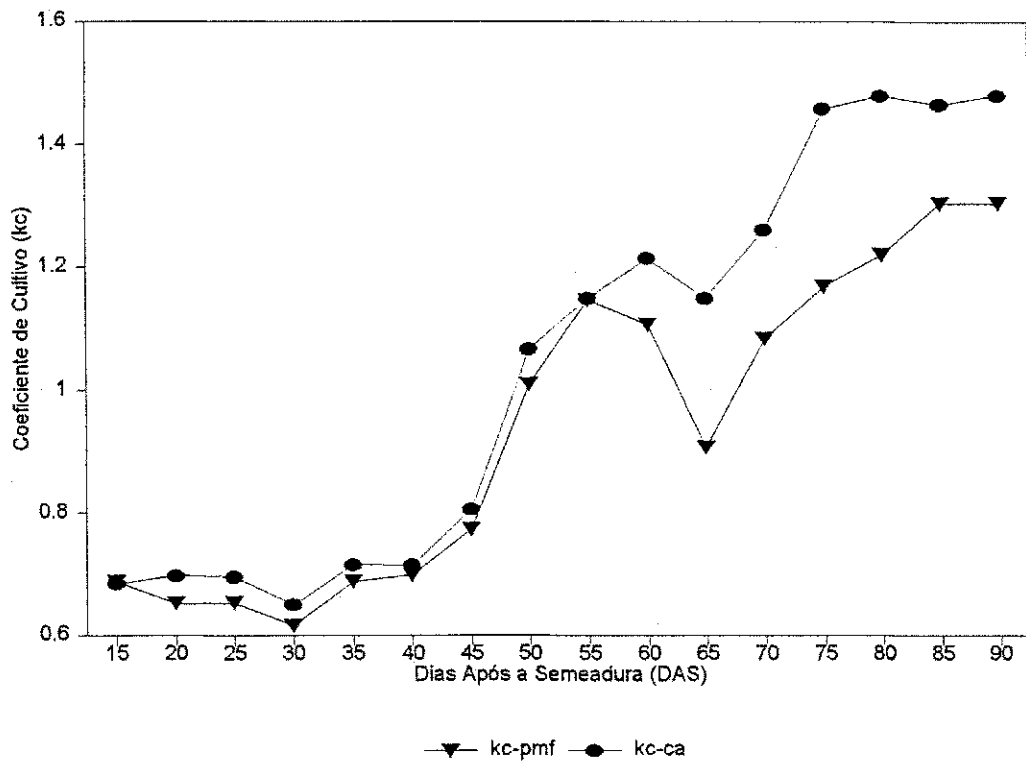


Fig. 5.9 - Comportamento estacional dos valores médios do coeficiente de cultivo, obtidos para o período de cinco dias, segundo as estimativas da ET_0 via método do tanque Classe "A" (k_c -ca) e Penman-Monteith-FAO (k_c -pmf) (Rodelas - Ba, 1996).

6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Diante da análise dos resultados e das discussões efetuadas, pode-se concluir que:

- O consumo hídrico total do amendoim BR1 equiparou-se ao das outras cultivares, apesar do ciclo reduzido. Nos evapotranspirômetros totalizou 632,2mm com produtividade média de 1874Kg/ha de amendoim em casca, enquanto as estimativas indicam um consumo em torno de 600mm, na condição de irrigação no campo.

- Em termos de consumo hídrico, pode-se caracterizar três fases distintas da cultivar BR1 que coincidiu com os resultados de Baldwin & Harrison (1996) utilizando uma cultivar de ciclo mais longo: da emergência até o início da floração o consumo hídrico é pequeno; da floração a formação das vagens o consumo hídrico é crescente e proporcional ao desenvolvimento da cultura; e da formação das vagens até a maturação das sementes o consumo hídrico é estável e totalmente dependente das condições ambientais.

- Na determinação da evapotranspiração da cultura o modelo de melhor desempenho foi o Penman-Monteith, no subperíodo de desenvolvimento total da cultura, enquanto o modelo da razão de Bowen foi melhor ajustado na fase inicial, com consumo hídrico pouco influenciado pelo efeito advectivo. Com

relação a evapotranspiração de referência o modelo Penman-Monteith-FAO apresentou bons resultados na determinação do coeficiente de cultivo. Os valores do coeficiente de cultivo, em virtude do efeito advectivo e das condições ambientais foram elevados no final do ciclo. E sugerem uma subdivisão do k_c na fase de floração. Logo os valores de k_c obtidos foram: 0,64 no período vegetativo; no início da floração 0,72 e no final 1,09; na formação das vagens: 1,05, o qual pode ser utilizado até o final do ciclo.

- Para proceder uma irrigação mais proveitosa da cultura de amendoim, usufruindo do sistema aspersivo, o período da manhã é o mais apto, tendo em vista a baixa velocidade do vento, o baixa demanda evaporativa. Além disso, a planta do amendoim apresenta pequena taxa de transpiração, o que diminui o efeito do choque térmico nas folhas. No restante do dia a eficiência da irrigação por aspersão torna-se reduzida proporcionalmente ao aumento da velocidade do vento.

- Sugere-se a realização de uma nova campanha experimental considerando o monitoramento do potencial hídrico no solo antes e depois da irrigação, para avaliar o grau de disponibilidade hídrica a cultura. Paralelamente deve-se avaliar a eficiência do sistema de irrigação, utilizando pluviômetros para captação da água distribuída pelos aspersores, para a partir daí, confrontando as informações, definir o período de tempo de irrigação necessário para fornecer a quantidade de água adequada a cada fase de desenvolvimento do amendoim.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. A Penman Formula for all Seasons. *Journal Irrigation Drainage Engeneering*. v.112(4), p.348-368, 1986.
- ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; BURMAN, R. D. Operation Estimates of Reference Evapotranspiration. *Agronomy Journal*. v.81, p.650-662, 1989.
- ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. An Updated for the Definition of Reference Evapotranspiration and Calculation Procedures. *ICID BULLETIN*. v.43, n.2, p.1-34, 1994.
- AMORIM NETO, M. S.; OLIVEIRA, C. A. V.; SILVA, D. P. Avaliação de Diferentes Métodos para Estimativa da Evapotranspiração Potencial em Regiões Semi-Áridas. IN: IV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. *Anais...Londrina-Paraná*. 1985. p.211-229, 1985.
- AZEVEDO, P. V.; SOUZA, J. L.; BASTOS, E. J. B. Coeficiente de Cultivo em Cultura de Tomate Irrigado. IN: V Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. *Anais...Belém-Pará*. 1987. p.123-125, 1987.
- AZEVEDO, P. V; RAMANA RAO, T. V.; AMORIM NETO, M.S.; BEZERRA, J. R. C.; SOBRINHO, J. E.; MACIEL, G. F. Necessidades Hídricas da Cultura do Algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.28, n.7, p.863-870, jul. 1993.
- BALDWIN, J. A.; HARRISON, K. A. Determining Water Use in Peanut Production. *Irrigation Journal*. v.46, n.6, p.18-21, 1996.
- BARROS, M. A. L.; SANTOS, R. C.; ARAÚJO, J. M.; SANTOS, J. W.; OLIVEIRA, S. R. M. Diagnóstico Preliminar da Cultura de Amendoim no Estado da Bahia. IN: *Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão - 1992/1993*. Campina Grande-Paraíba. 1993, p.381-383, 1993.

- BLACK, C. R.; SQUIRE, G. R. Effects of Atmospheric Saturation Deficit on the Stomatal Conductance of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.) and Groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal Exp. Botanic.* v.30, p.935-945, 1979.
- BLAD, B. L.; GARDNER, B. R.; WATTS, D. G.; ROSENBERG, N. J. Remote Sensing of Crop Moisture Status. *Remote Sensing Reviews.* v.3, p.4-20, 1981.
- BONELL, M.; BALEK, J. Recent Scientific Developments and Research Needs in Hydrological Processes of the Humid Tropics. In: *Hydrology and Water Management in the Umid Tropics*. Paris, Cambridge University Press, 1993. p.167-260, 1993.
- BOOTE, K. J. Growth Stages of Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Peanut Science*, v.9, p.35-40, 1982.
- BOOTE, K. J.; STANSELL, J. R.; SCHUBERT, A. M.; STONE, J. F. *Peanut Science and Technology*. Texas: Harold E. Patter and Clyd T. Young (editores). 1982. Irrigation, Water Use, and Water Relations. p.164-205, 1982.
- BRUTSAERT, W. Evaporation into the Atmosphere: Theory, History and Applications. 2^a ed. New York: D. Reidel Publishing Company. 1982. p.57-71, 210-229, 1982.
- BUSINGER, J. A.; WYNGAARD, J. C.; IZUMI, Y.; BRADLEY, E. F. Flux-Profile Relationships in the Atmospheric Surface Layer. *Journal of the Atmospheric Science*. v.28, p.181-189, mar., 1971.
- BUSINGER, J. A. Turbulent Transfer in the Atmospheric Surface Layer. In: HUGEN, Duane A. (editor), *Workshop on Micrometeoroly*. [s.l.], American Meteorology Society. 1973, p.67-100, 1973.
- BUSINGER, J. A. Aerodynamics of vegetated Surfaces. In: DE VRIES, D. A. *et al.* (editores), *Heat and Transfer in the Biosphere*. [s.l.], Scripta Book Company. 1975. p.139-165, 1975.
- CAMILO, P. J.; GURNEY, R. J. A Resistance Parameter for Bare-soil Evaporation Models. *Soil Science*. v.141, n.2, fev., 1986.
- CEI/Centro de Estatística e Informações (Ba)- informações básicas dos municípios baianos: região econômica 6 (Rodelas). Salvador, 1994. p.758-762, 1994.
- CHOUDHURY, B. J.; REGINATO, R. J.; IDSO, S. B. An Analysis of Infrared Temperature Observation Over Wheat and Calculation of Latent Heat Flux. *Agricultural and Forest Meteorology*. v.37, p.75-88, 1986.

- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield Response to Water. Rome: FAO, 1979. (*FAO - Irrigation and Drainage, paper 33*). Tradução: Efeitos da Água no Rendimento das Culturas; de GHEYI, H. R.; SOUZA, A. A.; DAMASCENO, F. A. V.; MEDEIROS, J. F. Campina Grande, UFPB, 1994. P.27-56, 149-153, 1994.
- DYER, A. J.; HICKS, B. B. Flux-Gradient Relationships in the Constant Flux Layer. *Quart. Journal Royal Meteorology Society*. v.96, p.715-721, 1970.
- DYER, A. J. A Review of Flux-Profile Relations. *Boundary-Layer Meteorology*. Austrália. v.7, p.363-372, 1974.
- ENCARNAÇÃO, C. R. F. Estudo da Demanda de Água do Fejoeiro. Piracicaba, ESALQ/USP, 1980. p.80-87 (Dissertação de Mestrado), 1980.
- FERRI, M. G. Fisiologia Vegetal 1. São Paulo, EPU, p.16-20, 1985.
- FREVERT, D. K.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO Evapotranspiration Coefficients. *Journal Irrig. and Drainage*. ASCE, 109(IR2), p.265-270. 1983.
- GOLDBERG, S. D.; GORNAT, B.; SADAN, D. Relations between Water Consumption of Peanut and Class A Pan Evaporation During the Growing Season. *Soil Science*. v.104, p.289-246, 1967.
- GREGORY, W. C.; GREGORY, M. P.; KRAPOVICKAS, A.; SMITH, B. W.; YARBROUGH, J. A. Structures and Genetic Resources of Peanuts. In: *Peanuts: Culture and Uses*. Oklahoma: 1973. p47-58, 1973.
- HANKS, R. J.; ALLEN, J. L.; GARDNER, H. R. Advection and Evapotranspiration of Wide-row Sorghum in the Central Great Plains. *Agronomy Journal*. v.63, p.520-527, 1971.
- INCLÁN, M. G.; FORKEL, R. Comparison of Energy Fluxes Calculated with the Penman-Monteith Equation and the Vegetation Models SiB and CUPID. *Journal of Hydrology*. v.166, p.193-211, 1995.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D; ALLEN, R. G. (editores). Evapotranspiration e Irrigation Water Requirements. *ASCE, Manuals and Reports on Engineering Practices*, # 70, New York, p42-236, 1990.
- KASSAM, A. H.; KOWAL, J. M.; HARKNESS, C. Water Use and Growth of Groundnut at Samaru, Northern Nigeria. *Tropical Agriculture*, v.52, n.2, p.105-111. 1975.
- KLAR, A. E. Irrigação: Frequência e Quantidade de Aplicação. São Paulo: NOBEL. 1991, p.103-107, 1991.

- KNAPP, H. V. Evaporation and Transpiration. In: HOUGHTON, David D. ***Handbook of Applied Meteorology***. John Wiley & Sons., New York, p.537-554, 1985.
- LACHER, W. Physiological Plant Ecology: ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. 3ª Trird. New York: springer, p.237-275, 1995.
- LEITÃO, M. M. V. B. R. Balanco de Radiação e Energia numa Cultura de Soja Irrigada. Publicação: DCA/CMM/UFPB/TD nº 3, Campina Grande-Pb, 1989 (Dissertação de Mestrado)
- MAHRT, L.; EK, M. The Influence of Atmospheric Stability on Potential Evaporation. ***Journal of Climate and Applied Meteorology***. [s.l.], v.23, p.222-234, fev., 1984.
- MONIN, A. S., OBUKHOV, A. M. Basic Laws of the Turbulent Mixing in the Ground Layer of the Atmosphere. Trans. ***Geophys. Inst. Akad., Nauk USSR***. v.151, p.163-187, 1954.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and Environment. In: ***19th Symposia of the Society for Experimental Biology***. Cambrigde: University Press. 1965. v.19, p.205-234, 1965.
- MOTA, S. Preservação e Conservação dos Recursos Hídricos. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABES. 1995. p.177-178, 1995.
- MUNN, R. E. Descriptive Micrometeorology. New York: Academic Press, 1966, p.81-106, 1966.
- NAKAGAWA, J.; SCOTON, L. C.; NEPTUNE, L. Comparação entre Dois Métodos de Agricultura. ***Revista de Agricultura***. v.41, n.4, p.155-162, 1986.
- OTTONI, T. B.; MATTHIAS, A. D.; GUERRA, A. F.; SLACK, D. C. Comparison of Three Resistance Methods for Estimating Heat Flux Under Stable Conditions. ***Agricultural and Forest Meteorology***. v.58, p.1-18, 1992.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. S.; BARBIERI, V. A Model for the Class A Pan Coefficient. ***Agricultural and Forest Meteorology***. Piracicaba, v76, n2, p.75-82, 1995.
- ROSENBERG, N. J. Microclimate: the biological Environmental. [s.l.]: John Wiley & Sons. Inc., 1974, p.159-205, 1974.
- SANTOS, R. C.; MOREIRA, J. A. N.; VALE, L. V.; FREIRE, R. M. M.; ARAÚJO; J. M.; SILVA, L. C. Amendoim BR1: Nova Cultivar de Amendoim para o Nordeste Brasileiro. In: ***Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão-1992/1993***. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA. p.338-343, 1993.

- SCHULZE, E. D.; LEUNING, R; KELLIHER, F. M. Environmental Regulation of Surface Conductance for Evaporation from Vegetation. *Vegetatio*. v.121, p.79-87, 1995.
- SHARMA, M. L. Estimating Evapotranspiration. In: D. Hillel (editor). *Advance in Irrigation*. Academic Press: New York. 1985, v.3, p.213-281, 1985.
- SILVA, L. C. Respostas Ecofisiológicas e Desempenho Agronômico do Amendoim cv. BR1 Submetido a Diferentes Lâminas e Intervalos de Irrigação. UFPB, Campina Grande, 1997, p.27-81(Tese de Doutorado), 1997.
- SILVA, L. C.; MOREIRA, J. A. N.; SOBRINHO, J. T.; BELTRÃO, N. E. M. Recomendações Técnicas para o Cultivo do Amendoim no Nordeste Brasileiro. *Circular Técnica*. EMBRAPA-CNPQ: Campina Grande. n.16, outubro, p.13, 1993.
- SILVA, L. C.; FIDELES FILHO, J.; BELTRÃO, N. E. M.; RAMANA RAO, T. V.; SANTOS, J. W. Análise de Crescimento de Amendoim Submetido a Diferentes Níveis de Irrigação. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 10, 1995, Campina Grande. *Anais...*, Campina Grande. 1995, p.145-146, 1995.
- SOEGAARD, H.; BOEGH, E. Estimation of Evapotranspiration from a Millet Crop in the Sahel Combining Sap Flow, Leaf Area Index and Eddy Correlation Technique. *Journal of Hydrology*. v.166, p.265-282, 1995.
- THOMPSON, O. E.; PINKER, R. T. An Error Analysis of the Thornthwaite-Holzman Equations for Estimating Sensible and Latente Heat Fluxes Over Crop and Forest Canopies. *Journal of Applied Meteorology*, v.20, p.250-254, mar., 1981.
- THORNTHWAITE, C. W; HOLZMAN, B. Measurement of Evaporation from Land and Water Surfaces. *USDA Tech. Bull.* 817: p1-75, 1942.
- VANZYL, W. H.; DE JAGER, J. M. Accuracy of the Penman-Monteith Equation Adjusted for Atmospheric Stability. *Agricultural and Forest Meteorology*. v.41, p57-60, 1987.
- VERMA, S. B.; ROSENBERG, N. J., BLAD, B. L. Turbulente Exchange Coefficients for Sensible Heat and Water Vapor under Advective Conditions. *Journal of Applied Meteorology*. v.17, p.330-338, mar., 1978.
- WEBB, E. K. Profile Relationships: the Log-linear Range, and Extension to Strong Stability. *Quart. Journal Royal Meteorology Society*. v.96, p.67-90, 1970.
- WRIGHT, J. L. New Evapotranspiration Crop Coefficients. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. v.108, n.102, p.57-74, 1982.