



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

ADVECÇÃO SOBRE UM CULTIVO DE AMENDOIM IRRIGADO

GERTRUDES MACARIO DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE - Pb

AGOSTO - 98

048a

Oliveira, Gertrudes Macario de.

Advecção sobre um cultivo de amendoim irrigado /
Gertrudes Macario de Oliveira. - Campina Grande, 1998.
111 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".

Referências.

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

CDU 633.368(043)

GERTRUDES MACARIO DE OLIVEIRA

ADVECÇÃO SOBRE UM CULTIVO DE AMENDOIM IRRIGADO

APROVADA EM 25/8/98

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Universidade Federal da Paraíba


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


Dr. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - ESALQ

GERTRUDES MACARIO DE OLIVEIRA

ADVECÇÃO SOBRE UM CULTIVO DE AMENDOIM IRRIGADO

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Meteorologia da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção de grau de mestre.

Área de concentração: Agrometeorologia

Orientador: Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

Campina Grande, Pb

Agosto - 1998

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Afonso Jordão
de Oliveira e Lindalva Macario
de Oliveira, irmãos e esposo.

Dedico.

Ao meu filho Rodolfo,

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por sua presença em minha vida e por todas as realizações.

Em especial ao Professor Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão, pela confiança, incentivo, compreensão, amizade e eficiente orientação deste trabalho.

Ao Professor Pedro Vieira de Azevedo, pelo importante apoio dado a realização da pesquisa que originou este trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido durante a vigência do curso.

A Coordenação do Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba, na pessoa do Professor Tentravahi Venkata Ramana Rao, pelo empenho junto a PRPG para prorrogação da bolsa de estudo, sem a qual não teria sido possível concluir este trabalho.

Ao Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (CNPQ/EMBRAPA) e a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF, através de sua subsidiária HIDROSERVICE, pela valiosa contribuição e apoio dado à execução do experimento de campo desta pesquisa.

Aos Pesquisadores Malaquias da Silva Amorim Neto, José Espínola Sobrinho e José Renato Cortez Bezerra, pela participação nesta pesquisa.

A Luiz Antonio Candido pela participação e ajuda no desenvolvimento da campanha experimental de coleta de dados desta pesquisa.

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas e colegas de curso, pela amizade e em particular a Werônica Meira de Sousa, pela amizade sincera.

A Divanete Cruz Rocha, pela amizade e as orientações prestadas no decorrer deste mestrado.

A Osvaldo Monteiro Costa, pelo apoio, compreensão, companheirismo e incentivo durante a realização deste trabalho.

Ao casal Sérgio Ricardo de Araújo e Maria Dalva de Oliveira Araújo, meus segundos pais, por todos os ensinamentos de vida, por todo carinho e apoio permanente e incondicional dados ao longo de minha formação profissional.

Aos meus sobrinhos Denize, Daniel e Dario, por todo carinho e apoio, durante esta caminhada.

A Maria das Dores e Josilene, pela dedicação e carinho com meu filho nas minhas ausências.

E, finalmente, meus sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Neste estudo são analisados os efeitos da advecção e sua influência sobre um campo de amendoim irrigado na região semi-árida do nordeste brasileiro. A parte experimental desta pesquisa foi conduzida no perímetro irrigado da Estação Experimental da CODEVASF, na cidade de Rodelas - Ba (lat. 08° 50'S; long. 38° 46'W; alt. 270m), durante o período de 20 de setembro a 23 de dezembro de 1996. Durante a campanha experimental em três torres micrometeorológicas equipadas com sistemas automáticos de coleta de dados, instaladas ao longo da área de cultivo, foram medidos os seguintes parâmetros: radiação solar global, radiação refletida e radiação líquida; temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do vento a 1 e 2 metros acima da superfície; bem como o fluxo de calor no solo e a evapotranspiração. As observações micrometeorológicas foram efetuadas a cada segundo, as quais, possibilitaram médias de 5 em 5 minutos, enquanto as observações lisimétricas foram realizadas a cada 24 horas e em dois dias da semana horariamente, durante o período de 6 às 18 horas. A cultura usada foi amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivar BR-1, plantado numa área de 2 hectares, obedecendo um espaçamento de 0,5m entre fileiras e uma semeadura de cerca de 10 grãos por metro linear. Os resultados mostraram que durante a fase de solo descoberto e início da fase de germinação e crescimento vegetativo, enquanto na primeira metade da área experimental houve advecção de ar úmido, na segunda metade houve advecção de calor sensível. Já nas fases de floração e maturação ocorreu advecção de calor sensível em toda a área cultivada. Observou-se que a área de solo descoberto entre fileiras, contribuiu de forma significativa para geração de advecção local de calor sensível. Por outro lado, a irrigação exerceu forte influência no balanço de radiação, contribuindo para reduzir o albedo médio horário em até 9% e o diário em cerca de 6%. Dependendo do horário de aplicação, a influência da irrigação mostrou-se diferenciada, não só no dia em questão como no dia seguinte. Na fase de maturação a advecção de calor sensível contribuiu para que a evapotranspiração fosse maior do que a energia disponível (R_n) em cerca de 50%. A presença do lago de Itaparica deve ter contribuído para contrabalancear advecção regional de calor sensível, devido a isso, acredita-se que a maior contribuição advectiva resultou mesmo das vizinhanças imediatas do campo experimental. Observou-se que ao não ser considerado para R_n o mesmo período contabilizado para o fluxo de calor latente (evapotranspiração), erros de até 2,2 MJ/m²/dia pode ser cometido, o que pode contribuir para mascarar a ocorrência ou não de advecção.

ABSTRACT

This Dissertation deals with the effects of advection on water loss from peanut crop in the semi-arid region of northeast Brazil. The experimental part of the study was carried out during the period september 20 to december 23, 1996 in the irrigated perimeter of the CODEVASF Experimental Station, in the city of Rodelas - Ba (lat. 08° 50'S; long. 38° 46'W; alt. 270m). Three micrometeorological towers equipped with automatic data acquisition systems were installed along the cultivated area. Incident and reflected solar radiation, net radiation, dry and wet bulb temperatures, wind speed, soil heat flux and evapotranspiration were measured throughout the study period. The micrometeorological parameters were measured each second while evapotranspiration was measured once a day and twice a week hourly data was collected during daytime. The peanut crop (*Arachis hypogaea* L.) was planted in an area of 2 hectares with a spacing of 0.5 m between rows. The results showed that until the phase of vegetative growth advection of humid air occurred in the first half and advection of sensible heat in second half of the field. During the flowering phase and maturation advection of sensible heat occurred in the entire field. Bare soil surface between rows was a significant source for the production of sensible heat. Radiation balance was affected by irrigation causing a decrease of up to 9% in hourly albedo values and up to 6% in the daily mean value. In the phase of maturation sensible heat advection caused evapotranspiration to exceed net radiation by about 50%. It is found that if the same time intervals are not considered for the measurements of net radiation and evapotranspiration totals errors of up to 2.2 MJ/m²/day may occur and this in turn may make it difficult to detect the presence of advection.

SUMÁRIO

	Pag.
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
LISTA DE QUADROS.....	xiv
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	01
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	05
2.1 - Cultura.....	05
2.2 - Advecção.....	07
2.3 - Importância do fetch.....	14
2.4 - Espaçamento.....	16
2.5 - Balanço de Radiação.....	17
2.5.1 - Radiação de ondas curtas.....	17
2.5.2 - Albedo.....	18
2.5.3 - Radiação de ondas longas.....	19
2.6 - Balanço de Energia.....	21

<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS</u>	30
3.1 - Experimento de campo.....	30
3.1.1 - Localização.....	30
3.1.2 - Características climáticas.....	30
3.1.3 - Cultura.....	31
3.2 - Instalações e instrumental utilizado.....	32
3.2.1 - Instalações.....	32
3.2.2 - Instrumental utilizado.....	33
3.2.2.1 - Sensores conectados as estações automáticas.....	33
3.2.2.2 - Instrumentos de leitura direta.....	33
3.3 - Sistemática de observações.....	35
3.3.1 - Instrumentos de leitura direta.....	35
3.3.2 - Estações automáticas.....	36
3.4 - Tratos culturais.....	36
3.5 - Balanço de radiação.....	38
3.6 - Determinação do albedo (r).....	38
3.7 - Balanço de energia.....	39
3.8 - Estimativa da evapotranspiração.....	42
3.8.1 - Método aerodinâmico.....	42
3.8.2 - Método da razão de Bowen.....	44

<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	50
4.1 - Balanço de energia.....	50
4.2 - Balanço de energia durante todo ciclo de desenvolvimento da cultura.....	71
4.3 - Comparação entre LE e LEO diários.....	76
4.4 - Estimativas e medidas de evapotranspiração.....	86
4.5 - Influência da irrigação no balanço de radiação.....	92
4.6 - Estimativa do albedo.....	96
4.7 - Radiação líquida.....	98
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u>	100
REFERÊNCIAS.....	103

LISTA DE SÍMBOLOS

Latinos

- A - termo advectivo médio, $W.m^{-2}$
- c_p - calor específico do ar à pressão constante, $cal. kg^{-1}.K^{-1}$
- DAP - dias após o plantio
- e - pressão parcial do vapor d'água, mb
- g - aceleração da gravidade, m/s^{-2}
- G - fluxo de calor no solo, $W.m^{-2}$
- H - fluxo de calor sensível, $W.m^{-2}$
- Hc - fluxo de calor sensível considerando β corrigido, $W.m^{-2}$
- Ho - fluxo de calor sensível corrigido dos efeitos advectivos, $W.m^{-2}$
- k - constante de Von Kármán, adimensional
- k_h - coeficiente de difusão turbulenta de calor sensível, $m^2.s^{-1}$
- k_m - coeficiente de difusão turbulenta de quantidade de movimento, $m^2.s^{-1}$
- k_w - coeficiente de difusão turbulenta de vapor d'água, $m^2.s^{-1}$
- $K\downarrow$ - radiação de ondas curtas incidente, $W.m^{-2}$
- $K\uparrow$ - radiação de ondas curtas refletida pela superfície, $W.m^{-2}$
- $L\downarrow$ - radiação de ondas longas da atmosfera, $W.m^{-2}$
- $L\uparrow$ - radiação de ondas longas emitida pela superfície, $W.m^{-2}$
- L - calor latente de vaporização da água, $cal.kg^{-1}$
- LE - fluxo de calor latente, $W.m^{-2}$
- LEc - fluxo de calor latente considerando β corrigido, $W.m^{-2}$
- LEo - fluxo de calor latente corrigido dos efeitos advectivos, $W.m^{-2}$

- MBE - método do balanço de energia
- r - albedo, (%)
- P - energia utilizada no processo fotossintético
- P - pressão atmosférica, mb
- R_n - radiação líquida, $W.m^{-2}$
- T - temperatura do ar, (K)
- T_s - temperatura da superfície, ($^{\circ}C$)
- T&H - método segundo Thornthwaite - Holzman
- u - velocidade média do vento, $m.s^{-1}$
- Z_0 - parâmetro de rugosidade da superfície, m
- $\Delta q/\Delta z$ - gradiente vertical de umidade específica, m^{-1}
- $\Delta T/\Delta z$ - gradiente vertical de temperatura, $^{\circ}C.m^{-1}$
- $\Delta T/\Delta x$ - gradiente horizontal de temperatura, $^{\circ}C.m^{-1}$
- $\Delta e/\Delta x$ - gradiente horizontal de umidade, m^{-1}
- $\Delta u/\Delta z$ - gradiente vertical de velocidade do vento, s^{-1}

GREGOS

- β - razão de Bowen, adimensional
- β_c - razão de Bowen corrigida, adimensional
- ε - razão entre as massas molares do vapor d'água e ar seco ($m_v/m_a=0,622$)
- ε_s - emissividade da superfície, adimensional
- σ - constante de Stefan-Boltzmann, $W.m^{-2}.K^{-4}$
- ρ - densidade do ar, $kg.m^{-3}$
- ϕ - função instabilidade, adimensional
- γ - parâmetro psicrométrico, $mb.K^{-1}$

LISTA DE QUADROS

	Pag.
Quadro 1 - Localização geográfica da cidade de Rodelas-Ba.....	32
Quadro 2 - Posição das torres micrometeorológicas no campo experimental..	34
Quadro 3 - Evapotranspirômetros de lençol freático constante.....	35
Quadro 4 - Sistema de aquisição de dados (Micrologger 21X) e sistema de alimentação (painel solar).....	37
Quadro 5 - Esquematização dos fluxos de energia num volume de controle....	40
Quadro 6 - Vista da área localizada ao sul-sudeste dos evapotranspirômetros.	73

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 3.1 - Distribuição média mensal de precipitação e temperatura no município de Rodelas - Ba.....	31
Tabela 3.2 – Instrumentos utilizados nas estações automáticas e suas respectivas sensibilidades.....	34
Tabela 4.1 – Razões entre os componentes do balanço de energia e a energia disponível para os três dias selecionados durante o estágio de desenvolvimento da cultura.....	70
Tabela 4.2 – Valores médios do termo advectivo (A) e da razão percentual (A/Rn) para cada fase de desenvolvimento da cultura.....	76
Tabela 4.3 - Distribuição percentual da energia disponível entre os componentes do balanço de energia nas duas áreas do campo experimental.....	79
Tabela 4.4 – Distribuição percentual da energia disponível entre o fluxo de calor latente obtido pela método original do balanço de energia (LE) e o fluxo de calor latente obtido com a correção do β (LEc).....	81
Tabela 4.5 – Razões entre os componentes do balanço de energia original e a energia disponível em cada torre do campo experimental durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.....	83
Tabela 4.6 – Razões entre os componentes do balanço de energia considerando β_c corrigido e a energia disponível para cada torre do campo experimental durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.....	84
Tabela 4.7 - Totais de ET para o período diurno (6 a 18 horas) medidos e estimados pelos métodos do MBE e T&H para as duas áreas do campo experimental, bem como o saldo de radiação (Rn) em mm.....	90
Tabela 4.8 - Fatores de correção a serem aplicados as estimativas do albedo nos dias de irrigação e no dia seguinte em função do horário de irrigação.....	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 4.1a - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 1, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	52
Figura 4.1b - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 2, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	52
Figura 4.2a - Comportamento da umidade específica sobre o campo experimental, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	53
Figura 4.2b - Comportamento da temperatura do ar (2m) sobre o campo experimental, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	53
Figura 4.3a - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	55
Figura 4.3b - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	55
Figura 4.4a - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, em um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	56
Figura 4.4b - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 2, em um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	56
Figura 4.5a - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 1, durante um dia da fase de floração (08/11/96).....	58
Figura 4.5b - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 2, durante um dia da fase de floração (08/11/96).....	58
Figura 4.6a - Comportamento da umidade específica sobre o campo experimental, durante um dia da fase de floração (08/11/96).....	59

Figura 4.6b - Comportamento da temperatura (2m) sobre o campo experimental, durante um dia da fase de floração (08/11/96).....	59
Figura 4.7a - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, durante um dia da fase de floração (08/11/96).....	61
Figura 4.7b - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, durante um dia da fase de floração (08/11/96).....	61
Figura 4.8a - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, em um dia da fase de floração (08/11/96).....	62
Figura 4.8b - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 2, em um dia da fase de floração (08/11/96).....	62
Figura 4.9a - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 1, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).....	66
Figura 4.9b - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 2, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).....	66
Figura 4.10a - Comportamento da umidade específica sobre o campo experimental, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).....	67
Figura 4.10b - Comportamento da temperatura (2m) sobre o campo experimental, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).....	67
Figura 4.11a - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).....	68
Figura 4.11b - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).....	68
Figura 4.12a - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, em um dia da fase de maturação (11/12/96).....	69

Figura 4.12b - Fluxos LE e LEc obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 2, em um dia da fase de maturação (11/12/96).....	69
Figura 4.13a - Comportamento dos componentes do balanço de energia ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura na área 1..	74
Figura 4.13b - Comportamento dos componentes do balanço de energia ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura na área 2..	74
Figura 4.14a – Comportamento da umidade específica sobre o campo experimental, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.....	75
Figura 4.14b – Comportamento da temperatura do ar (2m) sobre o campo experimental, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.....	75
Figura 4.15a – Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.....	78
Figura 4.15b – Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.....	78
Figura 4.16a - Partição de R_n entre os componentes do balanço de energia para cada fase de desenvolvimento da cultura na área 1.....	80
Figura 4.16b - Partição de R_n entre os componentes do balanço de energia para cada fase de desenvolvimento da cultura na área 2.....	80
Figura 4.17a – Fluxos LE e LEc obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.....	82
Figura 4.17b – Fluxos LE e LEc obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.....	82
Figura 4.18 – Comportamento da velocidade média diária do vento a 2m de altura ao longo do campo experimental, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.....	85

Figura 4.19a - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 1, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	87
Figura 4.19b - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 2, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).....	87
Figura 4.20a - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 1, durante um dia da fase de floração (08/11/96).....	88
Figura 4.20b - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 2, durante um dia da fase de floração (08/11/96).....	89
Figura 4.21a - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 1 em um dia da fase de maturação (11/12/96).....	91
Figura 4.21b - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 2, em um dia da fase de maturação.....	91
Figura 4.22a - Comportamento dos componentes do balanço de radiação durante um dia em que houve irrigação.....	93
Figura 4.22b - Comportamento dos componentes do balanço de radiação durante um dia em que não houve irrigação.....	93
Figura 4.23 - Comportamento médio horário do albedo durante dia com e sem irrigação.....	94
Figura 4.24 – Comportamento do albedo observado e estimado ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do amendoim.....	95
Figura 4.25 - Diferença entre R_n integrado durante o período diurno e integrado de 9 horas do dia em questão a 9 horas do dia seguinte.....	99

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Considerável atenção tem sido dada aos processos que envolvem a utilização da água, substância vital para sobrevivência na Terra. No que concerne a agricultura, é indiscutível a necessidade do conhecimento das perdas de água por evaporação e transpiração das diferentes superfícies naturais. A variabilidade espacial e temporal da precipitação nas regiões semi-áridas, contribui para uma grande irregularidade espacial dos solos e da cobertura vegetal, bem como, dos fluxos de calor e vapor d'água à superfície (Stewart et al., 1994). Segundo Moran et al. (1994), ambientes semi-áridos cobrem 40% da superfície continental da Terra, sendo portanto, um componente importante no sistema climático da superfície terrestre. Unland et al. (1996) afirmam que as regiões semi-áridas são climatologicamente sensíveis, porque mudanças leves no clima global, potencialmente podem resultar em maiores mudanças nas condições da superfície local.

A deficiência hídrica verificada nas regiões áridas e semi-áridas, tem motivado vários estudos objetivando determinar o consumo de água necessário ao desenvolvimento de muitas culturas. Portanto, a necessidade de se conhecer as melhores técnicas de irrigação para melhor aproveitamento da

água é de extrema relevância, principalmente, nas regiões onde a irrigação exerce uma grande influência sobre o clima adjacente e a partição de energia à superfície (de Vries, 1959).

O estudo da distribuição espacial e temporal dos parâmetros que afetam a produção agrícola, principalmente relacionados ao balanço hídrico e ao zoneamento agrícola, bem como, o estudo da camada limite superficial da atmosfera, que relaciona os processos turbulentos que ocorrem na interface superfície-atmosfera, são fundamentais para o conhecimento preciso das perdas de água de superfícies vegetadas para a atmosfera (evapotranspiração).

Os métodos observacionais para determinação da evapotranspiração como lisímetros e evapotranspirômetros, embora sejam precisos, têm o inconveniente de suas volumosas estruturas serem difíceis e onerosas, e suas operações se restringem aos locais de instalação. Devido a essas dificuldades, surgiu uma grande diversidade de métodos indiretos para determinação das taxas de evapotranspiração, porém, muitos não fornecem bons resultados. Desta forma, faz-se necessários ajustá-los as condições locais, uma vez que as características atmosféricas variam no tempo e no espaço, e que ocorrem importantes interações entre a vegetação e a atmosfera, que podem causar alterações nas taxas de evapotranspiração. Sendo assim, estudos visando identificar soluções para estes problemas, se constituem em elementos de grande importância para um melhor conhecimento do sistema solo-planta-atmosfera.

Nos estudos envolvendo interação vegetação-atmosfera, a maioria dos modelos considera a vegetação como um dossel estável e fechado, de estrutura uniforme e assume que a evaporação do solo é pequena e desprezível. Contudo, em estudos de perdas d'água em culturas com pouca densidade de plantas, deve-se dar igual atenção aos fluxos evaporativos do solo e da cultura, pois estes podem ter magnitudes iguais e suas importâncias relativas variarem com a cobertura vegetal.

Nas estimativas de evapotranspiração, é muito importante considerar a energia adicional na forma de advecção, visto que, a advecção de calor sensível de superfícies descobertas e secas pode representar uma fonte significativa de energia a ser considerada, quando são quantificadas as perdas de água por evapotranspiração em regiões áridas e semi-áridas (Monteny, 1972; Rosenberg, 1972; Villa Nova, 1973; Leitão, 1989; Prueger et al., 1996). A energia advectada por calor sensível de uma superfície seca para uma superfície vegetada bem umedecida, aumenta a energia disponível para evapotranspiração, bem como, o gradiente de pressão de vapor entre a parcela de ar advectada e a superfície vegetada úmida mais fria. Ou seja, esta parcela de ar seco e quente, ao ser transportada na direção do vento, sobre uma superfície bem umedecida, tem parte de sua energia colocada a disposição desta superfície, o que resulta num aumento da evapotranspiração. Nestas condições, a entrada lateral de calor sensível, contribui efetivamente para aumentar a energia sobre a superfície úmida.

O conhecimento da energia advectada, possibilita irrigações mais eficientes, pois esta exerce influência diferenciada ao longo de um campo experimental. Assim, as plantas que se encontram próximas da bordadura, estão mais sujeitas aos efeitos de advecção do que àquelas que se encontram mais afastadas. Ou seja, na medida que o ar quente e seco advectado vai penetrando num campo umedecido, os efeitos sobre a evapotranspiração vão diminuindo. O oposto ocorre quando o ar advectado é úmido. Desta forma, para o uso mais adequado da água e suprimento mais eficiente das necessidades hídricas das plantas, irrigações diferenciadas são necessárias para um planejamento mais racional e eficiente do uso da água durante o ciclo da cultura.

Finalmente, considerando que devido a sua importância, a advecção deve ser melhor estudada na região semi-árida e que muitos modelos combinados se baseiam apenas na hipótese de que os fluxos de vapor de água e calor sensível são gerados ou dissipados num único nível da vegetação, a presente pesquisa teve como objetivos principais:

- Usar modelos de dois níveis, para estudar os efeitos da advecção, visando quantificar sua influência sobre a evapotranspiração em um campo de amendoim irrigado; e

- Identificar os modelos que sob as condições semi-áridas estudadas, possam estimar de forma mais precisa a evapotranspiração em culturas, com vistas a otimizar a irrigação.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - CULTURA

O amendoim é uma planta dicotiledônea, da família Leguminosae e subfamília Papilionoidea, gênero *Arachis*. A espécie *Arachis hypogaea* L. é a que apresenta maior valor econômico, em termos de amendoim cultivado (Gregory et al. 1973). Esta é uma planta anual, herbácea, pubescente, ramificada, de porte geralmente ereto e pequeno ou rasteiro, com ciclo variável de 100 a 140 dias, dependendo da cultivar (Silva et al. 1993).

Boote (1982) analisando estágios de crescimento vegetativo e reprodutivo das cultivares de amendoim spanish e virginia, concluiu que as descrições de estágio de crescimento uniforme são importantes para alguns métodos, pois, fornecem bases mais precisas para o planejamento de práticas culturais, além de descrever todo ciclo de crescimento vegetativo. Outros estudos tem sido conduzidos para investigar os efeitos da deficiência hídrica sobre a cultura do amendoim em diferentes estágios de crescimento (Billaz e Ochs, 1961; Pallas et al., 1979; Nageswara Rao et al., 1989).

Pandey et al. (1984), comparando o comportamento de quatro leguminosas (soja, caupi, amendoim e feijão mungo), sob condições variadas de

suprimento hídrico, concluíram que o amendoim foi a cultura que menos sofreu adversamente os efeitos da deficiência hídrica.

Embora o amendoim seja uma cultura mesófila, apresenta grande adaptação à seca, por isto, tem sido extensivamente cultivado em regime de sequeiro em regiões semi-áridas, onde os índices pluviométricos e sua distribuição usualmente limitam seu crescimento e produtividade (Pandey et al. 1984). De acordo com Nakagawa et al. (1986), o amendoim se desenvolve bem em regiões onde a precipitação média anual atinge 540 mm.

Apesar da cultura do amendoim ser considerada resistente à seca, para seu incremento no nordeste brasileiro, vários estudos de adaptação à região, têm sido conduzidos. Távora et al. (1985) estudando o comportamento de oito cultivares de amendoim submetidas a diferentes níveis de disponibilidade hídrica, concluíram que as cultivares apresentam potenciais de produtividade diferentes nos diversos níveis de umidade; que os níveis de produtividade apresentam tendência generalizada de redução com o aumento da deficiência hídrica; contudo, a cultivar PI 165 317 apresentou um elevado potencial produtivo, tanto sob condições ótimas de umidade, como de deficiência hídrica; a deficiência hídrica não afetou a qualidade das sementes e nem dos frutos produzidos.

Távora e Melo (1991) estudando a resposta de três cultivares de amendoim à imposição de ciclos diferenciados de deficiência hídrica, concluíram que a deficiência hídrica em tratamentos onde a água foi restringida, determinou redução na área foliar/planta, número de folhas/planta e área foliar unitária, bem

como, da produção de vagens em 62%. Esses autores também verificaram que a transpiração nas duas superfícies foliares foi grandemente reduzida em resposta à deficiência hídrica, enquanto a resistência estomática sofreu aumentos substanciais. Contudo, o amendoim apresentou rápida capacidade de recuperação após cessado o estresse, em apenas 24 horas, a transpiração e a resistência estomática atingiram os mesmos níveis da área de controle.

Silva et al. (1996) avaliando a influência de lâminas diferenciadas de irrigação sobre o crescimento, índice de área foliar e taxas de crescimento cultural e de produção de fitomassa da cultivar BR-1, verificaram que a cultura do amendoim reagiu diferentemente aos tratamentos de irrigação a que foi submetida, confirmando portanto, que a água, é um dos fatores ambientais que interferem no crescimento vegetativo.

Fideles Filho et al. (1997), estudando os efeitos do estresse hídrico na produção da cultura do amendoim, também submetido a tratamentos diferenciados de lâminas de irrigação e turno de rega, confirmaram que ao diminuir a lâmina de água aplicada e aumentar o turno de rega, afeta consideravelmente a produtividade.

2.2 - ADVECÇÃO

O processo de transporte horizontal de propriedades atmosféricas unicamente pelo deslocamento de massa na atmosfera é definido como

advecção, que pode ser usada como sinônimo de transporte de energia ou massa num dado plano horizontal na direção do vento. A energia consumida no processo de evapotranspiração (ET) de uma superfície vegetada é fornecida basicamente pela radiação líquida (R_n). No entanto, em regiões semi-áridas e áridas, estudos têm mostrado que a contribuição de uma fonte adicional, pode muitas vezes exceder a energia disponível à superfície, essa energia adicional é fornecida por advecção local ou regional. Segundo Liston (1995) o transporte horizontal de momentum, calor e umidade, resultante de superfícies heterogêneas é comumente referido como advecção local.

Estudos tem sido realizados em muitas partes do mundo para explicar os efeitos da advecção como fonte adicional de energia ao processo de evapotranspiração sobre superfícies vegetadas. Uma terminologia para descrever os efeitos da advecção foi sugerida por Tanner (1957), denominando de efeito de oásis, a energia advectada retirada do ar gerada em áreas secas circunvizinhas, que se desloca horizontalmente em forma de calor sensível.

Philip (1959) definiu advecção local como troca de energia, umidade ou momentum devido a heterogeneidade horizontal e para quantificar os erros nas estimativas de evapotranspiração devido aos efeitos advectivos, desenvolveu uma teoria física básica, com aproximação matemática, obtendo uma solução da equação de difusão atmosférica em duas dimensões para condições limite específicas. Esta teoria tem servido de base a muitos estudos que utilizam a equação do balanço de energia e incluem os efeitos advectivos na estimativa da evapotranspiração.

Slatyer e McIlroy (1961), discutindo o transporte advectivo de escala global, sugerem que mesmo sobre áreas homogêneas úmidas de larga escala, ou em nível superior, advecção devido ao movimento de sistemas sinóticos, pode levar o calor latente a exceder a radiação líquida disponível. Crawford e Dyer (1962) estudando a advecção regional, verificaram que esta permaneceu constante em todas as partes do campo cultivado, enquanto a componente local era máxima na margem do campo e diminui na direção predominante do vento, alcançando um valor desprezível a uma certa distância.

Em regiões sub-úmidas e semi-áridas, ET de culturas bem umedecidas frequentemente excede a energia líquida por um fator de 2 ou mais (Rosenberg, 1969 a,b; Rosenberg e Verma, 1978). McIlroy e Angus (1964), verificaram que em partes da Austrália, a advecção de calor sensível regional foi responsável por taxas de ET duas vezes maiores do que a radiação líquida disponível. Rider et al. (1963), Dyer e Crawford (1965), Goltz e Pruitt (1970) e outros afirmam que a advecção de calor sensível local resulta em aumento de ET imediatamente na direção predominante do vento.

Penman et al. (1967) examinando a influência da advecção sobre a evaporação e transpiração, concluíram que onde a advecção é representativa, as influências locais podem ser conseqüentemente grande, de modo que algumas relações gerais para estimativas da evapotranspiração podem ser modificadas para investigações locais.

Lang (1973) aplicando a teoria de Philip, concluiu que a advecção local pode causar erros nas estimativas de evapotranspiração pelo método do balanço de energia. Estes erros são sensíveis as condições de estabilidade atmosférica, a natureza da descontinuidade local, bem como a altura na qual os gradientes horizontais são tomados. Este autor ao analisar a ordem de magnitude dos gradientes horizontais de temperatura e umidade, concluiu serem estes, cerca de 20 a 200 vezes menores do que os respectivos gradientes verticais. Sendo assim, sugere que cuidados especiais devem ser tomados na instalação dos instrumentos para medir gradientes horizontais. Hanks et al. (1971), citados por Lang (1973), encontraram uma diferença de 45% entre a evapotranspiração estimada pelo método do balanço de energia e medidas do fluxo de água no solo efetuadas com sonda de neutrons.

Lang et al. (1974) ao analisarem a influência da advecção local sobre a evapotranspiração de uma cultura de arroz irrigado em região semi-árida, concluíram que a teoria de Philip (1959), apresentou uma certa consistência na determinação da estimativa da evapotranspiração para diferentes distâncias da margem principal de predominância do vento.

Jury e Tanner (1975), ao apresentarem uma modificação na fórmula de estimativa da evapotranspiração de Priestley e Taylor, incluindo déficit de saturação, para explicar a advecção local sobre uma cultura de batata irrigada, concluíram que o modelo apresentou bom ajustamento e aperfeiçoamento substancial em relação a fórmula não modificada, com α ajustado

experimentalmente para determinada cultura e clima. Os autores sugerem que a correção do efeito da advecção deve ser feita acompanhada de testes adicionais.

Ao se estudar a advecção de calor sensível sobre uma área vegetada, três situações podem ser encontradas para identificar as fontes de origem do ar: advecção entre fileiras - causada por considerável exposição de solo seco entre fileiras do dossel; advecção de borda ou local - causada por corrente de ar quente através de uma superfície com descontinuidade de temperatura, umidade e rugosidade; e advecção regional ou de grande escala - causada por massas de ar quente e seca produzidas em extensas regiões quentes e secas movendo-se através de uma superfície vegetada bem umedecida (Hanks et al., 1971, Brakke et al., 1978).

Rosenberg e Verma (1978) ao conduzirem estudo em cultura de alfalfa irrigada em Mead - Nebraska, durante o período de seca prolongada em 1976, verificaram a existência de uma grande contribuição da advecção de calor sensível. A evapotranspiração atingiu valores de 4,75 a 14,22 mm/dia, excedendo em 10 mm/dia no terceiro dia estudado, quando R_n não forneceu mais do que 7 mm/dia. Por outro lado, esse estudo mostrou que durante todo período experimental, LE excedeu a soma $R_n + G$.

Oke (1979), estudando o balanço de energia sobre um gramado suburbano irrigado em Vancouver - Canadá, concluiu que a energia usada na evapotranspiração excedeu a energia disponível, tanto em termos de totais

diários, como de totais horários, atribuindo esta situação, a geração de advecção de calor sensível nas superfícies circunvizinhas.

Shouse et al. (1980) ao compararem a performance de diferentes modelos para prognosticar a evapotranspiração potencial em cultura de feijão, numa região árida dos Estados Unidos, durante três verões sucessivos, concluíram que todos os modelos que oferecem facilidade para recalibração ou correção das mudanças do déficit de vapor, mostraram-se adequados sob variadas condições advectivas.

Sumayao et al. (1980), utilizando o método do balanço de energia para determinar a evapotranspiração em culturas de milho e sorgo e avaliar a influência da temperatura da superfície foliar e da advecção sobre a mesma, concluíram que a evapotranspiração real (ET) destas culturas sob boas condições de umidade do solo, excedeu a radiação líquida, quando a temperatura do ar foi superior a 33°C, e que um maior fluxo de calor sensível produziu aumentos de 23 e 44% nas taxas de ET em milho e sorghum, respectivamente. Quando a disponibilidade de água no solo apresentou um déficit de mais 35%, as folhas perderam turgência, aumentando a resistência estomática e a temperatura em relação a temperatura do ar, conseqüentemente diminuindo a transpiração. Estes autores sugerem que o conhecimento das temperaturas da superfície foliar e do ar, pode ser um indicador útil do nível de stress hídrico das plantas.

Singh e Taillefer (1986), ao examinarem a influência da advecção de escala-sinótica sobre a performance da fórmula de Priestley-Taylor e o valor de α

sobre uma floresta ao norte de Quebec, observaram que os valores de α derivados por técnicas que utilizam a razão de Bowen, na presença de advecção de ar quente, especialmente quando a superfície se encontrava úmida, foi maior do que 1,26 porém, quando os efeitos de advecção foram pequenos, os valores de α aproximaram-se da unidade. Portanto, α pode variar significativamente dependendo da disponibilidade de umidade no solo e das características da superfície sob condições turbulentas.

Estudos têm comprovado que os métodos empíricos usualmente subestimam a evapotranspiração em regiões áridas e semi-áridas sob condições de moderada e forte advecção de calor sensível. Segundo Costa (1989) os métodos empíricos mostram-se insensíveis aos fatores integrados do clima que determinam a evapotranspiração, principalmente no caso das regiões áridas, onde a advecção de calor sensível e latente está sempre presente. Este autor afirma que o fraco desempenho dos métodos empíricos para estimar a evapotranspiração, está associado a falta de adaptação destes modelos às condições semi-áridas locais.

Leitão et al. (1990) estudando o balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil, concluíram que 23% de energia adicional fornecida por advecção foram utilizados na evapotranspiração.

Segundo Santos et al. (1991) o modelo de Priestley-Taylor deve ser aplicado com cautela para intervalos de tempo pequeno, face à variação em α .

Gash e Stewart (1975) e de Bruin e Keijman (1979) citados por estes autores, concluíram que o valor de α é fortemente influenciado pela advecção.

Sorbjan (1995) estudando os fluxos de calor na camada limite convectiva, verificou que ao negligenciar a advecção de ar frio, ocorre uma subestimação dos fluxos e a de ar quente a uma sobrestimação.

Prueger et al. (1996) estudando a evaporação e o desenvolvimento da camada limite local sobre uma superfície irrigada em região árida, observaram que a contribuição da advecção de calor sensível, calculada em função de perfis de vento, representou de 28 a 90% da evaporação total.

2.3 - IMPORTÂNCIA DO FETCH

Quando perfis de temperatura e pressão de vapor d'água são medidos bem acima da superfície, onde o ar é turbulento e as velocidades são grandes, os gradientes são pequenos e difíceis de serem medidos. Além disso, se os sensores estão em um nível onde a pressão de vapor, a temperatura e o vento não estão em equilíbrio com a superfície, a distância entre o início do campo e o ponto onde se encontram os sensores (fetch) deve ser grande o bastante para evitar divergência devido a advecção, ou seja, faz-se necessário amostragens espaciais para obter-se valores representativos (Tanner, 1960; Fritschen e Van Bavel, 1963).

Em pesquisas micrometeorológicas, para eliminar os efeitos advectivos, é essencial a definição de um fetch adequado. Brakke et al. (1978) analisando as magnitudes relativas das componentes de advecção de calor sensível local e regional, em experimento conduzido em Mead - Nebraska, concluíram que a advecção regional de calor sensível contribuiu de 15 a 50% para o total diário de energia consumida pela evapotranspiração, enquanto a advecção local de calor sensível forneceu de 1 a 14% da energia consumida pela evapotranspiração.

Heilman e Brittin (1989) estudando os requisitos para determinação de fetch em medidas de fluxos de calor latente e sensível através da razão de Bowen, observaram que para uma razão de Bowen pequena, o método pode ser usado com sucesso nas proporções fetch-altura de 20:1, ao invés do valor usado na maioria das vezes, ou seja, 100:1.

Stannard (1997) afirma que para medidas corretas dos fluxos de calor sensível e latente através da razão de Bowen, determinações de fetch são mais complexas do que para medidas de correlações turbulentas, porque na razão de Bowen, os sensores são colocados em dois níveis. Segundo este autor, diminuindo as alturas dos sensores, reduz-se o fetch requerido. Stannard (1997) afirma também que a vantagem relativa, em termos de requerimento do fetch do método da razão de Bowen sobre o método da correlação turbulenta, é que o fetch diminui quando a rugosidade da superfície aumenta.

2.4 - ESPAÇAMENTO

Considerável atenção tem sido dada aos estudos de espaçamento entre fileiras de plantas, visando contornar as elevadas taxas de evapotranspiração. Hanks et al. (1971) ao conduzirem estudo para avaliar a advecção como uma fonte adicional de energia para a evapotranspiração entre fileiras de sorgo na Grande Planície Central, observaram que na área irrigada 64% da energia disponível foi usado pela evapotranspiração, enquanto na área não irrigada foi apenas 21%. Este estudo também mostrou que a advecção foi mais evidente entre 0 e 40 m da margem onde penetrou o vento, contribuindo com cerca de 30% do total de energia usado pela evapotranspiração nas áreas irrigadas.

Chin Choy e Kanemasu (1974), verificando o efeito do espaçamento entre fileiras sobre o balanço de energia em cultura de sorgo, concluíram que o dossel de fileiras largas consumiu cerca de 10% a mais de água do que o dossel de fileiras estreitas e que o calor sensível entre os dois espaçamentos de fileiras, contribuiu significativamente para as diferenças em ET, favorecendo a uma maior transpiração das plantas de fileiras largas. Estes autores observaram ainda que as elevadas taxas de evapotranspiração sobre fileiras largas na primeira parte do período de crescimento, foi proveniente da advecção entre fileira, enquanto no final deste período, resultou de advecção de larga-escala. Os citados autores sugerem que a redução do calor sensível e conseqüentemente da evapotranspiração pode ser obtida diminuindo o espaçamento entre fileiras.

O espaçamento entre fileiras em cultura de amendoim, foi reportado por Stone et al. (1976); Chin Choy et al. (1977) e McCauley et al. (1978). Estes autores ao compararem a evapotranspiração do amendoim spanish com diferentes espaçamentos entre fileiras e direções, verificaram que em fileiras estreitas, mesmo durante o período de alta demanda de água, a evapotranspiração foi baixa.

2.5 - BALANÇO DE RADIAÇÃO

O balanço de radiação a superfície representa a contabilidade da radiação que chega e sai da superfície. Portanto, seu conhecimento é fundamental para melhor planejamento das atividades agrícolas. Por outro lado, a radiação líquida representa a principal fonte de energia utilizada nos diversos processos físico-químicos que ocorrem na superfície, bem como, o principal parâmetro utilizado em métodos que estimam as perdas de água de superfícies vegetadas para a atmosfera. Dentre os estudos envolvendo a radiação líquida destacam-se: Linacre (1968); Villa Nova (1973); Leitão (1989); Azevedo et al. (1990) e Leitão (1994).

2.5.1 - Radiação de Ondas Curtas

O Sol é a fonte primária de toda energia disponível aos processos naturais que ocorrem na superfície da Terra. A radiação emitida pelo Sol apresenta diferentes comprimentos de ondas, 99% desta radiação é constituída

de ondas curtas, com comprimentos de 0,15 a 4,0 μ . No entanto, devido a reflexão das nuvens, a absorção e a difusão pela atmosfera, apenas uma parte da radiação solar que chega no topo da atmosfera, atinge a superfície da Terra. Da radiação incidente a superfície, apenas uma parte é de radiação direta, o restante representa as contribuições difusa e térmica da atmosfera.

A radiação solar que atinge a superfície da Terra é de fundamental importância para diversos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. Do total de radiação que chega a superfície, parte é imediatamente refletida, outra é transmitida e o resto é absorvida pelas plantas, diferindo portanto dentro do espectro solar. Segundo Gates (1965), as plantas absorvem cerca de 50% da radiação de ondas curtas incidente e 97% da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera. A quantidade de radiação de ondas curtas absorvida pela cultura influencia o fluxo de radiação de ondas longas emitido pela cultura, pois, influencia diretamente a temperatura da superfície (Subrahmanyam e Kumar, 1984).

2.5.2 - Albedo

A razão entre as radiações de ondas curtas refletida e incidente é denominada coeficiente de reflexão de ondas curtas (albedo), parâmetro fundamental na determinação do balanço de radiação à superfície. O albedo de uma superfície vegetada varia ao longo do período diurno, em função do ângulo de elevação do Sol e ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, em função do grau de cobertura vegetal, tipo e estado de umidade do solo, condição de

umidade do ar e com a quantidade e tipo de cobertura de nuvens (Blad e Baker, 1972; Leitão, 1989; Azevedo et al., 1990). Valores de albedo de várias culturas são apresentados por: Monteith (1965), Blad e Baker (1972); Subrahmanyam e Kumar (1984); Azevedo et al. (1990); Leitão e Azevedo (1990); entre outros.

O albedo é extremamente influenciado pela irrigação. Leitão et al. (1996) estudando o comportamento dos componentes do balanço de radiação em cultura de amendoim sob diferentes tratamentos de irrigação, observaram em parcelas mais fechadas uma redução de 1% no albedo médio diário no dia da irrigação e de 2% no dia posterior, enquanto em parcelas com maior exposição de solo verificaram uma queda bem mais pronunciada, cerca de 4%. Azevedo et al. (1990) estudando o balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil, observaram que o albedo da vegetação nos dias anteriores às irrigações, foi cerca de 3% superior aos dos dias posteriores as irrigações.

2.5.3 - Radiação de Ondas Longas

O fluxo descendente de radiação térmica emitida pela atmosfera é um importante componente do balanço radiativo a superfície da Terra e este, por sua vez, é um componente muito importante do balanço de energia (Geiger, 1959, 1966; Gates, 1980; Rosenberg et al. 1983). A radiação térmica da atmosfera em muitos estudos meteorológicos e climatológicos é normalmente estimada através de fórmulas empíricas, em função da temperatura do ar, umidade, tipo e cobertura de nuvens, que neste caso em particular, deve-se incluir um fator de correção para nebulosidade (Fitzpatrick e Stern, 1965 e Rijks, 1968).

De acordo com Allen (1971) e Hunt (1973) a emissividade da base de nuvens depende da espessura e altura da nuvem; nuvens baixas exibem alta emissividade, próximo a 1; nuvens médias tem emissividade de 0,3 a 0,8; e nuvens altas de 0,7 a 0,35.

Idso (1974) utilizando quatro equações empíricas para estimar a radiação térmica da atmosfera, concluiu que as equações da Ångström e Brunt apresentam resultados praticamente idênticos sobre todos os intervalos de temperatura e pressão de vapor. Similarmente, as equações de Swinbank e Idso-Jackson fornecem resultados essencialmente idênticos para temperaturas acima de 0°C, porém, para temperaturas inferiores a 0°C apresentam desvios significativos, com a equação de Swinbank, tornando-se completamente irreais.

A intensidade de radiação infravermelha incidente depende da nebulosidade e também da quantidade de radiação solar que alcança a superfície. Para dias de céu claro, a radiação atmosférica é perfeitamente correlacionada com a temperatura do ar sobre a superfície da Terra ou mais precisamente corresponde a radiação emitida por um corpo negro $R_a = \sigma T_a^4$ (Ineichen et al. 1984).

Heitor et al. (1991) comparando medidas de fluxo de radiação atmosférica à superfície com dados obtidos por radiosondas, verificaram que a radiação térmica e a radiação líquida podem ser estimadas com base na emissividade atmosférica, incluindo variações devido às condições atmosféricas, em particular a nebulosidade. Estes autores observaram que um elevado ângulo

solar produz uma maior incidência de fluxo atmosférico, fato também observado por Goltz e Tanner (1972).

2.6 - BALANÇO DE ENERGIA

O conhecimento dos componentes do balanço de energia sobre uma cultura agrícola, é de grande importância não só para a caracterização do microclima, mas especialmente para se estimar as perdas d'água pelo processo de evapotranspiração.

O método do balanço de energia apresentado inicialmente por Bowen (1926) sobre uma superfície natural, foi o primeiro a determinar a razão entre os fluxos de calor sensível e de calor latente numa superfície de água com base na pressão de vapor e temperatura observada sobre esta superfície, com a finalidade de determinar o processo de evaporação. Essa relação foi denominada de razão de Bowen (β) e tem sido intensivamente utilizada por muitos pesquisadores, objetivando resolver o balanço de energia sobre superfícies vegetadas.

Tanner et al. (1960), efetuando medidas de radiação líquida acima e abaixo de dosséis de milho com variadas populações de plantas, verificaram que em áreas de solo úmido com superfície seca, a evapotranspiração depende fundamentalmente da magnitude da transpiração. Contudo, embora a evaporação da superfície do solo em ambas as populações tivesse sido a mesma, a área de

alta população de plantas, apresentou maior transpiração do que a de baixa população.

Fritschen e van Bavel (1962), analisando os componentes do balanço de energia sobre superfícies evaporantes em solos áridos, verificaram que para similar radiação solar, o fluxo evaporativo de superfícies de solo úmido, foi maior do que àquele observado em superfícies de água rasa; os totais diários do fluxo de calor sensível apresentaram-se geralmente negativo, indicando que mais energia foi usada para aquecer o ar.

Yao e Shaw (1963) ao analisarem a distribuição de radiação líquida sobre populações de plantas e padrões de plantios de milho, verificaram que a razão entre a radiação líquida à superfície do solo e àquela acima da cultura, foi menor valor para um plantio de maior densidade. Foi observado ainda que para uma mesma densidade de plantio, porém, com o espaçamento entre fileiras fechado, a razão também foi menor.

Segundo Pruitt e Aston (1963) a possível desigualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta sob condições de atmosfera não neutra, determina erros nos valores da razão de Bowen, obtidos pelo método do balanço de energia. Villa Nova (1973) estudando o balanço de energia sobre cultura de arroz, verificou que este possui limitações impostas por seu próprio erro conceitual, quando são observados altos valores de β positivos ou negativos e condições de convecção livre acentuada. Segundo Sellers (1965), a aproximação ($k_h/k_v=1$) para a camada atmosférica abaixo de 1 metro de altura, não é

considerada muito grosseira, uma vez que, nela, a maior parte da turbulência está associada a rugosidade.

Segundo Hanks et al. (1971) a utilização do método do balanço de energia para estimar a evapotranspiração sobre culturas irrigadas em regiões semi-áridas, pode resultar em erros de 20 a 40 % quando não são considerados os fluxos horizontais de calor latente e sensível. Uma modificação no método da razão de Bowen, adicionando os gradientes horizontais de temperatura e pressão de vapor e a velocidade do vento para melhorar as estimativas de ET sob condições de advecção local de calor sensível, foi apresentada por Rider et al. (1963) e por Brakke et al. (1978).

Monteny (1972) afirma que a utilização do método do balanço de energia, em regiões semi-áridas, pode revelar a existência de uma grande fonte adicional de energia, a advecção, que pode aumentar em mais de 100% a evaporação. Este fato foi confirmado por Rosenberg (1972) ao observar 12,0 mm diários de evapotranspiração para uma radiação líquida de apenas 6,7 mm.

Campbell (1972) verificou que para condições de estabilidade atmosférica com $-2,5 < Ri < 0,025$, a suposição de igual difusividade para calor sensível e vapor d'água, conduz a erros inferiores a 10% na estimativa da razão de Bowen, já para culturas bem umedecidas com $\beta < 0,3$, os erros são menores do que 5%. Contudo, conclui que o uso do método do balanço de energia sobre superfícies muito secas em regiões áridas, quando β for muito grande e positivo e $Ri < -2,5$ deve ser usado com precaução.

Normalmente, algumas suposições são tomadas no uso do método do balanço de energia: primeira - os coeficientes de transferência turbulenta para o calor e vapor d'água são idênticos, sendo esta suposição válida para condições próxima da neutralidade, podendo não ser válida para fortes condições de inversão térmica; segunda - a energia utilizada no processo fotossintético pode ser negligenciada, uma vez que, quase nunca ultrapassa 3% de R_n (Villa Nova, 1973); e terceira - o fetch tomado deve ser tal, que represente no mínimo 100 vezes a máxima altura das medidas, eliminando-se portanto, os efeitos dos gradientes horizontais de temperatura e umidade (Angus e Watts, 1984).

Blaine e Rosenberg (1974) ao compararem a evapotranspiração estimada pelo método do balanço de energia com medidas lisimétricas em cultura de soja, verificaram que para condições advectivas o método do balanço de energia subestimou a evapotranspiração em até 20%, enquanto para condições não advectivas houve uma boa concordância entre a evapotranspiração medida e a estimada.

Outro parâmetro indireto importante que tem sido utilizado na determinação de taxas de evapotranspiração sobre superfícies vegetadas é a temperatura do dossel. Estimativas de evapotranspiração usando temperatura de dossel têm sido discutidas por Stone e Horton (1974); Heilman et al. (1976); Blad e Rosenberg (1976); Verma et al. (1976) e Jackson et al. (1977). Neste sentido, além de medidas efetuadas diretamente a superfície, utilizando a termometria infravermelho, também têm sido usadas informações de sensores remotos para determinar a temperatura da superfície. Entre os pesquisadores que têm utilizado

esta técnica para estimar fluxos a superfície destacam-se: Kustas, (1990); Kohsiek et al, (1993); Moran et al. (1994); Kustas et al. (1996).

Verma e Rosenberg (1978) efetuando medidas micrometeorológicas sobre alfalfa e soja concluíram que sob condições advectivas, o coeficiente de troca turbulenta para o calor sensível é geralmente maior do que para o vapor d'água e a suposição de igualdade entre estes coeficientes, consiste numa subestimação das taxas de evapotranspiração.

Muitos estudos que utilizam o método do balanço de energia, tem sido conduzidos em áreas de pastagem, culturas irrigadas ou outros tipos de vegetação como florestas, onde condições extremamente áridas não são encontradas, ou seja, condições onde β é geralmente muito pequeno. Segundo Angus e Watts (1984), não há dúvidas que sob tais condições, bons resultados são obtidos, contudo, o método pode não ter boa aproximação sob condições muito seca (β grande e positivo) ou sob condições de considerável advecção de energia (β negativo). Estes autores analisando os erros relativos em LE, concluíram que para a evapotranspiração em/ou próxima a taxas potenciais, isto é, $-0,2 < \beta < 0,2$ erros superiores a 30% em β produz erros inferiores a 5% em LE (9% quando os termos R_n e G são incluídos). Por outro lado, quando a água torna-se menos disponível e β aumenta, o erro relativo em LE (devido a erros em β) torna-se grande e pouco preciso.

Fontana et al. (1987) ao quantificarem a contribuição dos componentes do balanço de energia para uma cultura de soja irrigada e não irrigada, verificaram que em condição não irrigada, a evapotranspiração foi restringida pela falta de água no solo, havendo em decorrência, maior aquecimento do ar e do solo; e para condição irrigada houve uma contribuição de até 12% de energia adicional na forma de advecção.

Stewart et al. (1994) ao investigarem a relação entre o fluxo de calor sensível e a temperatura da superfície medida com termômetro infravermelho em oito locais semi-áridos, concluíram que o uso da fórmula aerodinâmica padrão para determinar o fluxo de calor sensível a partir de diferenças de temperatura entre a superfície e atmosfera, resulta em superestimativa.

Barr et al. (1994) ao compararem medidas de fluxos de calor sensível e latente sobre florestas caducas usando os métodos da razão de Bowen (RB) e da correlação turbulenta (CT), concluíram que as estimativas de H e LE obtidas pelo método CT, subestimou a energia disponível durante o dia em 11%, e que a energia disponível foi repartida diferentemente entre os dois métodos, CT favoreceu a H e RB a LE.

Green et al. (1994) utilizando métodos ópticos e medidas de velocidade do vento para estimar fluxos de calor sensível e momentum, obtiveram excelentes resultados e sugerem o uso desta técnica para estimativas rotineiras destes fluxos a superfície.

Kimura e Shimizu (1994) utilizando a temperatura da superfície do solo para estimar os fluxos de calor sensível e calor latente, concluíram que a precisão do modelo que considera apenas a temperatura do solo é bastante alta, entretanto, o modelo é aplicável apenas a superfícies de solo nu.

Mihailovic et al. (1995) comparando métodos de parametrização da evaporação em superfícies de solo nu a medidas obtidas pelo método da razão de Bowen, concluíram que todos os métodos considerados sobestimaram a maioria dos valores observados do fluxo de calor sensível.

Wollenweber (1995) estudando a influência da distribuição de uma camada fina de vegetação sobre a partição da energia à superfície, conclui que grandes diferenças de temperatura à superfície e de umidade podem surgir entre áreas vegetadas e solo nu, o que pode conduzir a altos fluxos turbulentos horizontal e advecção horizontal.

Ortega-Farias et al. (1996) ao avaliarem o método aerodinâmico para estimar variações diurnas do fluxo de calor sensível sobre coberturas de grama seca e umedecida em dias com nebulosidade e de céu claro, encontraram uma boa concordância entre o fluxo de calor sensível determinado pelo método aerodinâmico e pelo método do balanço de energia, com um coeficiente de determinação de 0,96. Com base nisso, sugerem que o método aerodinâmico pode ser combinado ao método do balanço de energia à superfície para estimar o fluxo de calor latente sobre variadas condições atmosféricas e de umidade do solo.

Unland et al. (1996) ao conduzirem experimento de campo em uma região desértica semi-árida, concluíram que embora medidas micrometeorológicas sejam praticáveis, existe dificuldade para obter-se consistência e precisão em condições reais de campo, devido as elevadas temperaturas e a baixa umidade relativa do ar.

Heilman et al. (1996) estudando os efeitos de uma latada sobre o balanço de energia em um vinhedo, concluíram que a direção do vento tem papel importante e que a arquitetura do dossel exerce um efeito substancial sobre o balanço de energia do solo e do dossel.

Segundo Cellier et al. (1996) as trocas de energia entre um solo nu e a atmosfera, dependem tanto dos parâmetros do solo, como das condições meteorológicas. Quanto a partição do calor sensível entre o solo e a atmosfera, concluíram que o fluxo de calor diurno no solo variou com a condutividade térmica do solo e o fluxo de calor atmosférico variou com o albedo.

Pereira et al. (1997) afirmam que o valor de β depende fundamentalmente das condições hídricas da superfície evaporante e que, quando β é negativo, ocorre transporte de calor sensível de ar mais quente para a superfície mais fria, sob condição de advecção ou de inversão térmica, LE pode suplantar R_n , já que H representa um adicional de energia disponível a superfície evaporante. Tanner (1960) citado por estes autores, afirma que o valor de $\beta = -0,5$ parece ser o limite de confiança do uso da equação do método da razão de Bowen, já que, a medida que β se aproxima de -1, a equação torna-se indefinida.

Smith et al. (1997) analisando o balanço de energia em dosséis com quebraventos no Sahel, concluíram que durante o período chuvoso R_n foi dissipado principalmente como calor latente e como calor sensível no período seco. A razão de Bowen, alcançou valores maiores do que 1,0 durante o meio dia apenas no final da estação seca e geralmente próximo a 0,0 durante os períodos mais úmidos do ano. Verificaram também que a partição de energia foi fortemente afetada durante todo o ano por advecção e entranhamento vertical, os quais foram responsáveis por aumento de mais de 60% e redução de 40% em LE, respectivamente, durante os períodos úmido e seco.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - EXPERIMENTO DE CAMPO

3.1.1 - Localização

Para realização desta pesquisa foi desenvolvido no período de 20 de setembro a 23 de dezembro de 1996, um experimento de campo numa área de aproximadamente 2 hectares, no perímetro irrigado da Estação Experimental da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF, localizada no município de Rodelas - Ba (lat. 08° 50'S; long. 38° 46'W; alt. 270m - ver quadro 1).

3.1.2 - Características Climáticas

O município de Rodelas está localizado ao norte da Bahia, a 540 km de Salvador, tem uma área de 2.823 km² e limita-se com os municípios baianos de Chorrochó, Jeremoabo, Paulo Afonso, Glória, Macururé e Estado de Pernambuco. O tipo climático característico da região é semi-árido e árido, com temperatura média anual de 26,6°C; máxima de 29,4°C e mínima de 20,8°C. O período chuvoso ocorre de novembro a abril e a pluviosidade média anual de 460 mm, a

qual concentra nos primeiros quatro meses do ano 73% do índice total (ver tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Distribuição média mensal de precipitação e temperatura no município de Rodelas-Ba.

Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Precipitação (mm)	90,5	67,2	106,0	74,1	15,9	11,1	10,3	2,6	4,8	4,0	30,4	43,0	460,2
Temperatura (°C)	28,4	28,5	28,5	27,2	25,3	23,9	23,2	23,6	25,4	27,7	28,9	28,5	26,6

3.1.3 - Cultura

A cultura implantada no experimento foi o amendoim (*Arachis hypogaea* L.), cultivar BR-1 pertencente ao grupo valência com as seguintes características: porte ereto, haste principal arroxeadada com 35 cm e seis ramos laterais; folhas de tamanho médio e coloração verde-escuro característico; flores com estandarte amarelo ouro e enervações de coloração vinho ao centro; e vagens de tamanho médio, com pouca reticulação e bico quase ausente, contendo de três a quatro sementes arredondadas vermelhas de tamanho médio.

O plantio foi efetuado em sistema de covas no sentido nordeste - sudoeste, obedecendo um espaçamento de 0,5m entre fileiras e uma semeadura de aproximadamente 10 grãos por metro linear. O solo do local é classificado como Regossol de textura arenosa.

3.2 - INSTALAÇÕES E INSTRUMENTAL UTILIZADO

3.2.1 - Instalações

Para obtenção dos parâmetros micrometeorológicos: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, velocidade do vento, radiação solar incidente e refletida, radiação líquida e fluxo de calor no solo, foram instaladas ao longo do campo experimental na direção predominante do vento (Leste), três torres micrometeorológicas. A torre-1 foi instalada a 10 m da bordadura, a torre-2 a 25 m da torre-1 e a torre-3 a 25 m da torre-2 (ver quadro 2). Para determinação da evapotranspiração, foram instalados dois evapotranspirômetros de lençol freático constante com $2,25 \text{ m}^2$ de área (ver quadro 3).



Quadro 1 - Localização geográfica da cidade de Rodelas-Ba.

3.2.2 - Instrumental Utilizado

3.2.2.1 - Sensores Conectados as Estações Automáticas

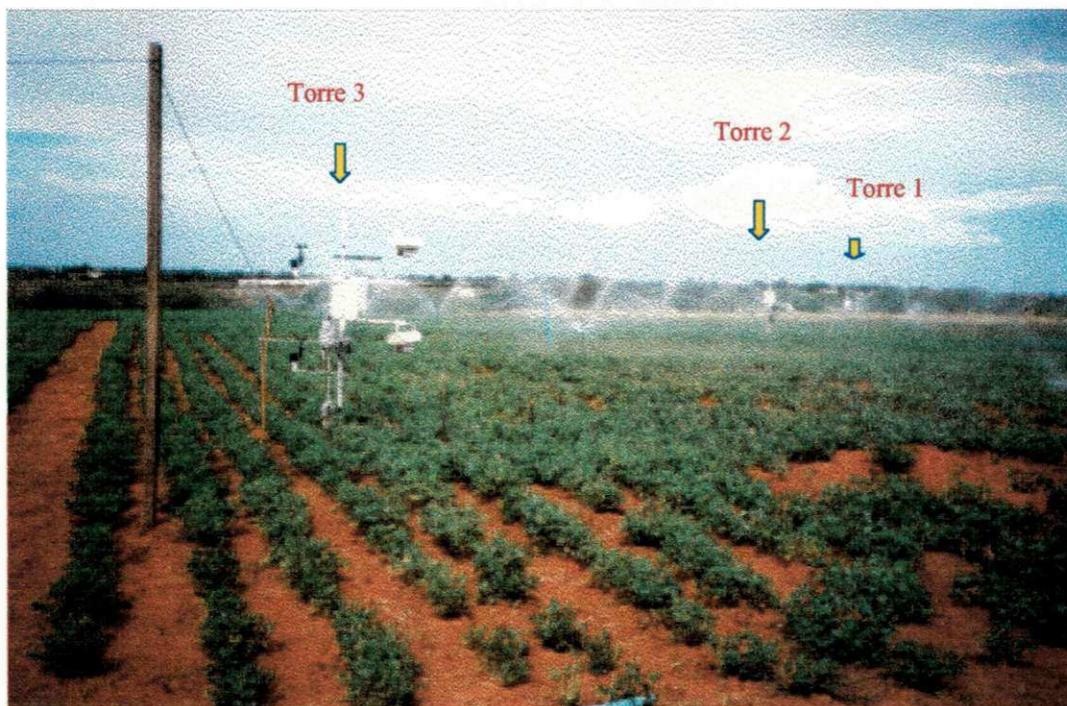
Em cada uma das três estações automáticas foi instalado o seguinte conjunto de sensores: termopares para medir temperatura de bulbo seco e bulbo úmido e anemômetros para medir velocidade do vento a 1 e 2 m acima da superfície; piranômetros para medir radiação solar incidente e refletida; saldo radiômetro para medir radiação líquida; e fluxímetro para medir fluxo de calor no solo, a 1 cm de profundidade. Na tabela 3.2 são mostrados os tipos de instrumento utilizados em cada torre e as respectivas sensibilidades.

3.2.2.2 - Instrumentos de Leitura Direta

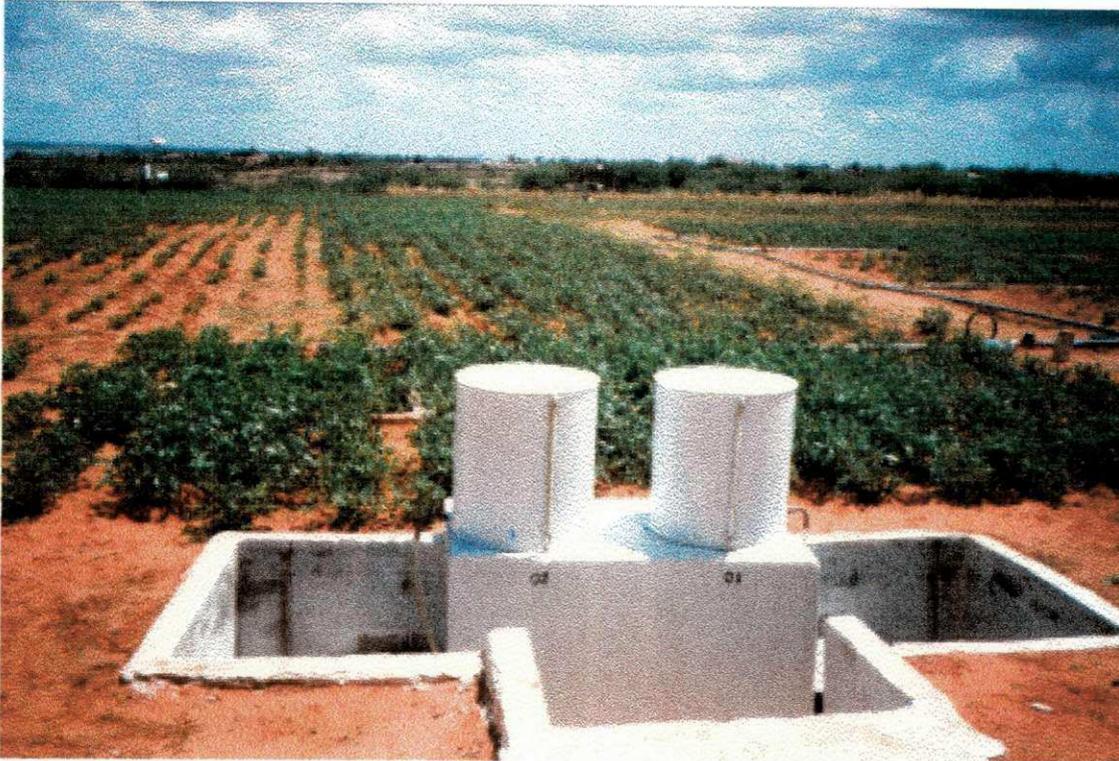
Para complementar as observações, foram utilizados ainda para medir evaporação e as perdas de água os seguintes instrumentos: 2 evapotranspirômetros de lençol freático constante; 1 tanque evaporimétrico classe A; 1 anemômetro totalizador a 0,5 metros de altura; e 1 barômetro.

Tabela 3.2 – Instrumentos utilizados nas estações automáticas e suas respectivas sensibilidades.

Parâmetros	Instrumentos	Torre -1	Torre - 2	Torre – 3	Sensibilidade
Radiação global incidente	Piranômetro	8-48 Eppley Estrela	8-48 Eppley Estrela	-	$11 \mu V/Wm^{-2}$
Radiação global refletida	Piranômetro	Eppley PSP	Eppley PSP	-	$9 \mu V/Wm^{-2}$
Saldo de Radiação	Saldo Radiômetro	REBS	REBS	Micromet Instruments	$5 \mu V/Wm^{-2}$
Temperatura Bulbo seco	Psicrometro	Termopar cobre-constantan	Termopar cobre-constantan	Termopar cobre-constantan	$0,1^{\circ} C$
Temperatura Bulbo úmido	Psicrometro	Termopar cobre-constantan	Termopar cobre-constantan	Termopar cobre-constantan	$0,1^{\circ} C$
Fluxo de calor No solo	Fluximetro	Micromet Instruments	Micromet Instruments	Micromet Instruments	$11,5 \mu V/W/m^2$
Velocidade Do vento	Anemômetro Young	M.R.Y. Model 03002	M.R.Y. model 03002	M.R.Y. model 03002	0,2 m/s



Quadro 2 - Posição das torres micrometeorológicas no campo experimental.



Quadro 3 - Evapotranspirômetros de lençol freático constante.

3.3 - SISTEMÁTICA DE OBSERVAÇÕES

3.3.1 - Instrumentos de Leitura Direta

Durante o período experimental, diariamente as 09:00h foram efetuadas observações no tanque classe A, evapotranspirômetros e barômetro, bem como, medições horárias de 06:00 às 18:00h em dois dias da semana dos seguintes parâmetros: evapotranspiração, evaporação, velocidade do vento a 0,5m de altura e pressão atmosférica. A partir de 25 de outubro de 1996, semanalmente efetuou-se o acompanhamento da altura das plantas, tomando-se

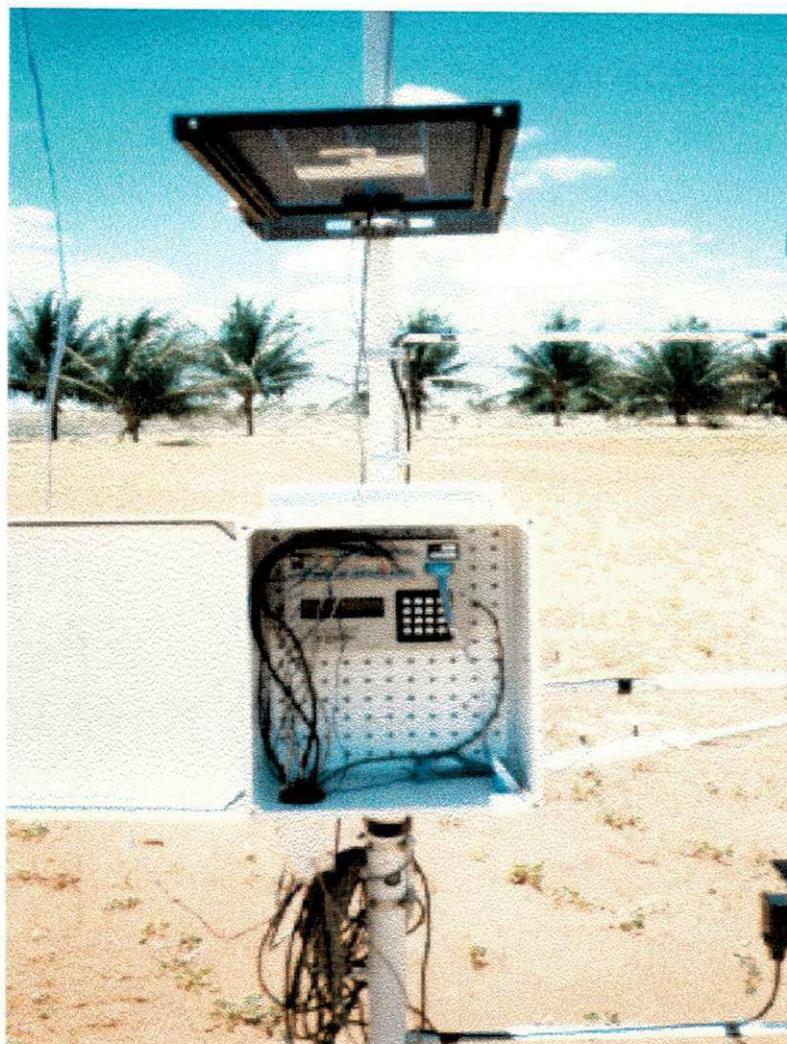
dez pontos da área experimental e um em cada evapotranspirômetro. Para melhor documentar a evolução da cultura, foram ainda tiradas fotografias em diversos pontos da área experimental.

3.3.2 - Estações Automáticas

Para coleta dos dados nas três torres micrometeorológicas, foram instalados sistemas automáticos de aquisição de dados de alta resolução, micrologger 21X, alimentados por painéis solares (ver quadro 4), os quais, possibilitaram leituras a cada segundo, que geraram médias de 5 em 5 minutos de todos os parâmetros. Estes dados, após serem armazenados na memória do 21X, a cada 48 horas eram coletados em módulos de armazenamento e transferidos para um computador, onde realizavam-se as operações de processamento dos mesmos.

3.4 - TRATOS CULTURAIS

Durante todo o período experimental, a cultura esteve livre da ação de ervas daninhas, já que capinagens periodicamente foram efetuadas, visando proporcionar a cultura um bom desenvolvimento. As necessidades de adubação, bem como o controle de doenças e pragas, tiveram o acompanhamento dos técnicos da EMBRAPA, com a finalidade de evitar problemas ao desenvolvimento da cultura.



Quadro 4 - Sistema de aquisição de dados (Micrologger 21X) e sistema de alimentação (paínel solar).

As irrigações foram efetuadas por aspersão utilizando aspersores com vazão média de 8mm/h e turno de rega de 2 dias com duração de 1h, durante a primeira metade do experimento (setembro - outubro) e com duração de 2:15h na segunda metade (novembro-dezembro).

3.5 - BALANÇO DE RADIAÇÃO

O balanço de radiação à superfície é dado pela soma dos fluxos de radiação de ondas curtas e ondas longas, e expresso pela seguinte equação:

$$Rn = (K \downarrow - K \uparrow) + (L \downarrow - L \uparrow) \quad (3.1)$$

onde: Rn é a radiação líquida, $K \downarrow$ é a radiação de ondas curtas incidente, $K \uparrow$ é a radiação de ondas curtas refletida pela superfície, $L \downarrow$ é a radiação de ondas longas da atmosfera e $L \uparrow$ é a radiação de ondas longas emitida pela superfície.

Quando são conhecidos o albedo (r) e a temperatura da superfície (T_s), a equação (3.1) pode ser escrita na forma:

$$Rn = (1 - r)K \downarrow + (L \downarrow - \varepsilon_s \sigma T_s^4) \quad (3.2)$$

onde: ε_s é a emissividade da superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

3.6 - DETERMINAÇÃO DO ALBEDO (r)

Neste estudo, o albedo instantâneo foi obtido pela razão entre a radiação refletida e a radiação incidente, ambas mediadas a cada cinco minutos,

enquanto o albedo médio diário foi determinado pela razão entre os valores médios de radiação refletida e radiação incidente, obtidos a cada cinco minutos, integrados para o período diurno, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Desde modo, utilizou-se para o cálculo do albedo a equação:

$$r = \frac{K \uparrow}{K \downarrow} \quad (3.3)$$

3.7 - BALANÇO DE ENERGIA

Ao estudar-se um sistema, para que haja eficiência é necessário caracterizá-lo bem, visto que, em algumas situações a existência de complexibilidade requer uma análise aprofundada de todos os elementos envolvidos. No caso específico do balanço de energia é muito comum adotar-se um volume de controle para estudá-lo, idealizado especificamente quando se trata de superfícies contendo algum tipo de vegetação, como sendo um volume hipotético, localizado mais ou menos no centro da área vegetada com determinada altura, comprimento e largura, contendo plantas e ar, sendo denominado de meio, a parte externa que interage com esse sistema. As principais trocas de energia que ocorrem entre o sistema e o meio, são caracterizadas no quadro 5.

$$R_n = \pm LE \pm H \pm G \pm P \pm LE' \pm H' \quad (3.4)$$

onde:

R_n é o saldo de energia radiante;

LE é o fluxo convectivo de calor latente;

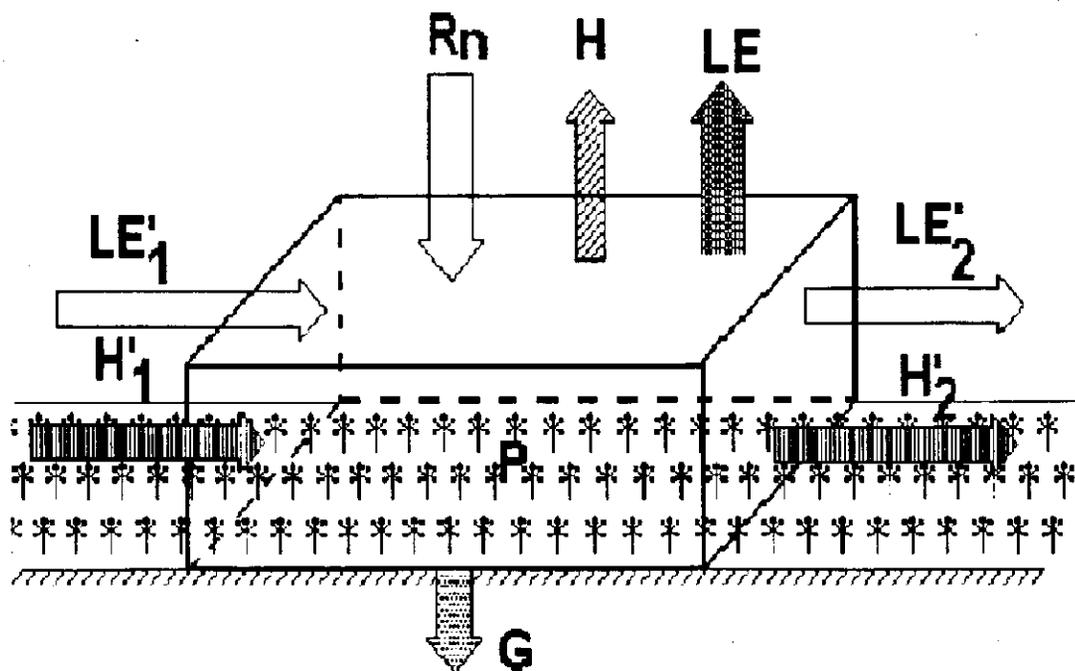
H é o fluxo convectivo de calor sensível;

G é o fluxo de calor no solo;

P é a energia utilizada no processo fotossintético;

LE' é o fluxo advectivo de calor latente;

H' é o fluxo advectivo de calor sensível.



Quadro 5 - Esquemática dos fluxos de energia num volume de controle.

A presença de advecção de calor sensível pode ser inferida pela equação (3.4). Se $LE > (Rn + G)$, calor sensível é retirado do ar e consumido na evapotranspiração, cujo efeito é considerado como a principal evidência de advecção.

Os fluxos verticais na camada limite superficial, tais como: fluxo de calor sensível, fluxo de vapor d'água e fluxo de quantidade de movimento, devido a difusão turbulenta, são assumidos, serem proporcionais aos gradientes verticais de temperatura, umidade específica e velocidade do vento, respectivamente. Neste contexto, as seguintes equações são relevantes:

$$H = -\rho c_p K_h \frac{\Delta T}{\Delta Z} \quad (3.5)$$

$$LE = -\rho L K_w \frac{\Delta q}{\Delta Z} \quad (3.6)$$

$$\tau = \rho K_m \frac{\Delta u}{\Delta Z} \quad (3.7)$$

onde: ρ é a densidade do ar, c_p é o calor específico do ar à pressão constante, L é o calor latente de vaporização da água, K_h , K_w e K_m são os coeficientes de transferência turbulenta para o calor sensível, vapor d'água e quantidade de movimento, respectivamente, e finalmente $\frac{\Delta T}{\Delta Z}$, $\frac{\Delta q}{\Delta Z}$ e $\frac{\Delta u}{\Delta Z}$ são os gradientes médios de temperatura, umidade específica e velocidade do vento.

3.8 - ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

As estimativas de evapotranspiração sobre superfícies vegetadas, são baseadas em princípios físicos e fisiológicos, ou mesmo em equações empíricas que utilizam parâmetros climáticos comuns. Para sua determinação existem vários métodos, os quais, dão geralmente uma aproximação da situação real. Estes métodos são classificados como: métodos do balanço hídrico; métodos climatológicos e métodos micrometeorológicos.

3.8.1 - Método Aerodinâmico

Thorntwaite e Holzman (1939) foram os pioneiros na aplicação da aproximação aerodinâmica para estimar a evapotranspiração. O transporte turbulento de calor sensível (H), de calor latente (LE) e de quantidade de movimento (τ) na camada limite superficial são dados pelas equações (3.5), (3.6) e (3.7). Deste modo, dividindo-se a equação (3.6) pela equação (3.7), obtém-se:

$$\frac{LE}{\tau} = -L \frac{K_w}{K_m} \frac{\Delta q}{\Delta U} \quad (3.8)$$

Considerando que para uma camada próxima a superfície, situada logo acima da vegetação, o perfil de velocidade do vento (perfil aerodinâmico de Prandtl) é dado por:

$$U(Z) = \frac{1}{k} \left(\frac{\tau_o}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \ln \frac{Z}{Z_o} \quad (3.9)$$

onde: $\left(\frac{\tau_o}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$ é a velocidade de fricção, k é a constante de Von Kármán igual a 0.41, Z_o é o parâmetro de rugosidade da superfície e τ_o é o fluxo de quantidade de movimento do ar imediatamente acima da superfície de contato.

Assumindo-se que os níveis Z_1 e Z_2 são muito próximos, os valores correspondentes a τ_1 e τ_2 são aproximadamente iguais a τ_o , pode-se escrever:

$$\Delta U(Z) = \frac{1}{k} \left(\frac{\tau_o}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \ln \frac{Z_1}{Z_2} \quad (3.10)$$

Combinando-se agora as equações (3.8) e (3.10) obtém-se:

$$ET = \rho K^2 \frac{K_w}{K_m} \frac{(q_1 - q_2)(u_2 - u_1)}{\left[\ln \frac{Z_1}{Z_2} \right]^2} \quad (3.11)$$

Considerando que quando se trata de uma cultura existe deslocamento em relação ao plano zero, tem-se:

$$ET = \rho K^2 \frac{K_w}{K_m} \frac{(q_1 - q_2)(u_2 - u_1)}{\left[\ln \frac{(Z_1 - d)}{(Z_2 - d)} \right]^2} \quad (3.12)$$

Quando se assume que os coeficientes de difusão turbulenta ($K_w = K_h = K_m$) na camada próximo a superfície do solo são iguais (equilíbrio neutro), a equação (3.12) resulta em:

$$ET = \rho K^2 \frac{(q_1 - q_2)(u_2 - u_1)}{\left[\ln \frac{(Z_1 - d)}{(Z_2 - d)} \right]^2} \quad (3.13)$$

Esta é a clássica equação de Thornthwaite-Holzman para estimar a evapotranspiração, onde q_1 e q_2 são as umidades específicas nas alturas Z_1 e Z_2 , u_1 e u_2 , as velocidades do vento nas mesmas alturas.

3.8.2 - Método da Razão de Bowen

O método micrometeorológico da razão de Bowen que se baseia no balanço de energia, tem sido amplamente utilizado para estimar as perdas de água de superfícies vegetadas. Desde que possam ser medidos ou estimados com precisão os termos do balanço energético, a evapotranspiração pode ser determinada com bastante realidade, a partir de medidas micrometeorológicas relativamente fácil de serem obtidas.

Considerando que a radiação disponível a superfície é repartida em outras formas de energia, o balanço de energia em sua forma simplificada pode ser escrito como:

$$Rn = LE + H + G + P \quad (3.14)$$

onde: Rn é o saldo de radiação; LE é o fluxo de calor latente, sendo L o calor latente de evaporação ($L = 595 - 0,51t$); H é o fluxo de calor sensível; G é o fluxo de calor no solo e P é a energia utilizada no processo fotossintético pelas plantas, a qual, segundo Villa Nova (1973) por ser muito pequena pode ser negligenciada.

Por definição a razão entre o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente ($\frac{H}{LE}$) é denominado de razão de Bowen, logo substituindo-a na equação (3.14) tem-se:

$$Rn = LE(1 + \beta) + G \quad (3.15)$$

onde:

$$\beta = \frac{c_p K_h \Delta T}{LK_w \Delta q} \quad (3.16)$$

Para corrigir os efeitos de instabilidade atmosférica, tomando como base o número de Richardson, para alturas próximas da superfície, tem-se:

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{\frac{\Delta T}{\Delta Z}}{\left(\frac{\Delta u}{\Delta Z}\right)^2} \quad (3.17)$$

Para condições de estabilidade:

$$\phi_h = \phi_w = \phi_m = (1 - 5R_i)^{-1,0} \quad (3.18)$$

Para condições de instabilidade:

$$\phi_h = \phi_w = \phi_m = (1 - 16R_i)^{-0,5} \quad (3.19)$$

Como tanto para os casos mencionados, como para condições de neutralidade, os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível e vapor d'água são iguais ($K_h = K_w$), substituindo-se a umidade específica ($q = \frac{0,622e}{P}$) na eq. (3.16) tem-se:

$$\beta = \frac{c_p P}{0,622L} \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.20)$$

onde $\gamma = \frac{c_p P}{0,622L}$ (parâmetro psicrométrico); logo:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.21)$$

Substituindo a equação (3.21) na equação (3.15) resulta finalmente:

$$LE = \frac{(Rn - G)}{\left(1 + \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e}\right)} \quad (3.22)$$

Este método é conhecido como Método do Balanço de Energia, segundo Budiko.

Segundo Verma et al. (1978) a suposição de igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta para o calor sensível e vapor d'água sob condições de advecção de calor sensível, pode causar erros significativos nas estimativas de LE efetuadas pelo método do balanço de energia (MBE). Para contornar o problema e corrigir estes erros, propuseram a seguinte expressão:

$$\frac{K_h}{K_w} = 2,95 + 3,72 \frac{\Delta T}{\Delta e} + 1,72 \left(\frac{\Delta T}{\Delta e}\right)^2 \quad (3.23)$$

$$-0,1 < \frac{\Delta T}{\Delta e} < -0,8$$

onde ΔT e Δe são os gradientes verticais de temperatura e pressão de vapor, respectivamente.

Substituindo a equação (3.23) na equação (3.16), obtem-se a nova razão de Bowen corrigida (β_c):

$$\beta_c = \frac{Pc_p}{L\varepsilon} \left[2,95 + 3,72 \frac{\Delta T}{\Delta e} + 1,72 \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right)^2 \right] \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.24)$$

Deste modo, a equação do balanço de energia à superfície pode ser escrita da seguinte forma:

$$Rn = LE(1 + \beta_c) + G \quad (3.25)$$

Brakke et al. (1978) propuseram uma modificação no método do balanço de energia incluindo a variação horizontal dos fluxos de calor latente e sensível. Desta forma, a divergência do fluxo de calor sensível entre a superfície e um nível acima é dada por:

$$H_1 - H_0 = \rho C_p \int_0^{z_1} u \frac{\partial T}{\partial x} dz \quad (3.26)$$

onde H_1 é o fluxo vertical de calor sensível para uma altura Z_1 , ρ é a densidade do ar, c_p é o calor específico do ar, u a velocidade média do vento, e $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ o gradiente horizontal de temperatura tomado na direção do vento predominante. Similarmente para o fluxo de calor latente, tem-se:

$$LE_1 - LE_0 = \frac{\rho L \varepsilon}{P} \int_0^{z_1} u \frac{\partial e}{\partial x} dz \quad (3.27)$$

onde P é a pressão atmosférica, $\varepsilon = 0,622$ é a razão entre os pesos moleculares do vapor d'água e ar seco, e e a pressão parcial do vapor d'água.

Tomando agora a equação do balanço de energia para um nível z_0 na forma que segue:

$$LE_0 = Rn - G - H_0 \quad (3.28)$$

Substituindo na eq. (3.28) as eqs. (3.26) e (3.27) e considerando $\beta_1 = H_1/LE_1$, tem-se:

$$LE_0 = \frac{Rn - G}{1 + \beta_1} - \frac{\rho}{1 + \beta_1} \int_0^{z_1} u \left(\beta_1 \frac{L\varepsilon}{P} \frac{\partial e}{\partial x} - C_p \frac{\partial T}{\partial x} \right) dz. \quad (3.29)$$

A eq. (3.29) representa a equação modificada do método do balanço de energia acrescida do termo advectivo.

Finalmente, substituindo na equação (3.29) a razão de Bowen (β_1) pelo seu valor corrigido (β_c) dado pela equação (3.24), tem-se:

$$LE_0 = \frac{Rn - G}{1 + \beta_c} - \frac{\rho}{1 + \beta_c} \int_0^{z_1} u \left(\beta_c \frac{L\varepsilon}{P} \frac{\partial e}{\partial x} - C_p \frac{\partial T}{\partial x} \right) dz. \quad (3.30)$$

Com os valores de LE_0 calculados pela eq. (3.30) e as medidas de Rn e G , foi calculado o fluxo de calor sensível da superfície (H_0) utilizando-se a eq. (3.28).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são discutidos os resultados obtidos nesta pesquisa, os quais, são apresentados em forma de gráficos e tabelas.

4.1 - BALANÇO DE ENERGIA

Nas figuras 4.1a e 4.1b são apresentadas as curvas dos valores médios horários dos componentes do balanço de energia para a primeira metade (área 1) e segunda metade (área 2) do campo experimental, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96), onde R_n e G foram medidos e os fluxos de calor latente (LE_o) e calor sensível (Ho), corrigidos dos feitos advectivos com base nos gradientes horizontais de temperatura e umidade. Observando a figura 4.1a verifica-se que o fluxo de calor latente (LE_o) sobre a área 1, apenas excedeu a energia disponível (R_n) no período de 0 às 6 horas e depois das 17 horas, indicando ocorrência direta de advecção de calor sensível nestes intervalos. Contudo, analisando o comportamento da umidade específica (figura 4.2a), verifica-se que durante todo o dia a mesma foi maior na torre 1 (entrada do campo) do que na torre 2 (metade do campo), indicando que houve transporte

horizontal de umidade para a área 1, provavelmente, devido a passagem do vento sobre uma área vegetada irrigada próxima.

Por outro lado, analisando o balanço de energia sobre a área 2 (figura 4.1b), verifica-se que praticamente durante todo o dia LE_o foi superior a R_n , e ao contrário do que ocorreu na área 1 H_o foi negativo, indicando que houve advecção de calor sensível nesta área. Através das curvas apresentadas na figura 4.2a, vê-se que a umidade específica foi durante o dia inteiro menor na torre 2 do que na torre 3, indicando que o ar sobre a área 2, esteve menos úmido no início do que final desta. Em contra partida, analisando agora as curvas de temperatura do ar (figura 4.2b), observa-se que não houve uma diferença acentuada de temperatura entre as três torres, embora, esta tenha sido um pouco maior na torre 2. Ou seja, de fato o que realmente contribuiu para a ocorrência das situações opostas verificadas nas áreas 1 e 2, foi a advecção diferenciada de umidade sobre as mesmas.

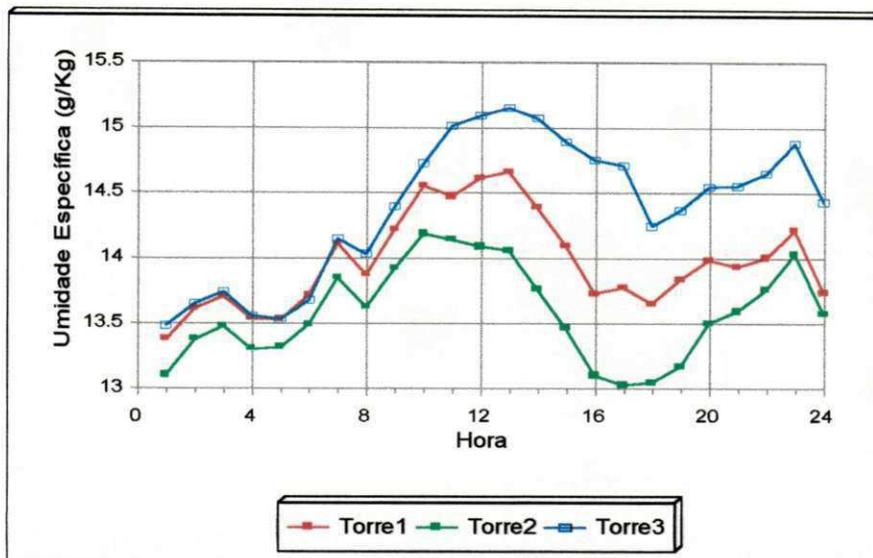


Figura 4.2a - Comportamento da umidade específica sobre o campo experimental, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).

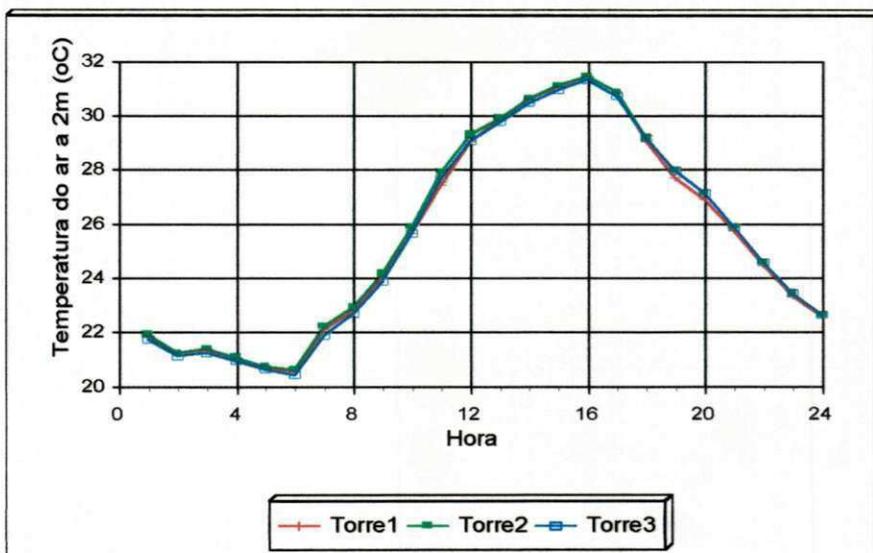


Figura 4.2b - Comportamento da temperatura do ar (2m) sobre o campo experimental, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).

Comparando agora as curvas do fluxo de calor latente obtido pelo método original do balanço de energia (LE) e L_{Eo} corrigido dos efeitos advectivos pela eq. (3.30), apresentadas na figura 4.3a, verifica-se L_{Eo} < LE, esta diferença representou cerca de 12,2% de R_n, indicando que de fato houve entrada de ar úmido nesta área, que contribuiu para diminuir o déficit de saturação do ar e conseqüentemente, o fluxo de calor latente. Esta mesma análise efetuada para a área 2 (figura 4.3b) mostra L_{Eo} > LE, ou seja, houve entrada de ar quente e seco nesta área, que representou cerca de 24,1% de R_n e contribuiu para aumentar L_{Eo}. Esta situação provavelmente ocorreu, devido ao aquecimento do solo no próprio campo experimental, ainda quase totalmente descoberto em toda sua extensão. Esta influência advectiva foi mais sentida na área 2, tendo em vista que o vento passava inicialmente na área 1, para depois chegar a esta área. O comportamento do fluxo de calor latente obtido pelo método original do balanço de energia (LE) e o fluxo de calor latente (LE_c) com β corrigido pela eq. (3.24) para as áreas 1 e 2 do campo experimental durante o dia 24/09/96 é apresentado nas figuras 4.4a e 4.4b. Observa-se nestas figuras que praticamente não houve diferença entre os fluxos nas duas áreas. Ou seja, enquanto na área 1 LE representou 82,1% de R_n, LE_c representou 82,3% e na área 2, enquanto LE representou 83,4% de R_n, LE_c representou 83,6%, indicando uma diferença de apenas 0,2% em ambas as áreas. Isto indica que para este dia em particular corrigindo-se apenas o valor de β , não houve uma melhor aproximação do fluxo de calor latente, como no caso da correção que considera os gradientes horizontais de temperatura e umidade, ou seja, não foi possível detectar a ocorrência de advecção.

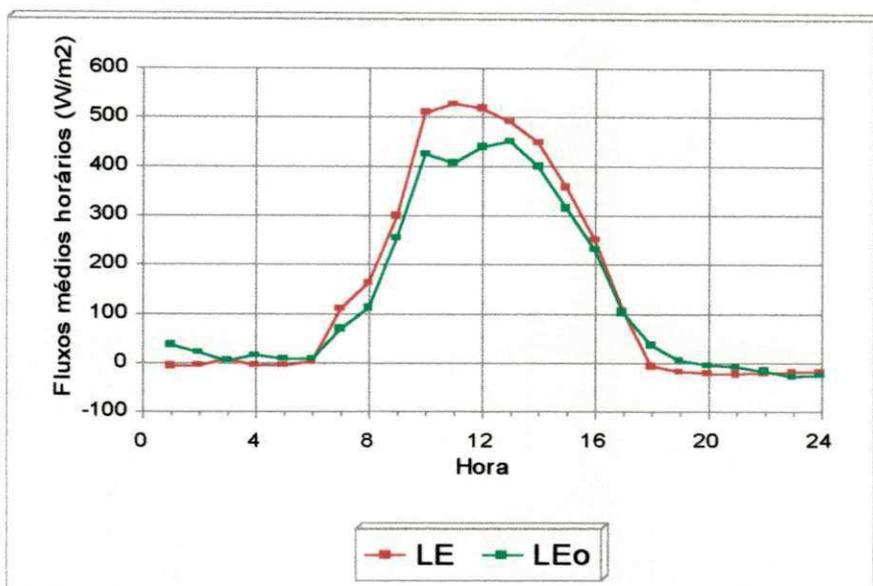


Figura 4.3a - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).

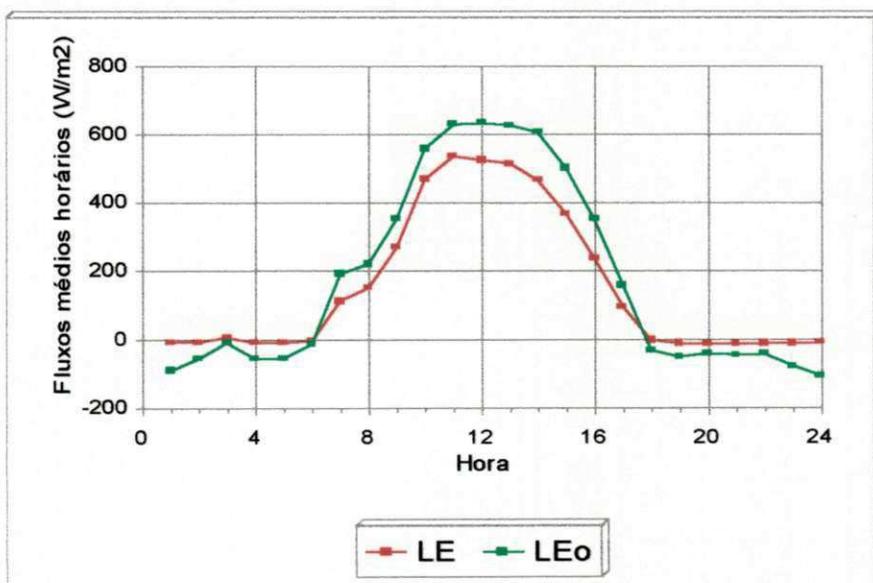


Figura 4.3b - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).

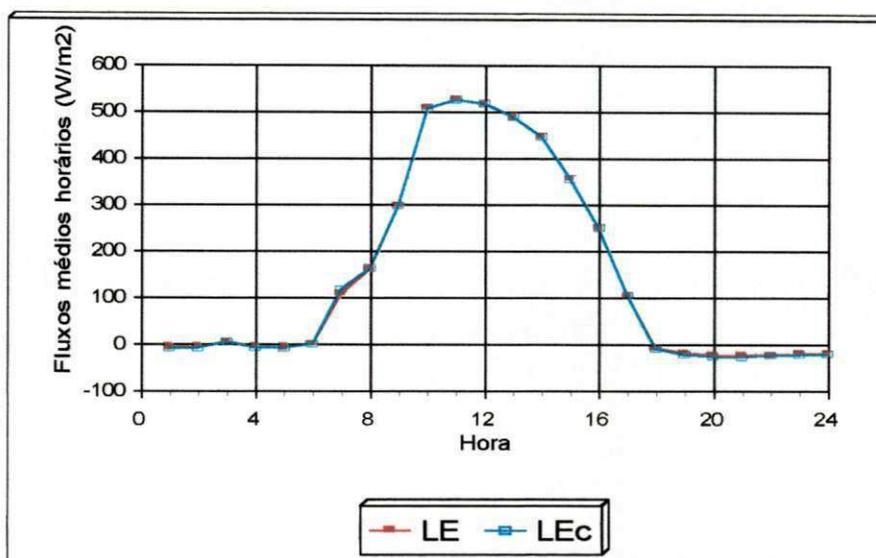


Figura 4.4a - Fluxos LE e LEc obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).

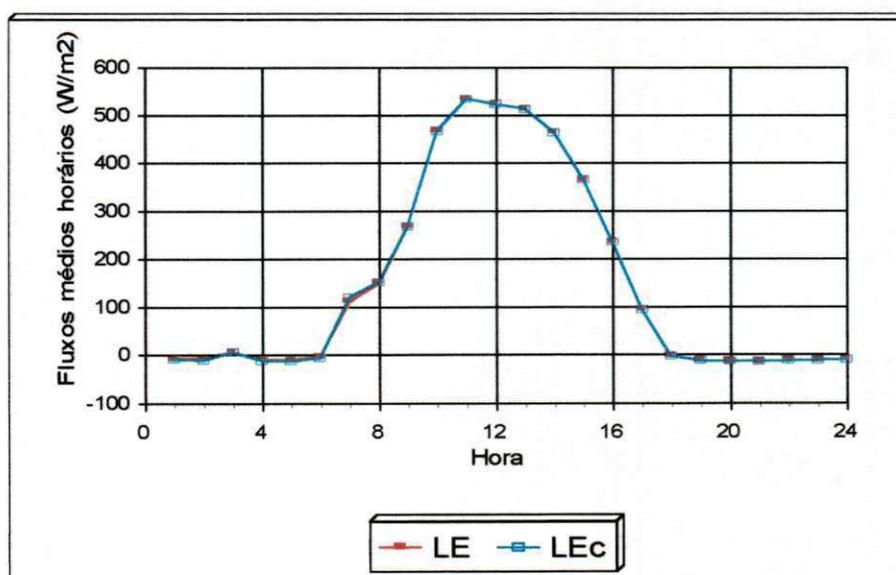


Figura 4.4b - Fluxos LE e LEc obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 2, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).

Nas figuras 4.5a e 4.5b são apresentados os valores médios horários dos componentes do balanço de energia para as áreas 1 e 2, durante um dia da fase de floração (08/11/96). Observa-se nas curvas da figura 4.5a que durante todo o período diurno R_n foi superior a LE_o , indicando que não houve contribuição adicional de energia na área 1. Da mesma forma, analisando o comportamento de H_o , nota-se que durante todo o dia este foi positivo, com uma diminuição apenas entre 10 e 13 horas, mostrando que não houve advecção de calor sensível sobre a área 1. Por outro lado, observando as curvas de umidade (fig. 4.6a) nota-se que apenas houve pequena diferença de umidade sobre as torres 1 e 2 entre 8 e 14 horas, com a umidade um pouco maior sobre a torre 1.

Analisando o balanço de energia na área 2 (fig. 4.5b), verifica-se que LE_o foi superior a R_n entre 0 e 8 horas e depois das 16 horas, indicando que houve contribuição adicional de energia nestes intervalos. Por outro lado, observando o comportamento de H_o , nota-se que o mesmo foi positivo entre 8 e 15 horas, o que sugere não ter havido advecção de calor sensível neste horário. Pode-se ver através das curvas de umidade da fig. 4.6a que a mesma situação observada na área 1 também ocorreu na área 2, ou seja, a diferença de umidade entre a torre 2 e a torre 3 foi muito pequena, porém, a umidade na torre 2 foi um pouco maior do que na torre 3 durante todo o dia. Em contra partida, analisando as curvas de temperatura do ar (fig. 4.6b) verifica-se que embora esta diferença não tenha sido tão acentuada entre as três torres, ocorreu um maior aquecimento na torre 1 no horário de 8 às 14 horas.

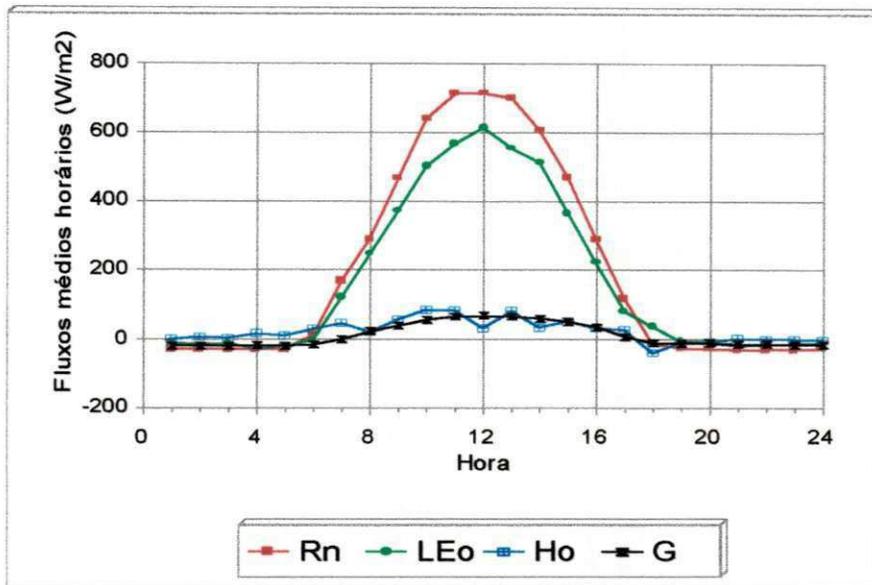


Figura 4.5a - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 1, durante um dia da fase de floração (08/11/96).

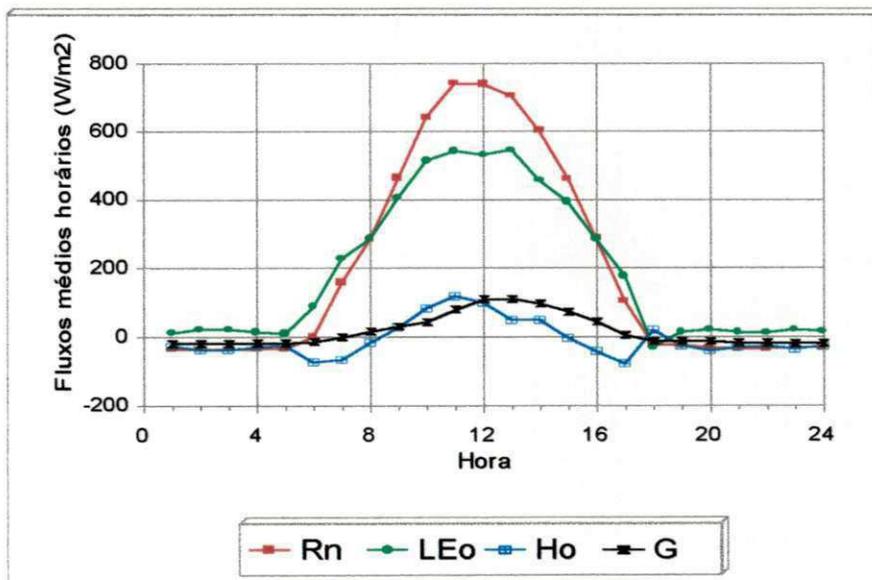


Figura 4.5b - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 2, durante um dia da fase de floração (08/11/96).

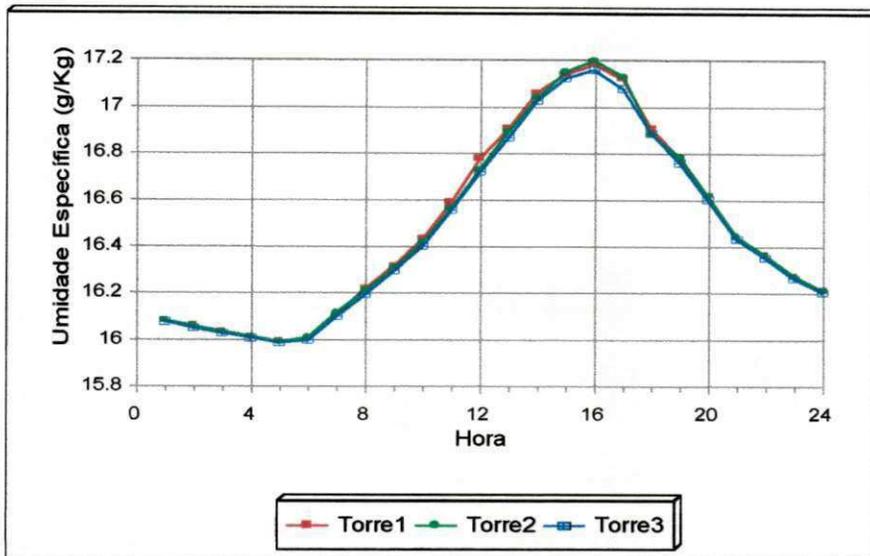


Figura 4.6a - Comportamento da umidade específica sobre o campo experimental, durante um dia da fase de floração (08/11/96).

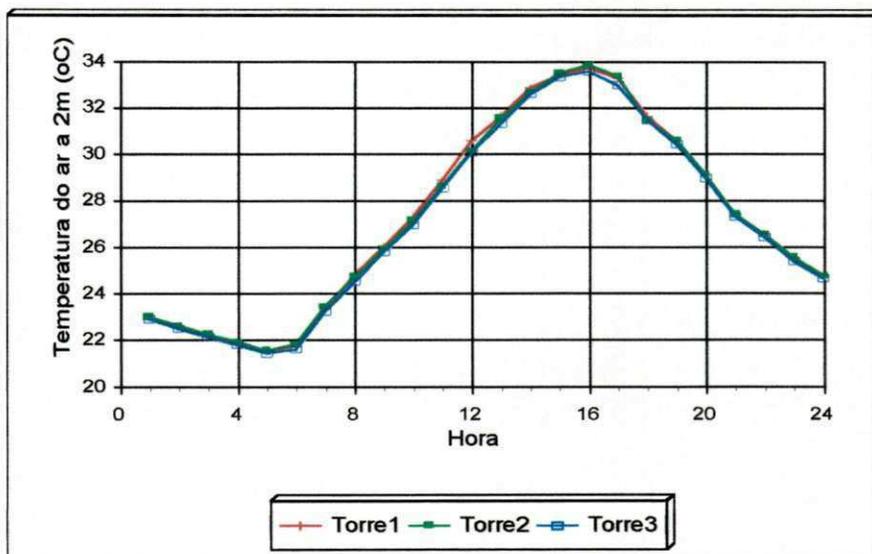


Figura 4.6b - Comportamento da temperatura (2m) sobre o campo experimental, durante um dia da fase de floração (08/11/96).

Analisando as curvas da figura 4.7a que representam o comportamento do fluxo de calor latente na área 1 para o dia 08/11/96, verifica-se $LE_o > LE$, essa diferença representou 2,3% de R_n , ou seja, entre 9 e 15 e de 17:30 às 20 horas, houve transporte de ar quente e seco para a área 1. Da mesma forma, observando-se as curvas da figura 4.7b percebe-se $LE_o > LE$ durante todo o dia, cuja diferença foi um pouco maior na área 2, representando 9,2% da energia disponível, isto indica por outro lado, uma ocorrência de advecção de calor sensível mais acentuada nesta área, o que de certo modo vem confirmar o que foi dito antes, ocorrência de advecção local dentro do próprio campo experimental. Já o comportamento do fluxo de calor latente obtido pelo método original do balanço de energia (LE) e (LE_c) com β corrigido pela equação (3.24) para o dia 08/11/96 para as duas áreas do campo experimental, apresentado nas figuras 4.8a e 4.8b, mostra que neste dia enquanto na área 1 LE representou 78,3% de R_n , LE_c representou 78,6%, já para a área 2, enquanto LE representou 75,2% de R_n , LE_c representou 75,5%. Ou seja, verifica-se que a diferença entre o fluxo de calor latente obtido pelo método original do balanço de energia e o obtido com o β corrigido foi de apenas 0,3% em ambas as áreas. Desde modo, verifica-se que também para as condições observadas neste dia não houve uma melhora da estimativa de LE, ao aplicar-se a correção a β tomando como base apenas os gradientes verticais de temperatura e umidade conforme recomenda Verma et al. (1978).

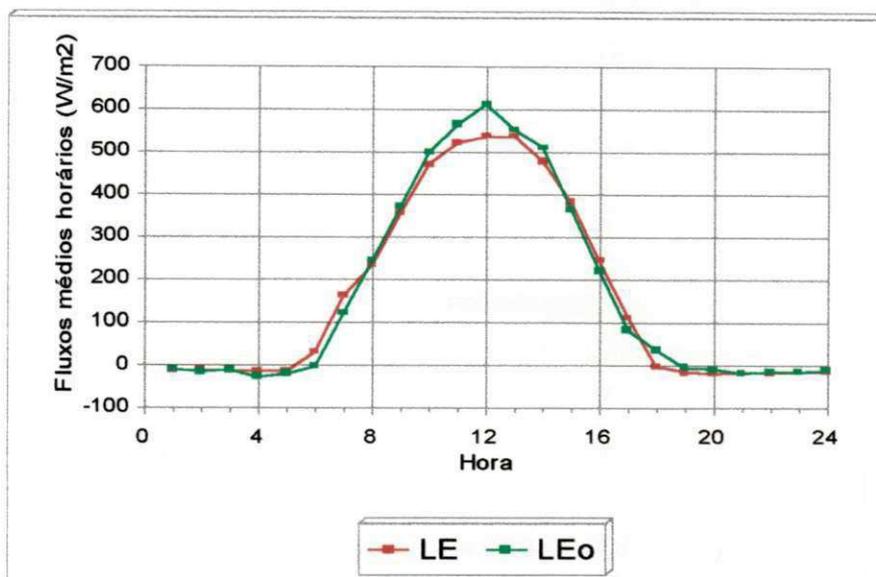


Figura 4.7a - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, durante um dia da fase de floração (08/11/96).

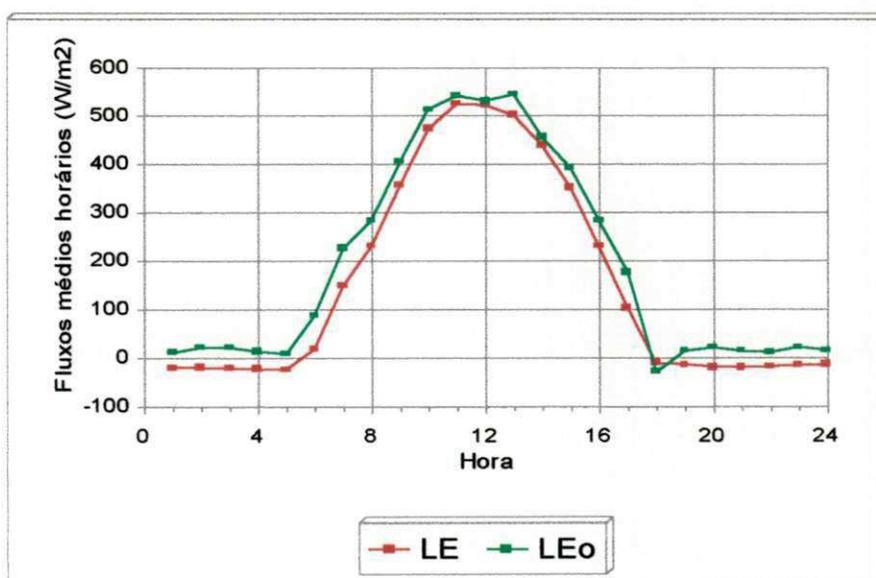


Figura 4.7b - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, durante um dia da fase de floração (08/11/96).

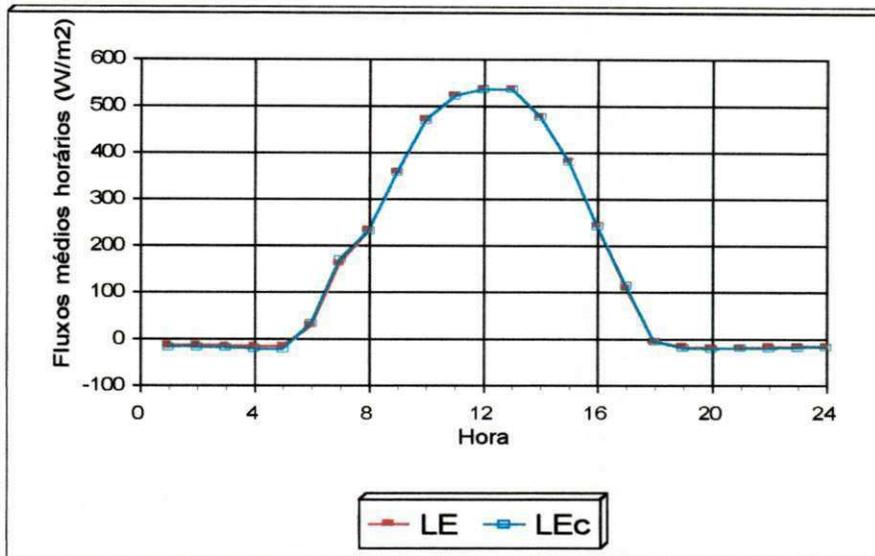


Figura 4.8a - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, em um dia da fase de floração (08/11/96).

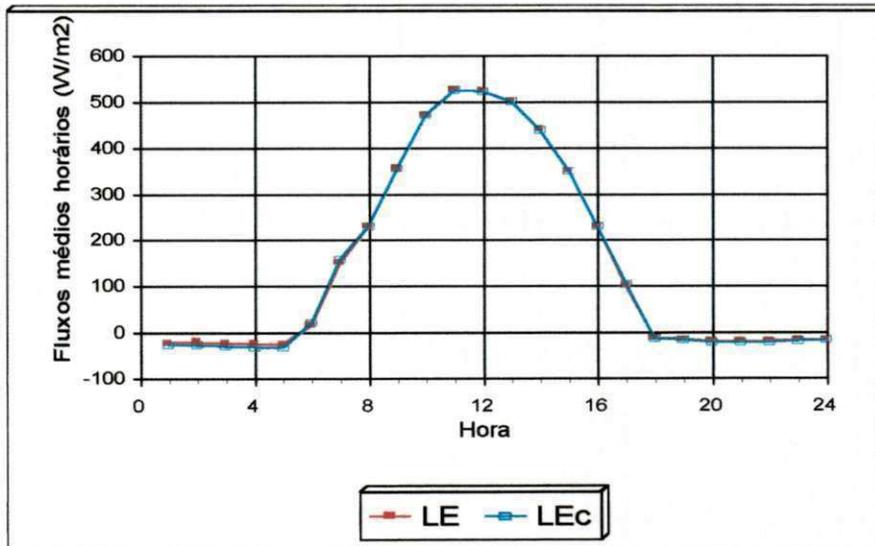


Figura 4.8b - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 2, em um dia da fase de floração (08/11/96).

Nas figuras 4.9a e 4.9b é apresentado o comportamento dos componentes do balanço de energia para as áreas 1 e 2 do campo experimental, durante um dia da fase de maturação (11/12/96). Observa-se na figura 4.9a que na área 1, LEo foi superior a Rn aproximadamente de 4 às 6 horas e de forma mais acentuada entre 16 e 22 horas, indicando que houve energia adicional na área 1 nestes horários. Verifica-se pelo comportamento de Ho que de fato apenas entre 7 e 12 horas, este não apresentou-se negativo, ou seja, não contribuiu para aumentar o fluxo de calor latente. Entretanto, analisando os comportamentos da umidade específica e da temperatura para este dia, apresentados nas figuras 4.10a e 4.10b, observa-se que entre 9 e 17 horas tanto a umidade como a temperatura na torre 1 foram maiores do que na torre 2, enquanto no resto do dia a diferença não foi tão significativa. Isto representa uma situação de contribuição advectiva de ar quente e úmido ao longo de todo campo experimental.

Por outro lado, analisando o balanço de energia para a área 2 (fig. 4.9b), verifica-se que LEo foi superior a Rn entre 0 e 8 horas e depois das 14 horas, indicando que houve adcionamento de energia nestes intervalos. Entretanto, observando o comportamento de Ho nota-se que entre 9 e 13 horas, o mesmo apresentou-se positivo. Contudo, nas curvas apresentadas na figura 4.10a, vê-se que praticamente durante todo o dia a umidade específica foi maior na torre 2 do que na torre 3, indicando que o ar na área 2, esteve mais úmido no início do que no final desta. Por último, analisando as curvas de temperatura do ar (figura 4.10b), observa-se que houve uma diferença entre 8 e 17 horas, com a

temperatura mais acentuada na torre 1, ou seja, na entrada do campo o ar estava mais aquecido do que na metade do campo (torre 2), na qual a temperatura do ar apresentou-se mais aquecida do que na saída do campo (torre 3). Portanto, o que realmente contribuiu para as situações de advecção de calor sensível e conseqüentemente o aumento do fluxo de calor latente observadas sobre as duas áreas do campo experimental foi a temperatura, já que a umidade apresentou-se maior na torre 1, seguida da torre 2 e por último a torre 3, ou seja, mesmo tendo havido entrada de umidade sobre as duas áreas, houve uma razoável advecção de calor sensível sobre toda área experimental conforme foi mostrado.

Nas figuras 4.11a e 4.11b é apresentado o comportamento do fluxo de calor latente para o dia da fase de maturação (11/12/96) nas áreas 1 e 2 do campo experimental. Observa-se através das curvas da figura 4.11a $LE_o > LE$, cuja diferença representou 6,0% da energia disponível sobre a área 1. Já sobre a área 2 (fig. 4.11b) também $LE_o > LE$ durante todo o dia e neste caso representou 13,1% de R_n , o que indica ter havido uma considerável contribuição de advecção de calor sensível nas duas áreas do campo experimental, confirmando o que já foi comentado anteriormente.

Comparando agora o comportamento do fluxo de calor latente obtido pelo método original do balanço de energia (LE) e LE_c com β corrigido pela eq. (3.24) durante o dia 11/12/96, apresentado nas figuras 4.12a e 4.12b para as áreas 1 e 2, observa-se que houve uma diferença pequena (1,4%) entre os fluxos de calor latente, ou seja, enquanto na área 1 LE representou 77,2% da energia

disponível, L_{Ec} representou 78,6%. Já na área 2, enquanto L_E representou 86,2% de R_n, L_{Ec} representou 87,5%, ou seja, uma diferença de 1,3% entre os fluxos. Esta situação verificada na fase de maturação, embora represente uma diferença de aproximadamente cerca de 5 vezes aquelas observadas nas fases de solo descoberto e de floração, não representa uma melhora significativa da estimativa do fluxo de calor latente.

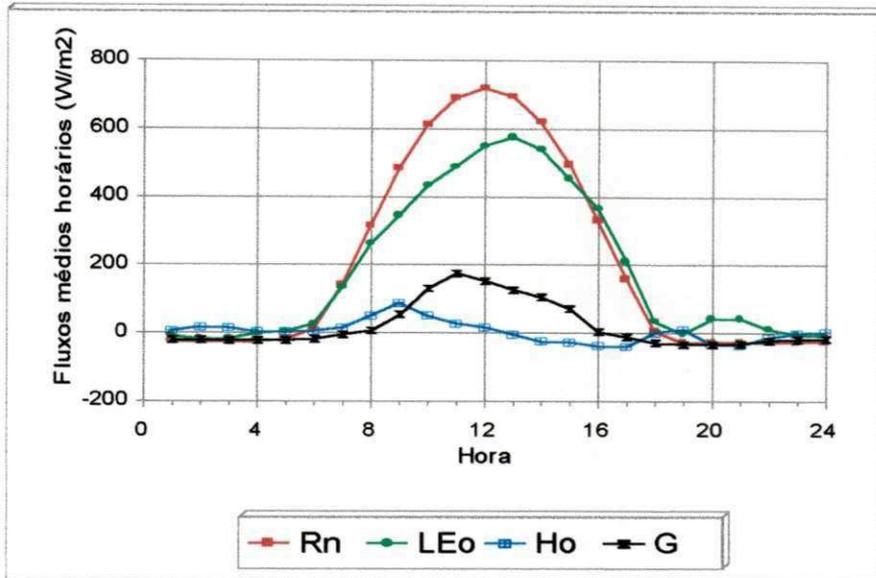


Figura 4.9a - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 1, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).

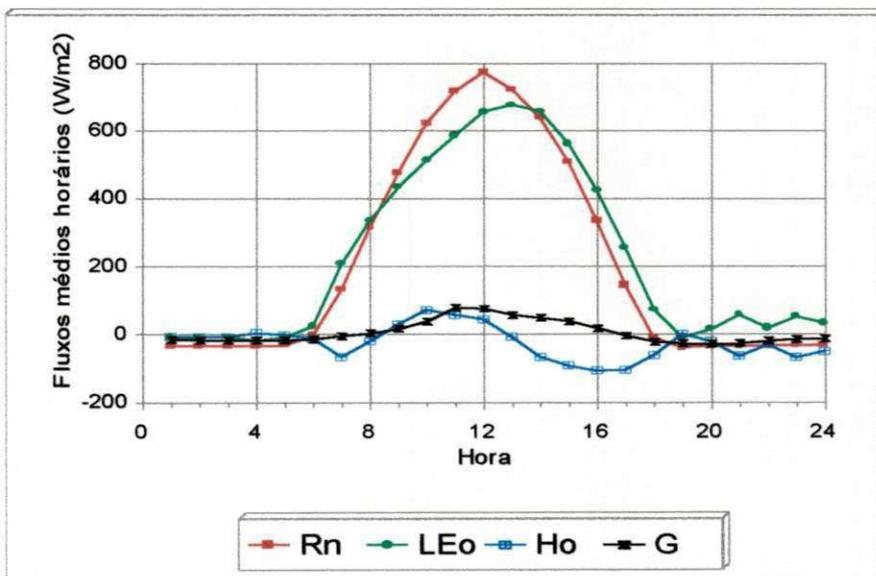


Figura 4.9b - Comportamento dos componentes do balanço de energia sobre a área 2, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).

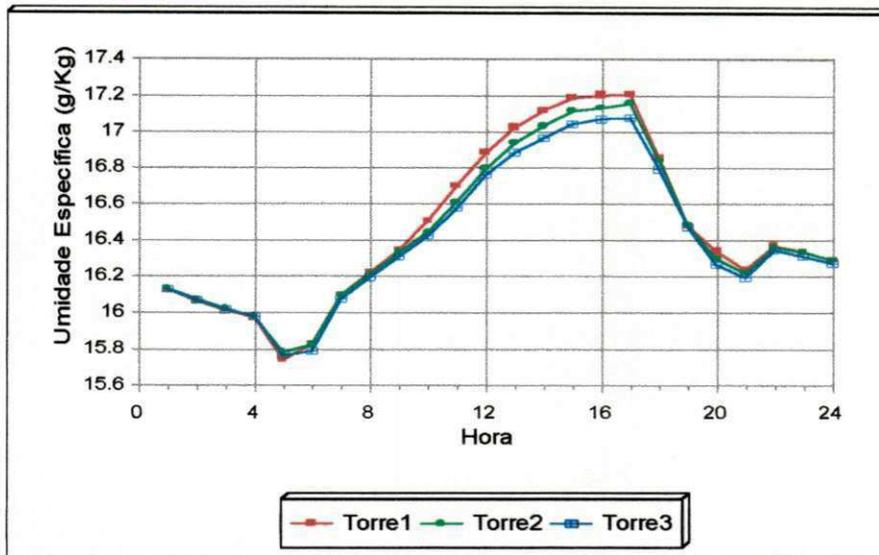


Figura 4.10a - Comportamento da umidade específica sobre o campo experimental, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).

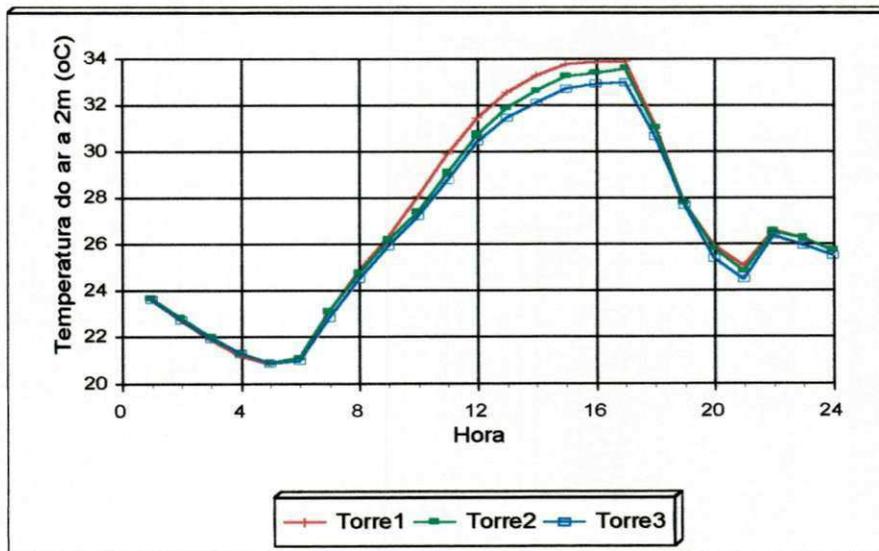


Figura 4.10b - Comportamento da temperatura (2m) sobre o campo experimental, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).

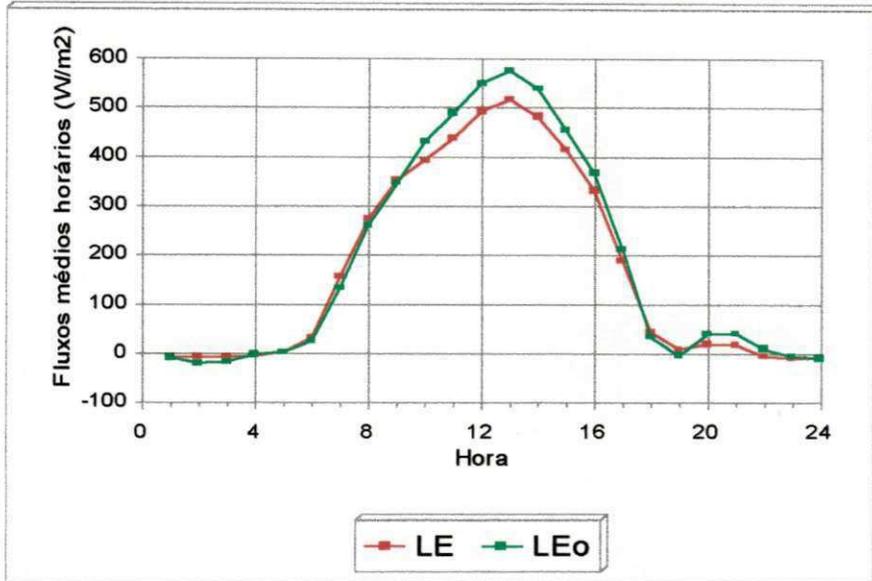


Figura 4.11a - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).

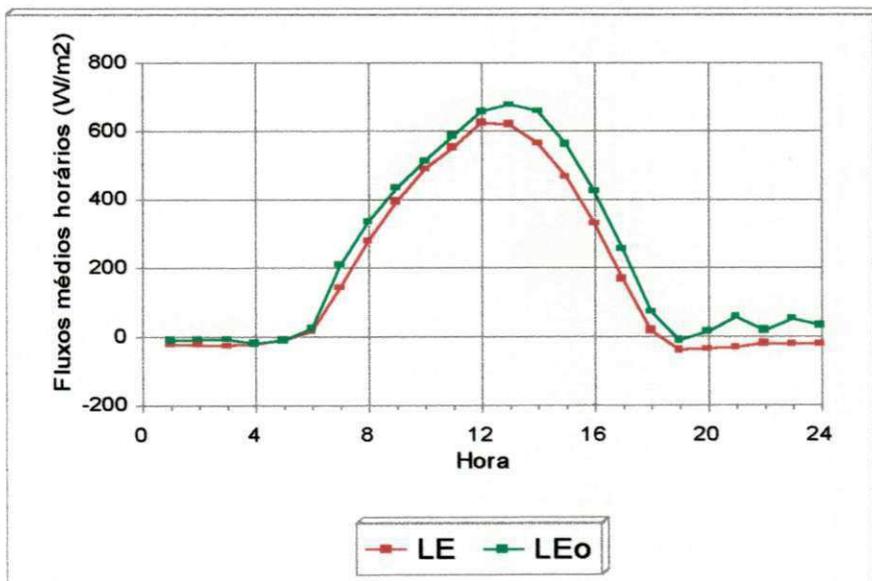


Figura 4.11b - Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, durante um dia da fase de maturação (11/12/96).

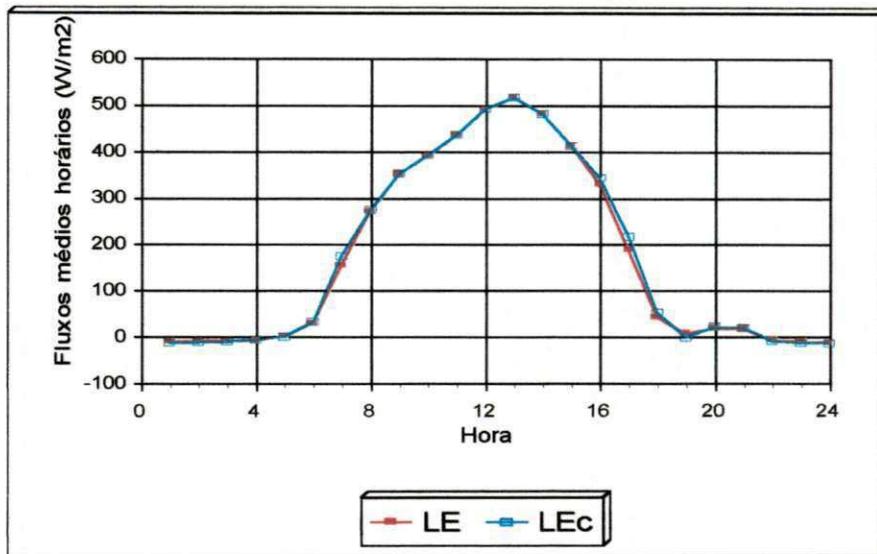


Figura 4.12a - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, em um dia da fase de maturação (11/12/96).

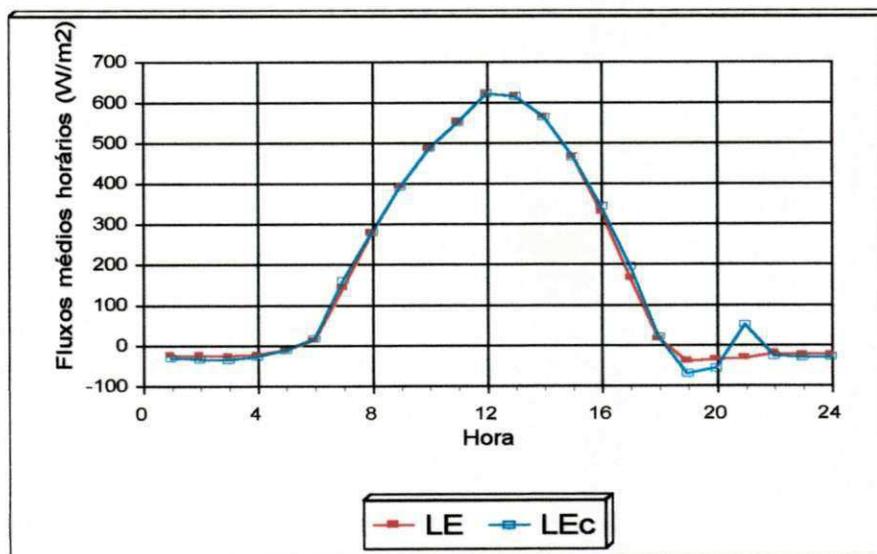


Figura 4.12b - Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 2, em um dia da fase de maturação (11/12/96).

Para que se tenha uma idéia da repartição da energia disponível (R_n) em termos dos componentes do balanço de energia, durante os três dias estudados, representativos das fases de solo descoberto, floração e desenvolvimento de vagem e maturação, são apresentadas na tabela 4.1 as razões dos componentes do balanço de energia (com LE_o corrigido dos efeitos advectivos) entre a energia disponível para as áreas 1 e 2 do campo experimental.

Tabela 4.1 – Razões entre os componentes do balanço de energia e a energia disponível para os três dias selecionados durante o estágio de desenvolvimento da cultura.

Dia	ÁREA -1			ÁREA -2		
	LE_o	Ho	G	LE_o	Ho	G
24/09/96	69,9	18,5	11,6	107,5	-17,6	10,2
08/11/96	80,7	10,3	9,1	84,4	4,0	11,6
11/12/96	83,2	1,8	15,0	99,3	-5,8	6,5

Analisando os dados da tabela 4.1 observa-se que no dia 24/09/96, fase de solo descoberto, na área 2 a energia adicionada ao sistema excedeu a energia disponível em 17,6%, indicando que houve advecção de calor sensível nesta área (Ho negativo). No dia 08/11/96, durante a fase de floração e desenvolvimento de vagem, observa-se que em ambas as áreas, a energia disponível foi utilizada para transferir vapor d'água para a atmosfera, aquecer o ar e o solo. Por último, no dia 11/12/96 na fase de maturação, verifica-se que a

área 2 foi afetada por advecção de calor sensível (H_o negativo) com (LEo + G) representando 105,8% da energia disponível.

4.2 - BALANÇO DE ENERGIA DURANTE TODO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA

Nas figuras 4.13a e 4.13b observa-se o comportamento dos componentes do balanço de energia para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura nas duas áreas do campo experimental. Analisando as curvas da fig. 4.13a (área 1), verifica-se que durante as fases de solo descoberto e germinação e crescimento, o vento ao passar por uma área vegetada próxima, quase sempre bem umedecida devido as constantes irrigações, atuou transportando umidade para esta área, contribuindo para diminuir o déficit de saturação do ar e consequentemente o fluxo de calor latente. Por outro lado, nas fases de floração e maturação, ao contrário das duas primeiras fases, observa-se um aumento do fluxo de calor latente, ou seja, a medida que a área vegetada próxima foi perdendo a folhagem, passou a ter um maior aquecimento do solo e o vento ao passar por esta área, transportou ar quente e seco para a área 1. Contudo, analisando-se o comportamento da umidade específica sobre esta área (figura 4.14a) verifica-se que na fase de solo descoberto até metade da fase de germinação e crescimento a mesma foi maior sobre a torre 1 do que sobre a torre 2, indicando que o ar sobre a área 1, realmente era mais úmido no início do que no final desta. Porém, na segunda metade da fase de germinação e crescimento

até a segunda metade da fase de floração e formação de vagem não foi observado uma maior diferença na umidade no início (torre1) e final (torre2) da área 1. Em contra partida, observa-se uma acentuada diferença na umidade sobre a torre 2 no final da fase de floração e formação de vagem até a fase de maturação, indicando que o ar esteve menos úmido no início do que no final da área 1.

Observando-se o comportamento dos componentes do balanço de energia para a área 2 (fig. 4.13b), nota-se que houve uma acentuada contribuição de energia adicional (H_o negativo) desde a fase de solo descoberto até o início da fase de floração. Ou seja, durante este período a área 2 foi afetada por advecção local, gerada pelo aquecimento do solo praticamente descoberto em toda área experimental. Também, na fase de maturação, percebe-se que houve uma acentuada contribuição de energia adicional, provavelmente, nesta fase de desenvolvimento da cultura, a área 2 sofreu influência advectiva de áreas sem vegetação localizada a sul - sudeste do campo experimental (ver quadro 6). Pode-se observar pelas curvas apresentadas na figura 4.14a que a umidade específica sobre a área 2 nas fases de solo descoberto até a metade da fase de crescimento e germinação foi menor na torre 2 do que na torre 3, tendo uma situação oposta no final da fase de floração e formação de vagem até a maturação, devido o ar estar mais úmido no início do que no final da área 2. Ou seja, verifica-se que nas duas fases iniciais de desenvolvimento da cultura, as situações observadas em cada área do campo experimental foram devidas as diferenças de umidade observada em cada torre. Em contra partida, vê-se

através da temperatura do ar a 2m (fig. 4.14b) para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, que esta foi quem realmente provocou as situações observadas nas duas áreas do campo a partir da metade da fase de germinação e crescimento até a fase de maturação, quando a temperatura foi maior sobre a torre 1 (entrada do campo), seguida da torre 2 (metade do campo) e por último da torre 3 (final do campo).



Quadro 6 - Vista da área localizada ao sul-sudeste dos evapotranspirômetros.

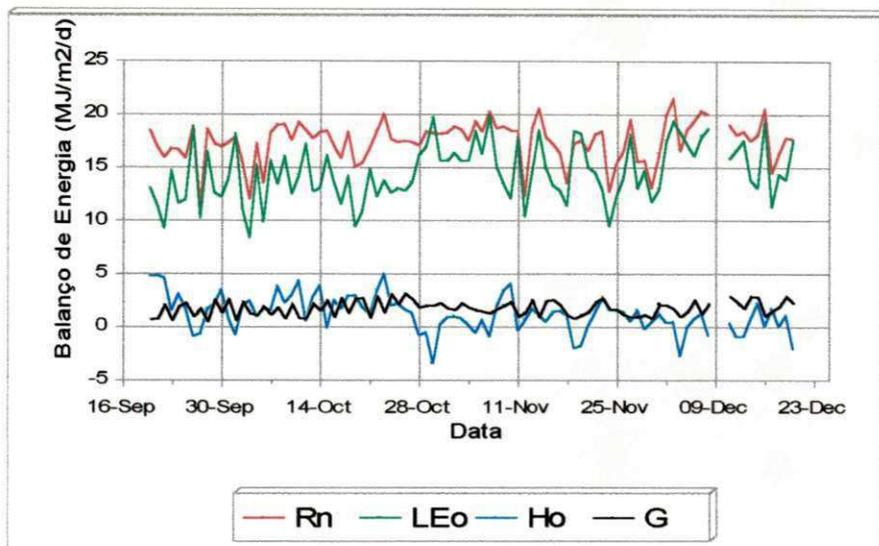


Figura 4.13a - Comportamento dos componentes do balanço de energia ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura na área 1.

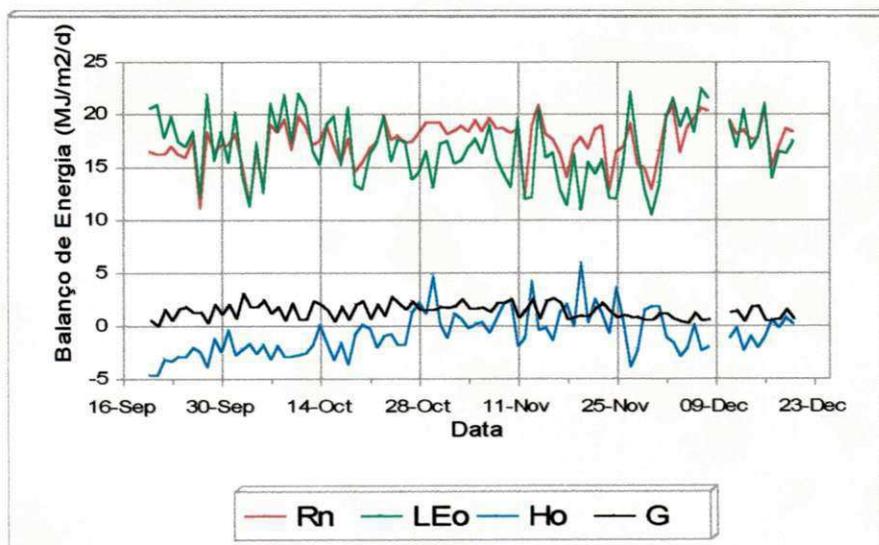


Figura 4.13b - Comportamento dos componentes do balanço de energia ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura na área 2.

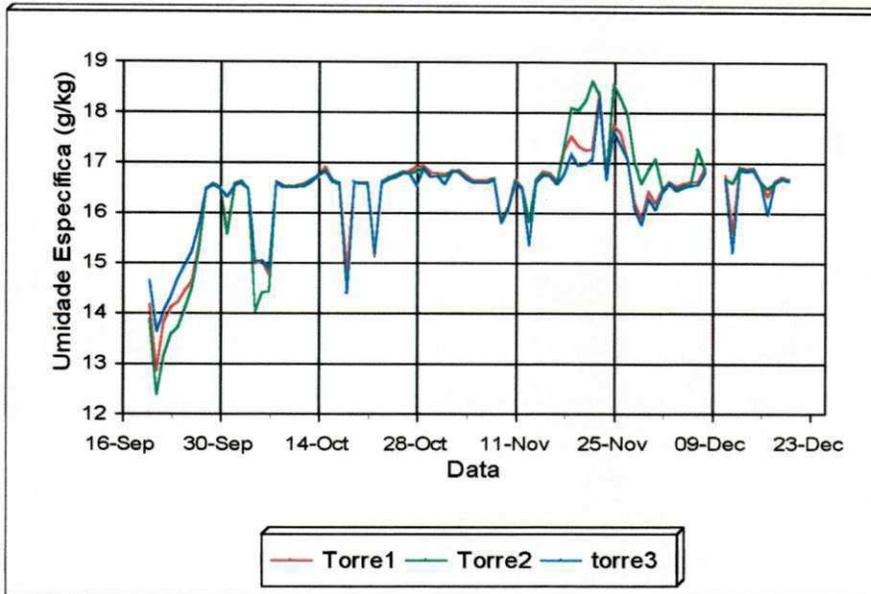


Figura 4.14a – Comportamento da umidade específica sobre o campo experimental, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

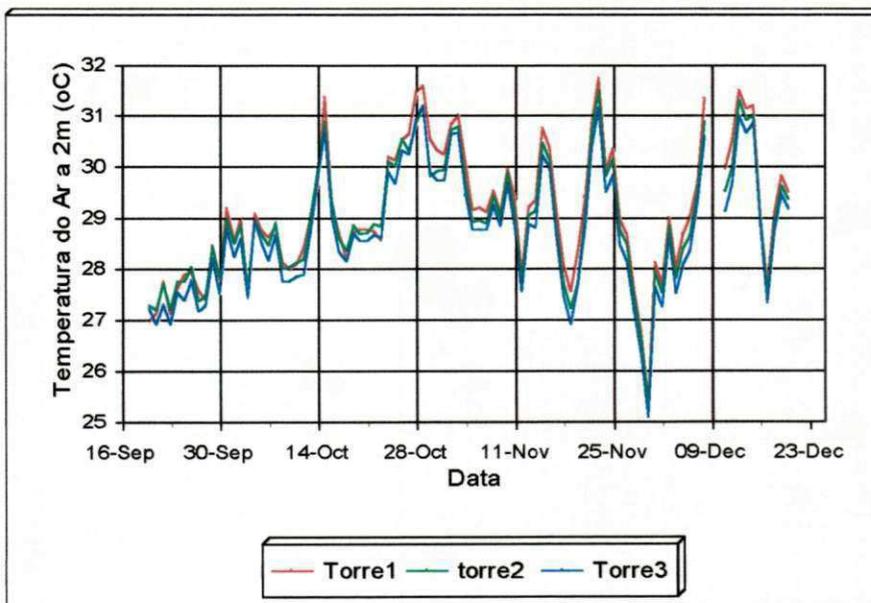


Figura 4.14b – Comportamento da temperatura do ar (2m) sobre o campo experimental, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

4.3 - COMPARAÇÃO ENTRE LE E LEO DIÁRIOS

Os valores diários integrados de LE e LEO para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura nas duas áreas, são apresentados nas figuras 4.15a e 4.15b. Percebe-se que na área 1 (fig. 4.15a) $LEO < LE$ nas duas fases iniciais de desenvolvimento da cultura, o que vem confirmar a ocorrência de advecção de ar úmido, enquanto nas duas últimas fases (floração e desenvolvimento de vagem e maturação) observa-se que $LEO > LE$, indicando que houve advecção calor sensível durante estas fases, contribuindo para o aumento do fluxo de calor latente. Já para a área 2 (fig. 4.15b), percebe-se que $LEO > LE$ praticamente durante todos os dias, confirmando que realmente esta área foi influenciada pela entrada de ar quente e seco durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, o que provocou o aumento das taxas de evapotranspiração. O termo advectivo médio (A) obtido pela integral da equação 3.30, bem como sua razão percentual em relação a energia disponível para cada fase de desenvolvimento da cultura nas áreas 1 e 2 do campo experimental, são apresentados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valores médios do termo advectivo (A) e da razão percentual (A/Rn) para cada fase de desenvolvimento da cultura.

Fases de desenvolv. Da cultura	ÁREA - 1		ÁREA - 2	
	A (MJ/m ²)	A/Rn (%)	A (MJ/m ²)	A/Rn (%)
Solo descoberto	-2,3	-13,9	4,8	29,3
Germ. E crescimento	-1,1	-6,4	3,1	18,1
Floração des. vagem	0,8	4,8	1,5	8,5
Maturação	0,8	4,2	1,9	10,8
Todo ciclo	0,0	0,0	2,3	13,2

Analisando os dados da tabela 4.2 observa-se que na área 1 houve advecção de ar úmido durante as fases de solo descoberto e germinação e crescimento, o que contribuiu para diminuir a evapotranspiração. Entretanto, nas fases de floração e maturação ocorreu uma situação oposta, bem como ao longo de todo ciclo de desenvolvimento da cultura na área 2, ou seja, houve contribuição adicional de energia por advecção de calor sensível, com destaque para a fase de solo descoberto nesta última área, onde a advecção foi mais acentuada, representando 29,3% da energia disponível. Os dados da tabela 4.2 também mostram que na área 2 a advecção de calor sensível foi maior na fase de solo descoberto, diminuindo a medida que a cultura foi cobrindo o solo, até alcançar seu menor valor na fase de maior desenvolvimento da cultura (fase de floração), voltando a aumentar na fase de maturação devido a redução da cobertura foliar. Os dados relativos a todo ciclo de desenvolvimento da cultura, mostram que a média considerando todos os dias mascaram os resultados, pois, tomando como exemplo a situação observada na área 1, verifica-se que enquanto nas duas primeiras fases (solo descoberto e germinação e crescimento) houve advecção de ar úmido, nas fases de floração e maturação houve advecção de ar seco, contudo, a média para todo o ciclo indicou uma situação de neutralidade.

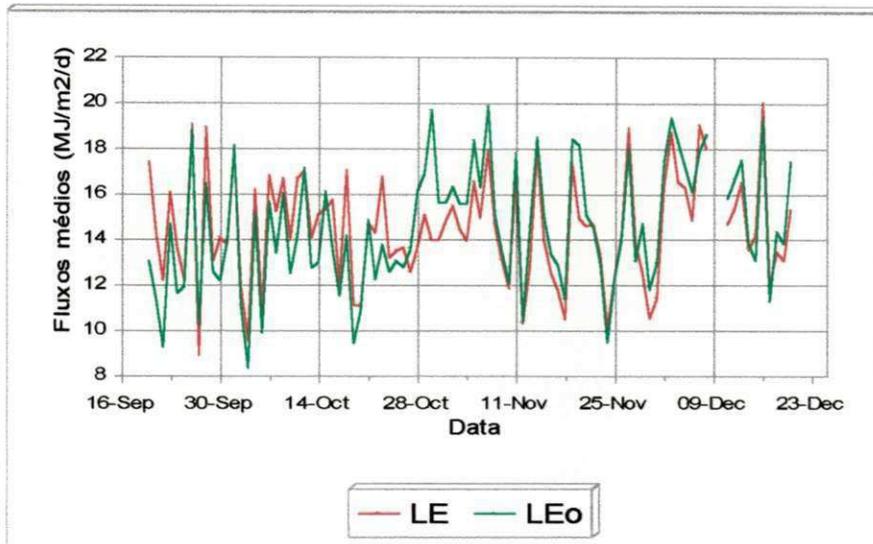


Figura 4.15a – Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

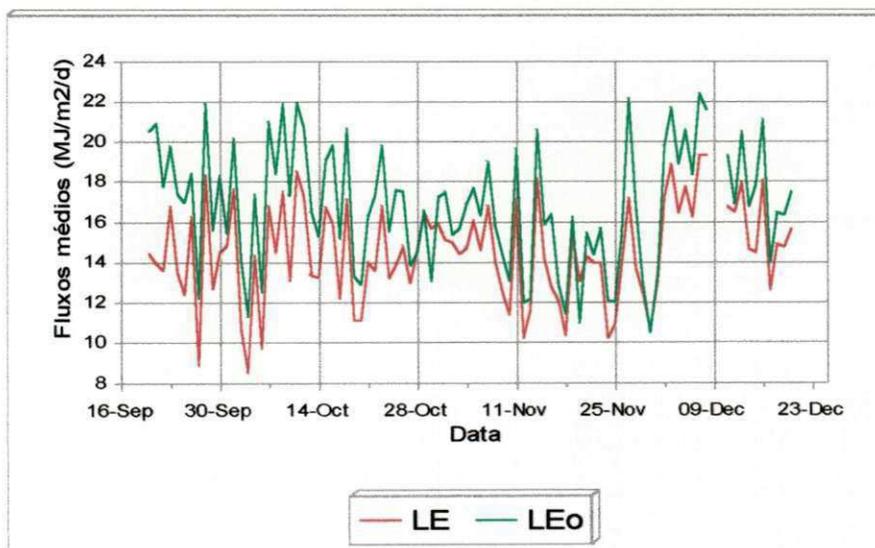


Figura 4.15b – Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Nas curvas das figuras 4.16a e 4.16b é mostrado a partição da energia disponível entre os componentes do balanço de energia nas áreas 1 e 2 do campo experimental para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Analisando as curvas da figura 4.16a (área 1) observa-se que toda energia disponível sobre esta área foi utilizada para transferir vapor d'água para a atmosfera (LEo positivo), aquecer o ar (Ho positivo) e o solo (G positivo). A redução no fluxo de calor sensível a medida que a cultura foi se desenvolvendo, ocorreu devido não apenas ao aumento da cobertura do solo, mas também a frequência de irrigação efetuada na área experimental. Observa-se nas curvas da figura 4.16b (área 2), que praticamente durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, houve energia adicional na forma de advecção de calor sensível (Ho negativo), contribuindo para aumentar o fluxo de calor latente (evapotranspiração). Na tabela 4.3 são apresentadas as razões entre os componentes do balanço de energia e a energia disponível para as duas áreas durante os estágios de desenvolvimento da cultura.

Tabela 4.3 - Distribuição percentual da energia disponível entre os componentes do balanço de energia nas duas áreas do campo experimental.

Estágio de desenv. Da cultura	ÁREA - 1			ÁREA - 2		
	LEo	Ho	G	LEo	Ho	G
Solo descoberto	71,5	20,3	8,2	115,7	-22,1	6,4
Germinação e crescimento	78,9	11,7	9,5	102,7	-11,7	9,0
Floração e desenv. De vagem	85,3	4,5	10,2	87,5	3,2	9,3
Maturação	88,4	1,0	10,6	98,5	-3,5	5,0
Ciclo da cultura	83,2	6,9	10,0	96,4	-4,4	8,0

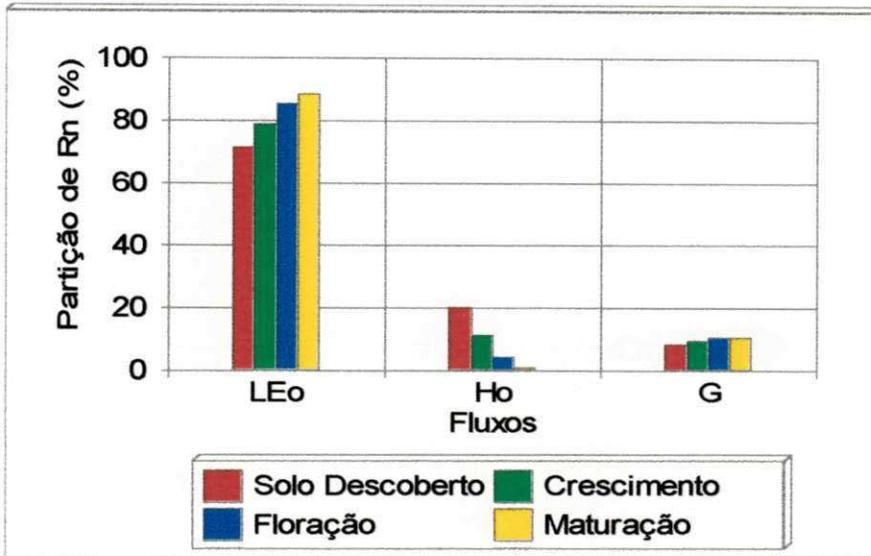


Figura 4.16a - Partição de Rn entre os componentes do balanço de energia para cada fase de desenvolvimento da cultura na área 1.

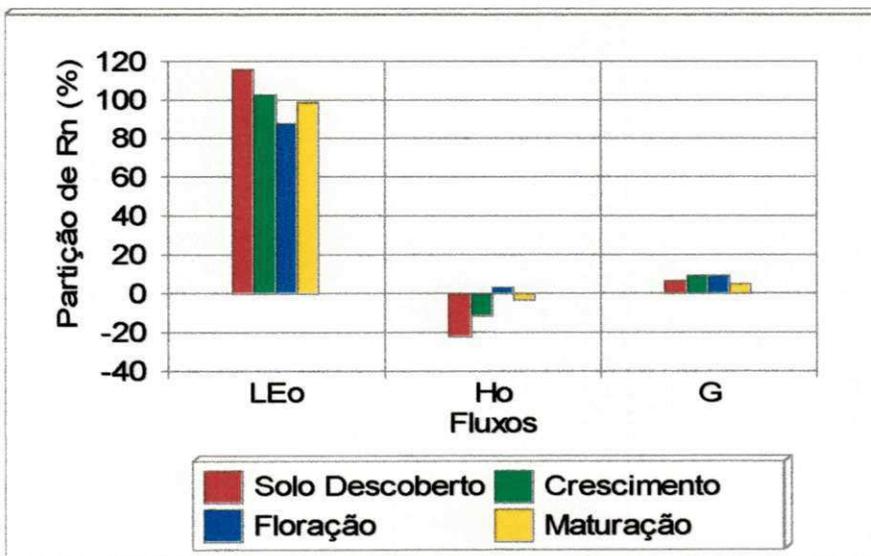


Figura 4.16b - Partição de Rn entre os componentes do balanço de energia para cada fase de desenvolvimento da cultura na área 2.

Analisando os dados da tabela 4.3 observa-se que enquanto na área 1 em nenhum estágio de desenvolvimento da cultura houve adicionamento de energia ao sistema (H_o positivo), na área 2 com exceção do estágio de floração e desenvolvimento de vagem, houve contribuição de advecção de calor sensível (H_o negativo), com destaque para o estágio de solo descoberto, onde (LE_o+G) representou 122,1% da energia disponível e para o estágio de germinação e crescimento, com (LE_o+G) representando 111,7% de R_n .

Os totais diários integrados de LE e LE_c para as duas áreas do campo experimental são apresentados nas figuras 4.17a e 4.17b durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Observa-se que em ambas as áreas verificou-se uma diferença entre os fluxos LE e LE_c , com uma diferença mais acentuada nas fases de solo descoberto, germinação e crescimento, e fase de maturação. Na tabela 4.4 são apresentadas as razões entre os fluxos de calor latente e a energia disponível para cada fase de desenvolvimento da cultura.

Tabela 4.4 – Distribuição percentual da energia disponível entre o fluxo de calor latente obtido pela método original do balanço de energia (LE) e o fluxo de calor latente obtido com a correção do β (LE_c).

Fases de desenvolv. Da cultura	ÁREA - 1		ÁREA - 2	
	LE/R_n	LE_c/R_n	LE/R_n	LE_c/R_n
Solo descoberto	85,4	87,4	86,4	88,3
Germ. E crescimento	85,2	88,1	84,6	86,9
Floração des. vagem	80,5	82,1	79,0	80,3
Maturação	84,2	88,5	87,8	90,8
Todo ciclo	83,1	85,7	83,1	85,2

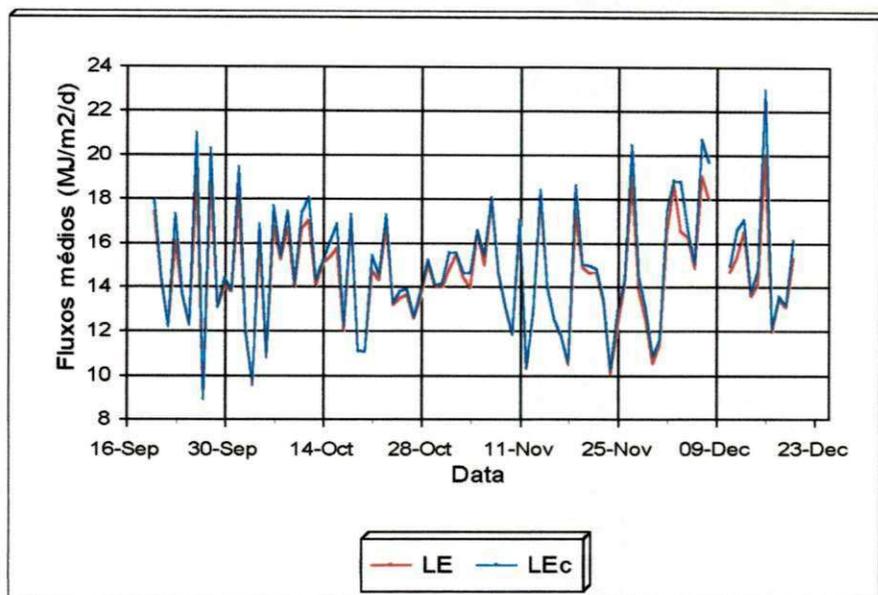


Figura 4.17a – Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 1, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

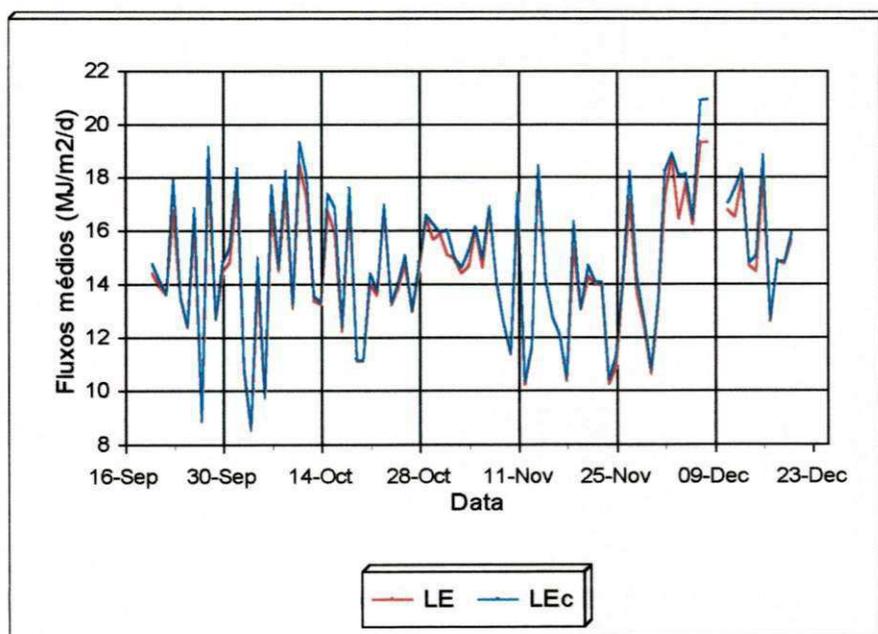


Figura 4.17b – Fluxos LE e LEC obtidos pelo MBE original e com β corrigido na área 2, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Analisando os dados da tabela 4.4 observa-se que ao se considerar o fluxo de calor latente corrigido apenas do gradiente vertical, a área 1 do campo experimental é mais influenciada pela turbulência do que a área 2. Ou seja, na fase de solo descoberto, com a superfície praticamente homogênea, a diferença entre as razões nas duas áreas foi de apenas 0,1%, a medida que a cultura foi se desenvolvendo, essa diferença foi aumentando, chegando a 1,3% na fase de maturação. No entanto, observa-se que na fase de floração e desenvolvimento de vagem, foi observado uma situação praticamente igual nas duas áreas do campo. Nas tabelas 4.5 e 4.6 são mostradas as razões entre os componentes do balanço de energia original e do balanço de energia corrigido do gradiente vertical em relação a energia disponível para cada torre durante as fases de desenvolvimento da cultura.

Tabela 4.5 – Razões entre os componentes do balanço de energia original e a energia disponível em cada torre do campo experimental durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Estágio de desenv. da cultura	TORRE 1			TORRE 2			TORRE 3		
	LE	H	G	LE	H	G	LE	H	G
Solo descoberto	79,9	9,9	11,0	92,0	2,2	7,3	81,5	11,6	7,4
Germinação e crescimento	80,1	9,1	11,8	90,7	1,3	10,2	78,6	11,3	10,9
Floração e desenv. de vagem	77,2	11,0	12,7	83,8	7,5	9,6	74,1	15,8	10,7
Maturação	76,8	7,1	17,0	82,2	2,9	6,2	75,7	10,0	5,5
Ciclo da cultura	78,2	9,4	13,3	85,9	4,2	8,8	76,3	12,8	9,3

Tabela 4.6 – Razões entre os componentes do balanço de energia considerando β_c corrigido e a energia disponível para cada torre do campo experimental durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Estágio de desenv. da cultura	TORRE 1			TORRE 2			TORRE 3		
	LEc	Hc	G	LEc	Hc	G	LEc	Hc	G
Solo descoberto	80,5	8,4	11,0	95,6	-2,9	7,3	82,0	10,6	7,4
Germinação e crescimento	82,1	6,1	11,8	94,4	-4,7	10,2	79,4	9,7	10,9
Floração e desenv. De vagem	78,2	9,1	12,7	85,9	4,5	9,6	74,8	14,5	10,7
Maturação	80,2	2,7	17,0	86,8	6,9	6,2	76,5	18,0	5,5
Ciclo da cultura	80,0	6,7	13,3	89,2	2,0	8,8	77,0	13,7	9,3

Analisando os dados das tabelas 4.5 e 4.6 verifica-se que pelos dois métodos considerados, a torre 2 foi a que apresentou maior transferência de vapor d'água para a atmosfera em todas as fases de desenvolvimento da cultura. Contudo, nas fases de solo descoberto e germinação e crescimento, esta situação é mais acentuada, com LEc chegando a cerca de 95% de Rn. É importante observar que embora a correção de β com base nos gradientes verticais de temperatura e umidade, não tenha se mostrado eficiente nos três casos estudados isoladamente (dias 24/09/96; 08/11/96 e 11/12/96), comparando-se os dados das tabelas 4.5 e 4.6 que em termos de médias para as diversas fases de desenvolvimento da cultura, verifica-se uma diferença razoável entre os componentes do balanço de energia com e sem β corrigido, o que indica

que em termos de médias a correção de β mostra estimativas dos fluxos LE e H mais realísticas.

Uma idéia do comportamento da velocidade do vento sobre o campo experimental ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura é apresentada na figura 4.18. As curvas da figura 4.18 mostram que a velocidade do vento foi maior a medida que esta foi penetrando no campo experimental, sendo mais acentuada em termos de média da metade para o final do campo. Fato que certamente contribuiu para o aumento de LE na área 2.

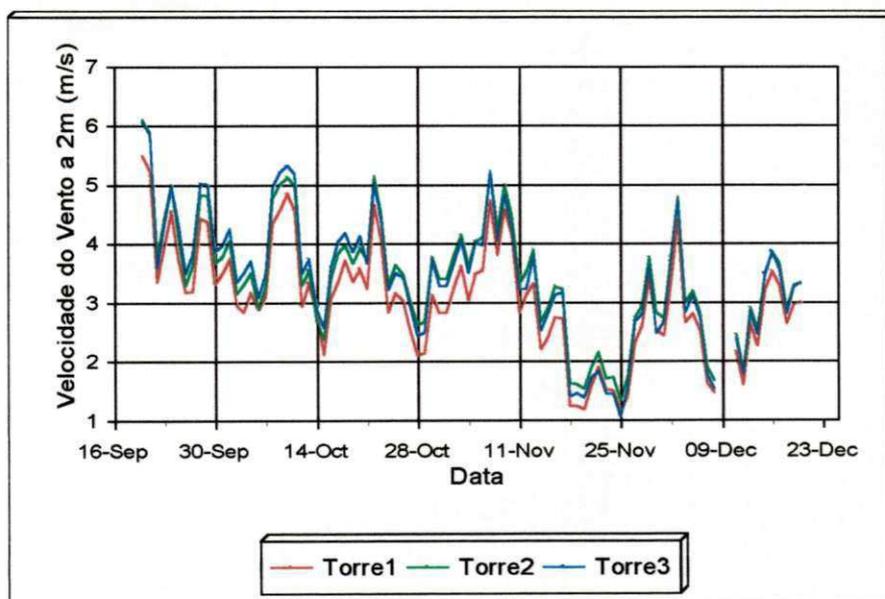


Figura 4.18 – Comportamento da velocidade média diária do vento a 2m de altura ao longo do campo experimental, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

4.4 - ESTIMATIVAS E MEDIDAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Visando identificar os métodos que sob as condições semi-áridas estudadas possam estimar de forma mais realística a evapotranspiração, efetuou-se comparações da evapotranspiração estimada pelo método original do balanço de energia (BE) e pelo método aerodinâmico (T&H) com medidas de evapotranspirômetro de lençol freático constante, nas áreas 1 e 2 do campo experimental durante dias representativos das fases de solo descoberto (24/09/96), floração e desenvolvimento de vagem (08/11/96) e maturação (11/12/96), ou seja, para os mesmos dias estudados anteriormente. Observa-se nas figuras 4.19a e 4.19b que nas duas áreas durante o período em que o solo esteve totalmente descoberto, a curva da evapotranspiração estimada pelo método de (T&H), ao contrário do método do balanço de energia apresentam comportamento sincronizado com a curva dos valores medidos, porém, sobrestimando-os nas duas áreas, embora de forma menos acentuada na área 2. Nas figuras 4.20a e 4.20b verifica-se que na fase de floração e desenvolvimento de vagem nas duas áreas do campo, além de permanecer a semelhança de sincronismo entre as curvas de evapotranspiração estimada pelo método de (T&H) e os valores medidos, há uma aproximação maior entre estes valores, ou seja, na medida em que a cultura do amendoim vai povoando o campo, houve uma menor diferença entre estimativas e medidas. Por outro lado, a curva representativa da evapotranspiração estimada pelo método do balanço de energia, continuou não mostrando sincronismo com a curva dos valores medidos.

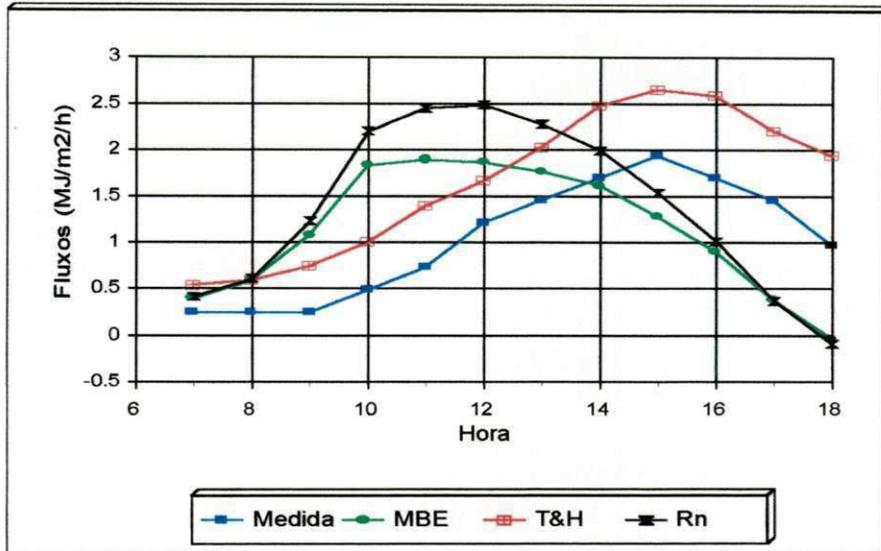


Figura 4.19a - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 1, durante um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).

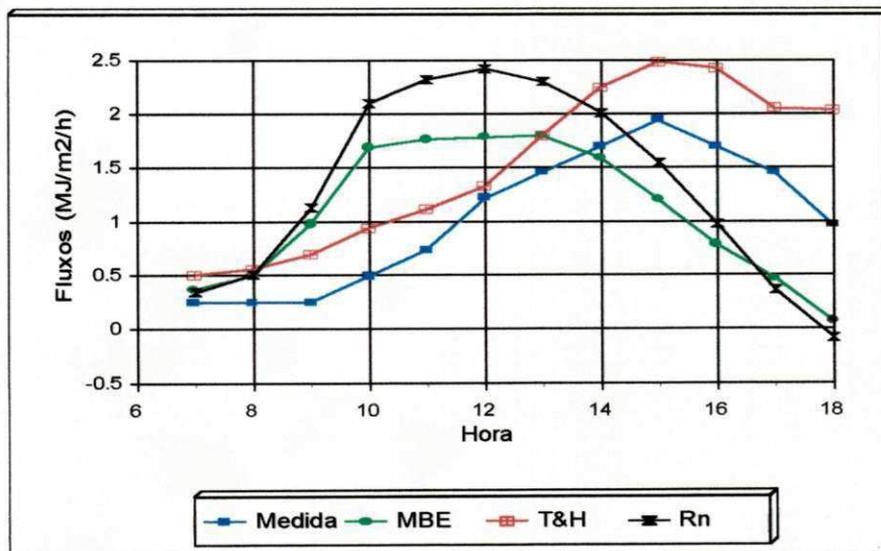


Figura 4.19b - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 2, em um dia da fase de solo descoberto (24/09/96).

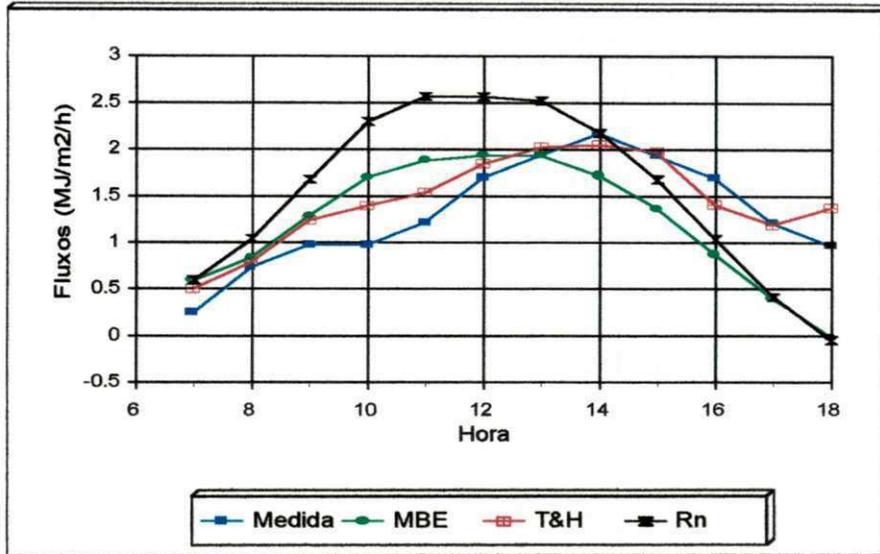


Figura 4.20a - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 1, durante um dia da fase de floração (08/11/96).

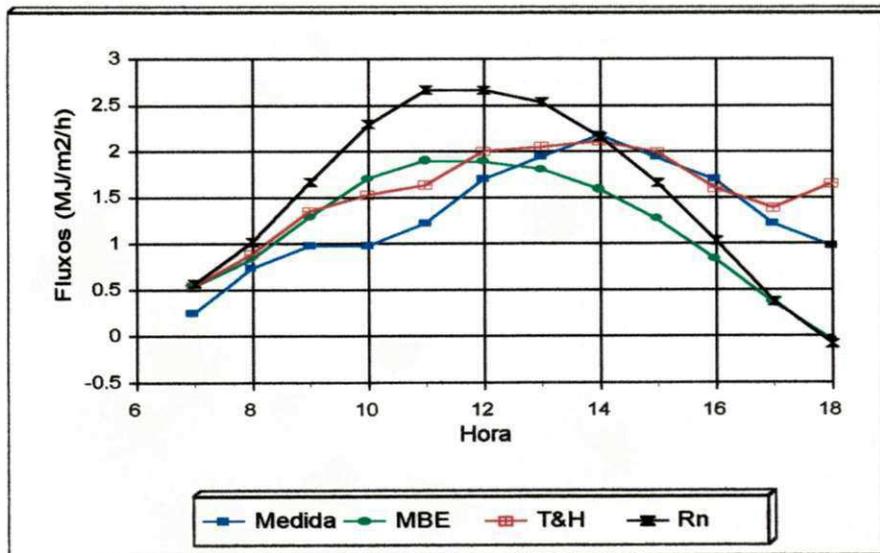


Figura 4.20b - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 2, durante um dia da fase de floração (08/11/96).

Nota-se nas figuras 4.21a e 4.21b que para o dia representativo da fase de maturação, embora tenha havido uma semelhança de comportamento das curvas de evapotranspiração estimada pelo método de T&H e dos valores medidos, nesta fase verificou-se uma subestimativa acentuada da evapotranspiração. Também pode ser observado que a curva estimada pelo método do balanço de energia, da mesma forma que nas outras duas fases, continuou não mostrando semelhança de comportamento com os valores medidos. Vê-se ainda que as curvas de evapotranspiração estimada pelo método do balanço de energia apresentaram nas três fases, picos entre 11 e 12 horas, já as estimadas pelo método de T&H, tiveram seus picos entre 14 e 16 horas, enquanto as dos valores medidos entre 14 e 15 horas. Isto indica uma defasagem média de cerca de 3 horas entre os valores medidos e estimados pelo método do balanço de energia.

Em termos de totais para o período diurno, percebe-se na tabela 4.7, que durante o dia da fase de solo totalmente descoberto, os valores medidos foram sobrestimados pelas estimativas baseadas no método de T&H em 3,1 mm/dia na área 1 e em 2,4 mm/dia na área 2, enquanto o método do balanço de energia sobrestimou em 0,5 mm/dia na área 1 e em 0,2 mm/dia na área 2.

Na fase de floração e desenvolvimento de vagem, a sobrestimativa pelo método de T&H na área 1 caiu para 0,7 mm/dia e na área 2 em 1,2 mm/dia. Já o método do balanço de energia subestimou o valor medido na área 1 em 0,5 mm/dia e na área 2 em 0,8 mm/dia.

Finalmente, na fase de maturação ocorreu exatamente o contrário do que foi observado até a fase de floração e desenvolvimento de vagem, ou seja, houve uma subestimativa do método de T&H na área 1 de 5,1 mm/dia e na área 2 de 4,4 mm/dia, enquanto o método do BE subestimou em 5,8 mm/dia na área 1 e em 5,0 mm/dia na área 2.

Tabela 4.7 - Totais de ET para o período diurno (6 a 18 horas) medidos e estimados pelos métodos do MBE e T&H para as duas áreas do campo experimental, bem como o saldo de radiação (Rn) em mm.

Dia	Medida	ÁREA 1			ÁREA 2		
		LE(BE)	LE(TH)	Rn	LE(BE)	LE(TH)	Rn
24/09/96	5,1	5,6	8,2	6,8	5,3	7,5	6,6
08/11/96	6,5	6,0	7,2	7,6	5,7	7,7	7,7
11/12/96	11,9	6,1	6,8	7,8	6,9	7,5	8,0

Analisando os dados da tabela 4.7 em termos de radiação disponível (Rn), verifica-se que durante o dia da fase de solo descoberto Rn foi maior do que o valor medido em 1,7 mm/dia na área 1 e em 1,5 mm/dia na área 2. Já na fase de floração e desenvolvimento de vagem Rn superou o valor medido em 1,1 mm/dia na área 1 e 1,2 mm/dia na área 2. Entretanto, durante o dia da fase de maturação Rn foi menor do que o valor medido 4,1 mm/dia na área 1 e 3,9 mm/dia na área 2. Isto indica que na fase de maturação houve um adicionamento de energia por advecção de calor sensível de cerca de 53% sobre a área 1 e de 49% na área 2.

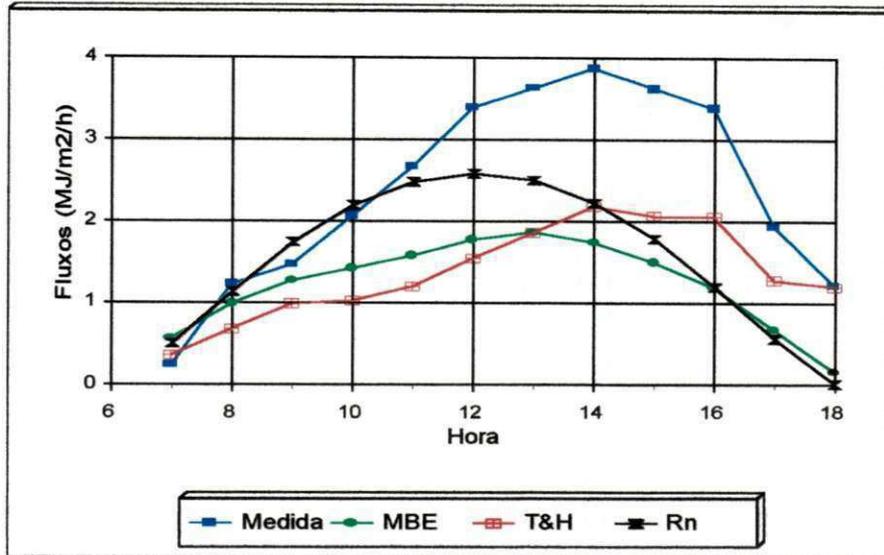


Figura 4.21a - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 1, em um dia da fase de maturação (11/12/96).

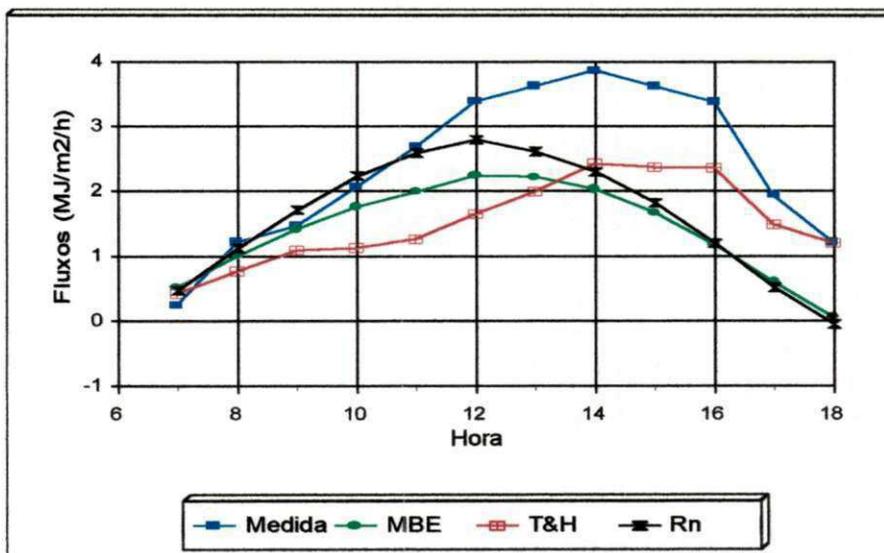


Figura 4.21b - Medidas e estimativas horárias da evapotranspiração, bem como a energia disponível sobre a área 2, em um dia da fase de maturação (11/12/96).

4.5 - INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO NO BALANÇO DE RADIAÇÃO

A irrigação modifica o estado do solo e como consequência a resposta espectral da superfície, com efeito direto no balanço de radiação e por conseguinte o balanço de energia. Por outro lado, afeta não só as temperaturas do ar e da superfície, mas também o conteúdo de umidade. Diante do exposto faz-se uma análise do comportamento do albedo, para mostrar o que ocorreu quando irrigações foram processadas em particular durante um dia e ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Comparando as curvas da figura 4.22a com as curvas da figura 4.22b, representativas de dias com e sem irrigação, respectivamente, verifica-se que a ocorrência desta produz uma redução imediata na radiação refletida ($K\uparrow$) e um aumento da radiação líquida (R_n).

O comportamento médio horário diurno do albedo para um dia com irrigação e um dia sem irrigação, é apresentado nas curvas da figura 4.23. Observa-se que para o dia de céu claro e sem irrigação, o albedo apresentou valores máximos nas primeiras horas da manhã e final da tarde, enquanto os valores mínimos ocorreram em torno do meio dia, quando a incidência de radiação foi máxima. Por outro lado, no dia em que houve irrigação, verifica-se uma queda brusca de cerca de 9% no albedo médio, no horário em que foi processada a irrigação, o qual só voltou para próximo da normalidade no final da tarde. Ou seja, devido o solo ser constituído em sua maior parte de areia (cerca de 95%) e possuir pequena capacidade de reter água, embora, os efeitos da irrigação sejam sentidos imediatamente, prevalece apenas por algumas horas.

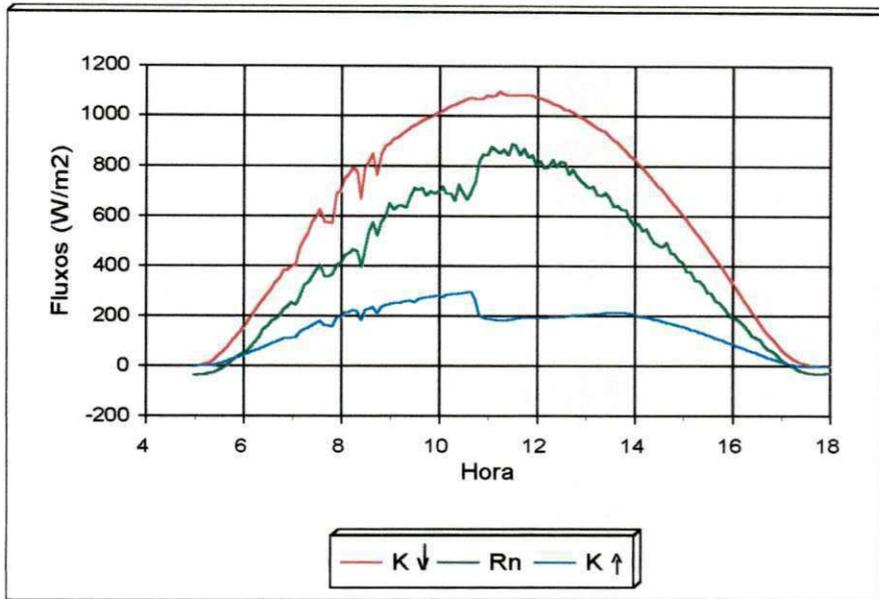


Figura 4.22a - Comportamento dos componentes do balanço de radiação durante um dia em que houve irrigação.

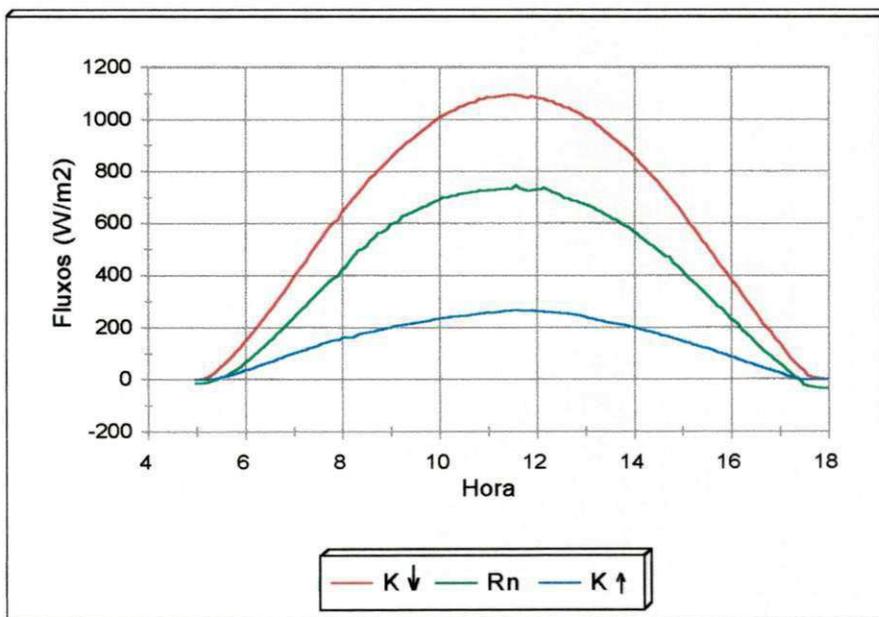


Figura 4.22b - Comportamento dos componentes do balanço de radiação durante um dia em que não houve irrigação.

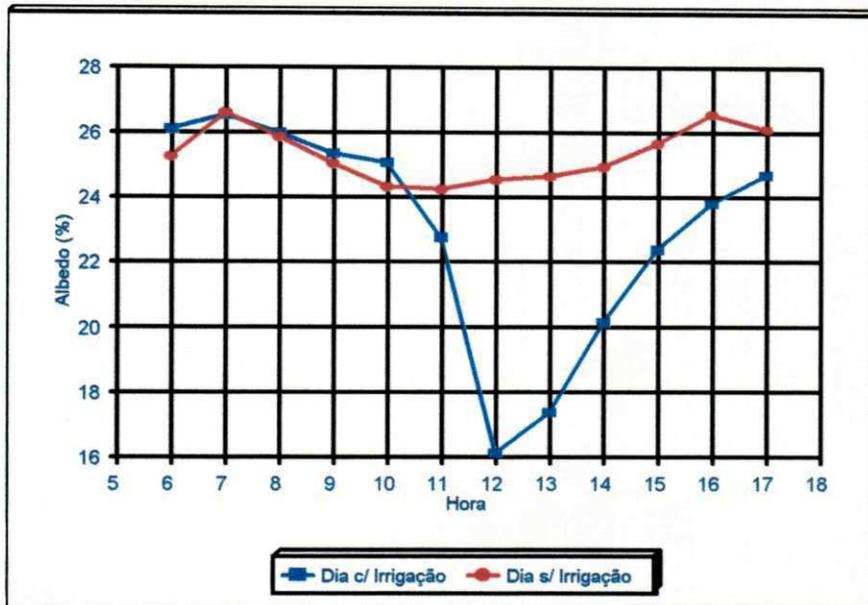


Figura 4.23 - Comportamento médio horário do albedo durante dia com e sem irrigação.

Na figura 4.24 é apresentado o comportamento do albedo médio diário durante o ciclo de desenvolvimento do amendoim. Observa-se nesta figura que na fase inicial do experimento, quando o solo ainda estava totalmente descoberto, devido a sua textura arenosa, houve uma maior reflexão da superfície, com o albedo alcançando o valor máximo de 29,8%, contudo, na medida em que a cultura foi se desenvolvendo e cobrindo o solo, o albedo foi diminuindo até atingir seu valor mínimo de 18,6% no final da fase de desenvolvimento de vagem. Observa-se também que o albedo apresentou certas flutuações ao longo do experimento, especificamente nos dias em que houve irrigação e ocorrência de precipitação, com queda de até 7,6% em dias de irrigação. Uma análise efetuada para cada estágio de desenvolvimento da

cultura, indica que o albedo médio durante o estágio de solo totalmente descoberto foi de 26,7%, no estágio de crescimento e germinação de 25,1, no estágio de floração e desenvolvimento de vagem 23,7% e no estágio de maturação de 21,1%, enquanto o albedo médio diário para todo o ciclo da cultura foi de 23,6%.

O comportamento médio do albedo da cultura determinado em função do dia após o plantio (DAP) pode ser observado também na figura 4.24, verifica-se através das curvas que há uma boa concordância durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura entre o albedo observado e o albedo estimado.

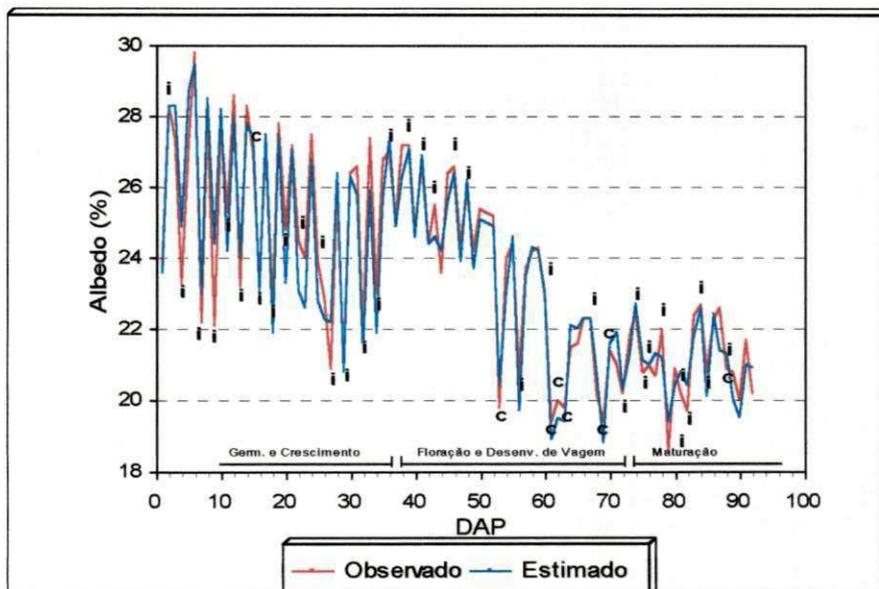


Figura 4.24 – Comportamento do albedo observado e estimado ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do amendoim.

4.6 - ESTIMATIVA DO ALBEDO

Considerando que o conhecimento do albedo é muito importante e o mesmo pode ser facilmente estimado em função do desenvolvimento da cultura do amendoim, procura-se estimá-lo. Para isso, tomou-se o albedo médio diário observado ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, e selecionou-se apenas os dias sem ocorrência de irrigação ou precipitação. Com base nestes dias, obteve-se por regressão linear a seguinte expressão em função do número de dias após o plantio (DAP):

$$r = 30,1 - 0,09967DAP \quad (4.1)$$

Nesta regressão obteve-se um alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,97$). Contudo, o uso da equação (4.1) para dias com ocorrência de irrigação ou precipitação, requer correções que dependem não apenas da ocorrência de irrigação ou precipitação simplesmente. No caso específico da irrigação, a correção deve ser feita em função do horário em que está foi realizada. Deste modo, a equação 4.1 passa a ter a seguinte forma:

$$r = 30,1 - 0,09967DAP + C \quad (4.2)$$

onde C é o fator de correção em função do horário de irrigação a ser aplicado no dia de irrigação ou de chuva e no dia seguinte.

Na tabela 4.8 são apresentados os valores das correções em função do horário de irrigação a serem aplicadas ao albedo (eq. 4.2) nos dias de irrigação, bem como no dia seguinte. Para o caso de ocorrência de chuva, as correções correspondem em média a -4,4% no dia da chuva e -1,6% no dia seguinte. Contudo, os dados podem diferir dependendo da hora, quantidade e duração da chuva. Por outro lado, os sensores ao serem atingidos pela chuva podem apresentar leituras alteradas, deste modo, esta correção pode não representar a realidade. É importante salientar que estas correções só são válidas para as condições observadas em Rodelas-Ba, já que estão diretamente relacionadas ao comportamento do clima e do solo da região.

Tabela 4.8 - Fatores de correção a serem aplicados as estimativas do albedo nos dias de irrigação e no dia seguinte em função do horário de irrigação.

IRRIGAÇÃO HORÁRIO	FATOR DE CORREÇÃO	
	DIA DA IRRIGAÇÃO	DIA SEGUINTE
06 às 10h	-6,4	-0,7
10 às 14h	-4,8	-0,9
14 às 16h	-1,1	-1,5
Após 16h	+0,9	-1,5

Analisando os dados da tabela 4.8, observa-se que nos dias em que a irrigação foi efetuada entre 6 e 10 horas, houve uma redução média do albedo de 6,4%, porém no dia seguinte praticamente volta a normalidade, ou seja, uma redução de apenas 0,7%. Para o caso em que a irrigação se processou entre 10 e 14 horas, o albedo apresentou uma redução média nestes dias de 4,8%, e no dia seguinte de 0,9%. Nos dias em que houve irrigação entre 14 e 16 horas, o

albedo mostrou uma redução média de 1,1% no dia da irrigação e no dia seguinte de 1,5%. Por último, se a irrigação foi processada após às 16 horas, ocorreu um aumento de 0.9% neste dia e uma redução de 1,5% no dia seguinte. Este aumento do albedo provavelmente está associado ao fato de que a irrigação efetuada no final da tarde, ao deixar a superfície molhada, devido o Sol está com um ângulo de elevação pequeno, produziu um efeito de reflexão bem mais acentuado, ou seja, nestas condições, a superfície funciona como uma espécie de espelho.

4.7 - RADIAÇÃO LÍQUIDA

O fluxo de calor latente (evapotranspiração) é frequentemente comparado com a energia disponível (R_n), porém, quase sempre, enquanto a evapotranspiração é medida entre 9 horas de um dia e 9 horas do dia seguinte, o saldo de radiação é determinado apenas para o primeiro dia, ou seja, não se considera o intervalo de tempo correspondente ao dia seguinte. Uma análise do cálculo de R_n (figura 4.25) mostra que ao não se considerar para este parâmetro o mesmo período contabilizado para a evapotranspiração, pode-se cometer erros quando se usa R_n para estimar este último de até cerca de $2,2 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$.

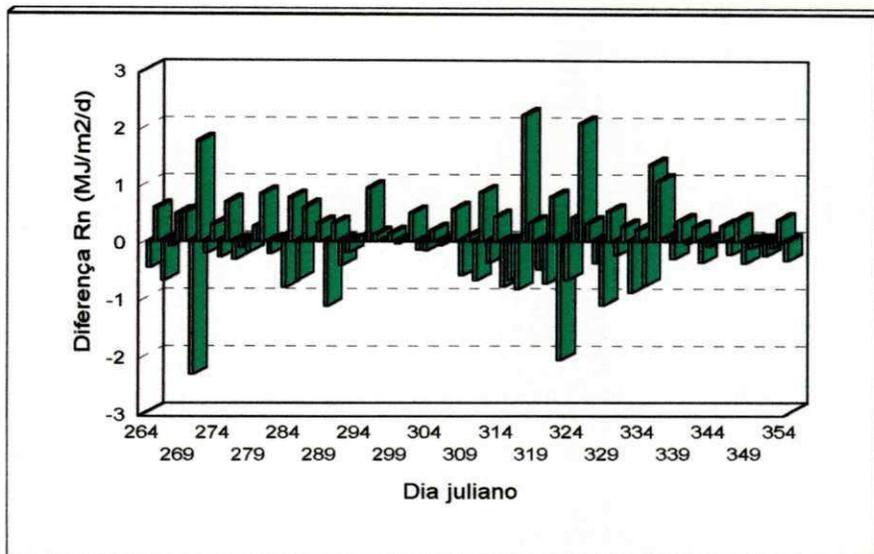


Figura 4.25 - Diferença entre R_n integrado durante o período diurno e integrado de 9 horas do dia em questão a 9 horas do dia seguinte.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Tomando como base os resultados obtidos neste estudo, as seguintes conclusões são apresentadas:

- Durante as fases de solo descoberto e germinação e crescimento, na primeira metade do campo experimental (área 1) predominou a ocorrência de advecção de ar úmido, gerado numa área vegetada próxima frequentemente irrigada, enquanto na segunda metade (área 2) durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, houve advecção de calor sensível, com maior destaque para a fase de solo descoberto, onde esta representou 29,3% da energia disponível;

- A acentuada contribuição de advecção de calor sensível principalmente na área 2, resultou do aquecimento da superfície descoberta entre fileiras dentro do próprio campo experimental;

- As elevadas taxas de evapotranspiração observada na fase de maturação nos evapotranspirômetros, provavelmente resultou do deslocamento de ar seco e quente proveniente da área vizinha sem vegetação situada a sul-sudeste dos

evapotranspirômetros. Esta situação contribuiu para o aumento das estimativas de evapotranspiração sobre a área 2 do campo experimental, por esta, estar mais próxima da área sem vegetação mencionada.

- As comparações entre medidas e estimativas horárias indicaram um acentuada sobrestimação da evapotranspiração na fase de solo descoberto; uma maior aproximação durante a fase de floração e desenvolvimento de vagem, enquanto na fase de maturação observou-se uma subestimação das medidas;

- Em termos horários, o método aerodinâmico Thornthwaite - Holzman foi o que apresentou melhor estimativa da evapotranspiração para as condições semi-áridas estudadas;

- Os resultados mostram que o albedo para as condições estudadas pode ser estimado em função do DAP com razoável precisão pela equação $r = 30,1 - 0,09967DAP + C$, entretanto, deve-se considerar os fatores de correções indicados na tabela 4.8 para dias com ocorrência de irrigação e precipitação.

- Observou-se que ao não se considerar R_n para o mesmo período em que é contabilizado o fluxo de calor latente (evapotranspiração), pode-se cometer erros de até cerca de $2,2 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$. Ou seja, o ideal é integrar R_n para o mesmo período considerado para a evapotranspiração, normalmente compreendido entre 9 horas de um dia e 9 horas do dia seguinte.

Considerando que o perímetro irrigado é circundado por uma extensa área composta por vegetação de pequeno porte, que proporciona aquecimento acentuado da superfície e contribui para geração de advecção de calor sensível, é provável que tenha havido uma razoável contribuição de advecção regional. Contudo, a presença do lago de Itaparica situado numa posição em que o vento antes de atingir o campo experimental, passava sobre o mesmo tornando-se mais úmido, provavelmente contribuiu para contrabalancear os efeitos advectivos regional de calor sensível. Tal situação, permite acreditar que a maior contribuição advectiva sobre a área experimental, resultou das vizinhanças imediatas do campo. Com base nisto, sugere-se que estudos sejam realizados visando a continuidade deste estudo e assim quantificar a influência regional de advecção.

REFERÊNCIAS

- Allen, J.R., 1971. Measurement of cloud emissivity in the 8-13 μ m waveband. **J. Appl. Meteor.**, 10: 260 - 265.
- Angus, D.E. and Watts, P.J., 1984. Evapotranspiration - How Good is the Bowen Ratio Method? **Agricultural Water Management**, 8: 133 - 150.
- Azevedo, P.V., Leitão, M.M.V.B.R., Souza, I.F., 1990. Balanço de radiação sobre culturas nas condições semi-áridas do cariri paraibano. VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Salvador - Ba. **Anais 01**: 33 - 38.
- Azevedo, P.V., Leitão, M.M.V.B.R., Souza, I.F., Maciel, G.F., 1990. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Bras. de Meteorologia**. v. 5(1): 403 -410.
- Barr, A.G., King, K.M., Gillespie, T.J., Den Hartog, G. and Neumann, H.H., 1994. A comparison of Bowen ratio and eddy correlation sensible and latent heat flux measurements above deciduous forest. **Boundary - Layer Meteorology** 71:21-41.
- Billaz, R., and Ochs, R., 1961. Stades de sensibilite de l'arachide a la secheresse. **Oleagineux**, 16: 605 - 611.
- Blad, B.L. and Baker, D.G., 1972. Reflected radiation from a soybean crop. **Agron. Journal** v. 64: 277 - 280.
- Blad, B.L. and Rosenberg, N.J., 1976. Evaluation of resistance and mass transport evapotranspiration models requiring canopy temperature data. **Agron. J.**, 68: 764 - 769.
- Blaine, L.B. & Rosenberg, N.J., 1974. Evapotranspiration by subirrigated alfalfa and pasture in the East Central Great Plains. **Agron. J.**, 66: 248 - 252.
- Boote, K. J., 1982. Growth stages of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Peanut Science**, 9: 35 - 40.
- Bowen, I.S., 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Phys. Ver. Ser. 2, Ithaca**, 27: 779 - 787.
- Brakke, T.W., Verma, S.B. and Rosenberg, N.J., 1978. Local and Regional Components of Sensible Heat Advection. **J. Appl. Meteorol.**, 17: 955 - 963.

- Campbell, A.P., 1972. The effect of stability on evaporation rates measured by the energy balance method. **Agric. Meteorol.**, 11: 261 - 267.
- Cellier, P., Richard, G., Robin, P., 1996. Partition of sensible heat fluxes into bare soil and the atmosphere. **Agricultural and Forest Meteorology**, 82: 245-265.
- Chin Choy, E.W. and Kanemasu, E.T., 1974. Energy balance comparisons of wide and narrow row spacings in sorghum. **J. Agron.**, 66: 98 - 100.
- Chin Choy, E.W., Stone, J.F., and Garton, J.E., 1977. Row spacing and direction effects on water uptake characteristics of peanuts. **J. Soil Sci. Soc. Amer.** 41: 428 - 432.
- Costa, J. de P.R. da, 1989. Comportamento fisiológico e consumo hídrico da cultura de soja (GLICINE MAX (L.) MERRILL) irrigada nas condições semi-áridas do Nordeste Brasileiro. Campina Grande - Pb, **DCA/CMM - TD Nº 2**. 111P. Tese de Mestrado.
- Crawford, T. V. and Dyer, A.J., 1962. The vertical divergence of evaporative and sensible heat fluxes. Second Annual Rep., Contract DA-36-037-SC-80334, University of California- Davis, 53-57.
- de Bruin, H.A.R., and Keijman J.Q., 1979. The Priestley-Taylor evaporation model applied to a large, shallow lake in the Netherlands. **J. Appl. Meteorol.** 18: 898-903.
- deVries, D.A., 1959. The influence of irrigation on the energy balance and the climate of the ground. **J. Meteorol.** 16: 256 -270.
- Dyer, A.J. and Crawford, T.V., 1965. Observations of the modification of the microclimate at a leading edge. **Q. J. Roy. Meteorol. Soc.** 91: 345 - 348.
- Fideles Filho, J., Silva, L.C., Beltrão, N.E.M., Rao, T.V.R., 1997. Avaliação da temperatura do dossel do amendoim para definição do índice de estresse hídrico da cultura. **Pesquisa em andamento - EMBRAPA - CNPA - Nº 38**, p. 1-3.
- Fitzpatrick, E.A. & Stern, W.R., 1965. Components of the radiation balance of irrigated plots in a dry monsoonal environment. **J. Appl. Meteorol.** 4: 649 - 660.
- Fontana, D.C., Berlato, M.A., Bergamaschi, H., 1987. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **V Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Belém - Pa, p.317 - 319.
- Fritschen, L.J. and van Bavel, C.H.M., 1962. Energy balance components of evaporating surfaces in arid lands. **J. of Geophys. Res.** v.67 nº 13: 5179 - 5185.

- Galbiatti, J.A., Silva, M.N., Garcia, A. e Caldeira, D.S.A., 1995. Comportamento da cultura de amendoim submetida a diferentes épocas de paralisação da irrigação. **Pesq. agropec. Bras. Brasília**, v.30, n.2, p. 195 - 200.
- Gash, J.H.C. and Stewart, J.B., 1975. The average surface resistance of a pine forest derived from Bowen ratio measurements. **Boundary-Layer Meteorol.**, 8: 453 - 464.
- Gates, D.M., 1965. Radiant energy, its receipt and disposal. **Agric. Meteorol. (P. E. Waggoner, ed.), chap. 1 (Meteorol. Monogr. 6: 1 - 26. Am. Meteorol. Soc., Boston.**
- Gates, D.M., 1980. *Biophysical Ecology* Springer-Verlag, New York.
- Geiser, R., 1959. *The Climate near the Ground* (2nd edn.). Havard University Press, Cambridge, MA.
- Geiser, R., 1966. *The Climate near the Ground* (4th edn.). Havard University Press, Cambridge, MA.
- Goltz, S.M. and Pruitt, W.O., 1970. Spatial and temporal variations of evapotranspiration downwind from the leading edge of a dry fallow field. Div. Tech. Rep. ECOM68-G10-1. Dept. of Water Sci. And Engineering, Univ. of California-Davis. 95 pp.
- Goltz, S.M. and Tanner, C.B., 1972. Energy, wind, and air temperature relations of screened breeding cages. **HortScience**, v.7(2): 181 - 184.
- Green, A.E., McANENEY, K.J. and Astill, M.S., 1994. Surface-Layer Scintillation Measurements of Daytime Sensible Heat and Momentum Fluxes. **Boundary-Layer Meteorology** 68: 357 - 373.
- Gregory, W.C., Gregory, M.P., Krapovickas, A., Smith, B.W., Yarbroygh, J.A., 1973. Structures and genetic resources of peanuts. In: *Peanuts: culture and uses*. Stillwater, Oklahoma: p. 47 - 128.
- Hanks, R.J., Allen, L.H. and Gardner H.R., 1971. Advection and Evapotranspiration of Wide-Row Sorghum in the Central Great Plains. **Agron. J.**, 63: 520 - 527.
- Heilman, J.L., Kanemasu, E.T., Rosenberg, N.J. and Blad, B.L., 1976. Thermal scanner measurement of canopy temperatures to estimate evapotranspiration. **Remote Sensing Environ.**, 5: 137 - 145.
- Heilman, J. L. and Brittin, C.L., 1989. Fetch Requirements for Bowen Ratio Measurements of Latent and Sensible Heat Fluxes. **Agric. Forest Meteorol.**, 44: 261 - 273.

- Heilman, J. L., McInnes, K.J., Gesch, R.W., Lascano, R.J., Savage, M.J., 1996. Effects of trellising on the energy balance of a vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology** 81: 79-93.
- Heitor, A., Biga, A. J. and Rosa, R., 1991. Thermal radiation components of the energy balance at the ground. **Agric. and forest Meteorol.** 54: 29 - 48.
- Hunt, G.E., 1973. Radiative properties of terrestrial clouds at visible and infra-red thermal window wavelenghts. **Q.J.R. Meteorol. Soc.**, 99: 346 - 369.
- Idso, S.B., 1974. On the use of equations to estimate atmospheric thermal radiation. **Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B**, 22: 287 - 299.
- Ineichen, P., Gremaud, J.M., Guisan, O. and Mermoud, A., 1984. Infrared sky radiation in Geneva. **Solar Energy**, N° 4, 32: 537 - 545.
- Jackson, R.D., Reginato, R.J. and Idso, S.B., 1977. Wheat canopy temperature: a Practical tool for evaluating water requirements. **Water Resour. Res.**, 13: 651 - 656.
- Kimura, F. and Shimizu, Y., 1994. Estimation of Sensible and Latent Heat Fluxes from Soil Surface Temperature Using a Linear Air-Land Heat Transfer Model. **Journal of applied Meteorology**, nº 4, 33: 477 - 489.
- Kohsiek, W., de Bruin, H.A.R., The, H. and Van Den Hurk, B., 1993. Estimation of the sensible heat flux of a semi-arid area using surface radiative temperature measurements. **Boundary-Layer Meteorology**, 63: 213-230.
- Kustas, P.W., 1990. Estimates of Evapotranspiration with a One- and Two - Layer Model of Heat Transfer over Partial Canopy Cover. **Journal of Applied Meteoroly**, v. 29: 704 - 715.
- Kustas, P.W., Schmugge, T.J. and Hipps, L.E., 1996. On using mixed-layer transport parameterizations with radiometric surface temperature for computing regional scale sensible heat flux. **Boundary-Layer Meteorology**, 80: 205-221.
- Jury, W.A. and Tanner, C.B., 1975. Advection Modification of the Priestley and Taylor Evapotranspiration Formula. **J. Agron.** 67: 840 - 842.
- Lang, A.R.G., 1973. Measurement of evapotranspiration in the presence of advection, by means of a modified energy balance procedure. **Agric. Meteorol.**, 12: 75 - 81.
- Lang, A.R.G., Evans, G.N. and Ho, P.Y., 1974. The influence of local advection on evapotranspiration from irrigated rice in a semi-arid region. **Agric. Meteorol.**, 13: 5 - 13.

- Leitão, M.M.V.B.R., 1989. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada. (Dissertação de Mestrado). **DCA/CMM - TD N° 03**, Campina Grande, 110p.
- Leitão, M.M.V.B.R., Azevedo, P.V., 1990. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Salvador - Ba. **Anais 01**: 27 - 32.
- Leitão, M.M.V.B.R., 1994. Balanço de Radiação em Três Ecossistemas da Floresta Amazônica: Campina, Campinarana e Mata Densa. (Tese de Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 135p. (INPE 5587-TDI).
- Leitão, M.M.V.B.R., Filho, J.F., Silva, L.C., Rao, T.V.R., 1996. Comportamento dos componentes do balanço de radiação em amendoim sob diferentes tratamentos de irrigação. IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais I**: 417 - 420.
- Linacre, E.T., 1968. Estimating the net radiation flux. **Agric. Meteorol.**, 5: 49 - 63.
- Liston, G.E., 1995. Local Advection of Momentum, Heat, and Moisture during the Melt of Patchy Snow Covers. **Journal of Applied Meteorology**, 34: 1705-1715.
- McCauley, G.N., Stone, J.F., and ChinChoy, E.W., 1978. Evapotranspiration reduction by field geometry effects in peanuts and grain sorghum. **Agric. Meteorol.**, 19: 295 - 304.
- McIlroy, I.C. and Angus, D.E., 1964. Grass, water and soil evaporation at Aspendale. **Agric. Meteorol.**, 1: 201 - 224.
- Mihailovic, D., Rajkovic, B., Lalic, B., Dekic, L., 1995. Schemes for Parameterizing Evaporation from a Non-Plant-Covered Surface and Their Impact on Partitioning the Surface Energy in Land-Air Exchange Parameterization. **Journal of Applied Meteorology**, nº 11, 34: 2462 - 2475.
- Monteith, J.L., 1961. An empirical method for estimating long-wave radiation exchanges in the British Isles. **Q.J.R. Meteorol. Soc.**, 87: 171 - 179.
- Monteith, J.L., 1965. Radiation and crops. **Expl. Agr.** 1: 241 - 251.
- Monteny, B., 1972. Evapotranspiration de diferents couverts vegetaux in region mediterranéene semi-aride. **Agric. Meteorol., Amsterdam**, 10 (½): 19 -38.
- Moran, M.S., Clarke, T.R., Kustas, W.P., Weltz, M. and Amer, S.A., 1994. Evaluation of hydrologic parameters in a semi-arid rangeland using remotely sensed spectral data. **Water Resour. Res.**, 30(5): 1287-1297.

- Nageswara Rao, R.C., Williams, J.H., and Singh, M., 1989. Genotypic sensitivity to drought and yield potential of peanut. **Agron. J.** 81: 887 - 893.
- Nakagawa, J., Scoton, L.C., Neptune, L., 1986. Comparação entre dois métodos de agricultura. **Revista de Agricultura**, v.41, n.4, p. 155 - 162.
- Oke, T.R., 1979., Advectively - assisted evapotranspiration from irrigated urban vegetation. **Boundary Layer Meteorology** 17: 167 - 173.
- Ortega-Farias, S.O., Cuenca, R.H., EK, M., 1996. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, 81: 131-143.
- Pahalwan, D.K. and Tripathi, R.S., 1984. Irrigation scheduling based on evaporation and crop water requirement for summer peanuts. **Peanut Science**, 11: 4 - 6.
- Pallas, J.F., Stansell, Jr.J.R., and Koske, T.G., 1979. Effects of drought on Florunner peanuts. **Agron. J.** 71: 853 - 858.
- Pandey, R.K., Herrera, W.A.T. & Pendleton, J.N., 1984. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. I: Yield and yield components. **Agronomy Journal**, 76: 549-552.
- Penman, H.L., Angus, D.E. and van Bavel, C.H.M., 1967. Microclimate factors affecting evaporation and transpiration. Chap. 26 in **American Society of Agronomy Monograph No. 11**, "Irrigation of Agricultural Lands," Madison, Wis.
- Pereira, A.R., Villa Nova, N.A., Sedyama, G.C., 1997. EVAPO(TRANSPI)RAÇÃO. Piracicaba: **FEALQ**, 183 p.: il.
- Philip, J. R., 1959. The Theory of Local Advection: I. **J. Meteorol.**, 16: 535 - 547.
- Prueger, J.H., Hipps, L.E., Cooper, D.I., 1996. Evaporation and the development of the local boundary layer over an irrigated surface in an arid region. **Agricultural and Forest Meteorology** 78: 223 - 237.
- Pruitt, W.O. & Aston, M.J., 1963. Atmospheric and surface factors affecting evapotranspiration. In: Brooks, F.A. et al., ed. Investigation of energy and mass transfer near the ground including the influences of the soil-plant-atmosphere system. Davis, Univ. California Dept. Agr. Eng. and Dept. Irrigation. 285 p. (USAEPG - contract nº DA-36-039-SC-80334. Final report). Cap. 3, p. 69-105.
- Rider, N.E., Philip, J.R. and Bradley, E.F., 1963. The horizontal transport of heat and moisture - A micrometeorological study. **Q. J. Roy. Meteorol. Soc.**, 89: 507 - 530.

- Rijcks, D.A., 1968. Water use by irrigated cotton in Sudan II: Net radiation and soil heat flux. **J. Appl. Ecology**, 5: 685 - 706.
- Rosenber, N.J., 1969a. Seasonal patterns in evapotranspiration by irrigated alfalfa in the central Great Plains. **Agron. J.**, 61: 879 - 886.
- Rosenberg, N.J., 1969b. Advective contribution of energy utilized in evapotranspiration by alfalfa in the east central Graet Plains. **Agric. Meteorol.**, 6: 179 - 184.
- Rosenberg, N.J., 1972. Frequency of potential evapotranspiration rates in Central Great Plains. **J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Engrs., New York**, 98(2): 203 - 206. Apud. **Met. Geostrophys. Abstr.**, Lancaster, Pa., 24(1) 141, Jan. 1973. [Resumo].
- Rosenberg, N.J., 1974. Microclimate: The Biological Environment. 1a. ed. **Jonh Wiley & Sons, inc.** 315p.
- Rosenberg, N.J. and Verma, S.B., 1978. Extreme evapotranspiration by irrigated alfalfa: A consequence of the 1976 midwestern drough. **J. Appl. Meteorol.**, 17: 934 - 941.
- Rosenberg, N.J., Blad, B.L. and Verma, S.B., 1983. Microclimate; the biological environment. Wiley, New York.
- Santos, R.C., Viswanadham, Y., Santos, J.M. e Gielow, R., 1991. Parâmetro de umidade em floresta de terra firme sob condições de advecção. **VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Viçosa-MG, p. 158 - 160.
- Sellers, W.D., 1965. Physical Climatology. Chicago, The University of Chicago Press, 272p.
- Shouse, p., Jury, W.A. and Stolzy, L.H., 1980. Use of Deterministic and Empirical Models to Predict Potential Evapotranspiration in an Advective Environment. **Agron. Journal**, 72: 994 - 998.
- Silva, L.C., Filho, J.F., Beltrão, N.E.M., Bezerra, J.R.C., Rao, T.V.R., 1996. Influência de níveis de irrigação sobre a produção de fitomassa e índice de área foliar de amendoim cv. BR-1. **Pesquisa em andamento - EMBRAPA - CNPA - N° 32**, p. 1-2.
- Singh, B. and Taillefer, R., 1986. The Effect of Synoptic-Scale Advection on the Performance of the Priestley - Taylor Evaporation Formula. **Boundary-Layer Meteorol.**, 36: 267-282.
- Slatyer, R.O. and McIlroy, I.C., 1961. Practical Microclimatology. **CSIRO**, Australia and UNESCO.

- Smith, D. M., Jarvis, P. G. and Odongo, J. C. W., 1997. Energy budgets of windbreak canopies in the Sahel. **Agricultural and Forest Meteorology**, 86: 33 - 49.
- Sorbjan, Z., 1995. Toward Evaluation of Fluxes in the Convective Boundary Layer. **Journal of applied Meteorology**, 34: 1092-1098.
- Stannard, D.I., 1997. A Theoretically Based Determination of Bowen-Ratio Fetch Requirements. **Boundary - Layer Meteorology** 83: 375-406.
- Stewart, J.B., Kustas, W.P., Humes, K.S., Nichols, W.D., Moran, M.S., de BRUIN, H.A.R., 1994. Sensible Heat Flux-Radiometric Surface Temperature Relationship for Eight Semiarid Areas. **Journal of Applied Meteorology**, 33: 1110-1117.
- Stone, L.R. and Horton, M.L., 1974. Estimating evapotranspiration using canopy temperatures: field evaluation. **Agron. J.**, 66: 450 - 454.
- Stone, J.F., McCauley, G.N., ChinChoy, E.W., and Reeves, H.E., 1976. Evapotranspiration reduction by field geometry effects. Final Technical Completion Report, Oklahoma **Water Resources Research Institute**, Stillwater, OK. 74078. 93 pp.
- Subrahmanyam, V.P. and Kumar, K.K., 1984. Studies in energy budget of finger millet crop part I: Short-wave reflectivity. **Tropical Ecology**, v. 25 n^o 1: 22 - 28.
- Sumayao, C.R., Kanemasu, E.T. and Brakke, T.W., 1980. Using leaf temperature to assess evapotranspiration and advection. **Agric. Meteorol.**, 22: 153 - 166.
- Tanner, C.B., 1960. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Sci. Soc. Amer.**, 24: 1-9.
- Tanner, C.B., Peterson, A.E. and Love, T.R., 1960. Radiant energy exchange in a cornfield. **Agron. J.**, 53: 373 - 379.
- Tanner, C.B., 1957. Factors affecting evaporation from plants and soils. **J. Soil Water Conserv.**, 12: 221 - 227.
- Távora, F.J.A.F., Costa, J.O., Alves, J.F., Filho, M.B., 1985. Resposta do amendoim (*Arachis hipogaea* L.) a diferentes níveis de disponibilidade hídrica. **Ciênc. Agron., Fortaleza**, 16(2): p. 95 - 102.
- Távora, F.J.A.F. e Melo, F.I.O., 1991. Resposta de cultivares de amendoim a ciclos de deficiência hídrica: crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. **Ciênc. Agron.** 22 (½): p. 47 - 60.

- Thornthwaite, C.W. and Holzman, B., 1939. The determination of evaporation from land and water surfaces. **Monthly Weather Review**, U.S. Dep. Agric. Washington, 67: 4 - 11.
- Unland, H.E., Houser, P.R., Shuttleworth, W.J., Yang, Zong-L., 1996. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid Sonoran Desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, 82:119-153.
- Vanzyl, W.H. and Jager, J.M., 1987. Accuracy of the Penman-Monteith equation adjusted for atmospheric stability. **Agric. and Forest Meteorol.**, 41: 57 - 64.
- Verma, S.B., Rosenberg, N.J., Blad, B.L. and Baradas, M.W., 1976. Resistance-energy balance method for predicting evapotranspiration determination of boundary layer resistance and evaluation of error effects. **Agron. J.**, 68: 776 - 782.
- Verma, S.B. and Rosenberg, N.J., 1978. Modified Bowen ratio-energy balance method for use where advection of sensible heat is considerable: Tests in alfalfa and soybean fields. **Submitted to Irrig. Sci.**
- Verma, S.B., 1989. Aerodynamic resistances of heat, mass and momentum in estimation of areal evaporation. **IAHS Publ.**, 177: 13 - 20.
- Villa Nova, N.A., 1973. Estudo sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Tese de Livre Docência. **ESALQ-USP**. Piracicaba, 78p.
- Yao, A.Y.M. and Shaw, R.H., 1963. Effect of plant population and planting pattern of corn on the distribution of net radiation. **Agron. J.**, 165 - 169.
- Wollenweber, G.C., 1995. Influence of fine scale vegetation distribution on surface energy partition. **Agricultural and Forest Meteorology**, 77: 225 - 240.
- Wright, I.R., Gash, J.H.C., Da Rocha, H.R., Shuttleworth, W.J., Nobre, C.A., Maitelli, G.T., Zamporoni, C.A.G.P. and Carvalho, P.R.A., 1992. Dry season micrometeorology of central Amazonian ranchland. **Q.J.R. Meteorol. Soc.**, 118: 1083 - 1099.