

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: MET - UFAL - MS/012

AVALIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
DA CULTURA DO MILHO IRRIGADO, NA REGIÃO DE RIO
LARGO - AL

IÊDO TEODORO

Dissertação apresentada ao departamento de Meteorologia /
CCEN / UFAL, para obtenção do título de **Mestre em**
Meteorologia - Área de concentração em **Processos de**
Superfície Terrestre.

MACEIÓ - AL

2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS - GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: MET - UFAL - MS/012

**AVALIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
DA CULTURA DO MILHO IRRIGADO, NA REGIÃO DE RIO
LARGO - AL**

Por

IÊDO TEODORO

**ORIENTADOR : JOSÉ LEONALDO DE SOUZA
DOUTOR EM AGRONOMIA**

MACEIÓ - AL

2003

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

T314a Teodoro, Iêdo.

Avaliação da evapotranspiração e desenvolvimento da cultura do milho irrigado, na região de Rio Largo-AL / Iêdo Teodoro. – Maceió, 2003.
xvii, 127f. il.

Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre)
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Meteorologia, Maceió, 2003.

Bibliografia: f 105-112.

Apêndice: f 113-127.

1. Meteorologia agrícola – Rio Largo (AL). 2. Milho – Cultura – Evapotranspiração. 4. Razão de Bwoen – Método. I. Título.

CDU: 551.5(813.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

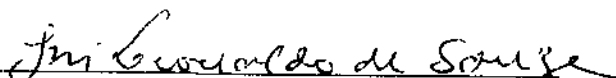
CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

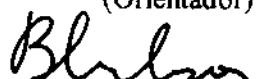
“AVALIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA
CULTURA DO MILHO IRRIGADO NA REGIÃO DE RIO LARGO - AL”

IÊDO TEODORO

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia. N.º de ordem: MET-UFAL-MS-012

Aprovada pela banca examinadora composta por:


Prof. Dr. José Leonaldo de Souza
(Orientador)


Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva


Prof. Dr. Gilson Moura Filho


Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra

Maceió - AL

Janeiro - 2003

Aos meus pais

José Teodoro (*in memorian*)

e

Creuza de Oliveira (*in memorian*)

A minha esposa

Maria da Penha Araújo de Oliveira Teodoro

Aos meus filhos

Antônio e Iêdo Peroba de Oliveira Teodoro

Aos meus irmãos

Ilei, Itamar e Inácio de Oliveira Teodoro

Dedico

Ao meu orientador

Prof. Dr. José Leonaldo de Souza

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Aos colegas de turma: **Adriana, Gidelson, Gino, Heliofábio, Márcia, Rosiberto, Sandro e Virgínia** agradeço pelo companheirismo e pela boa convivência que tivemos durante o curso.

Aos bolsistas de iniciação científica: **Erisson Amorim, Paulo Ricardo, Everton Barreto e Joaquim Louro**, agradeço pela ajuda constante na condução do experimento e nos trabalhos computacionais.

Aos professores do departamento de Meteorologia: **Elenice, Hélio, Leonaldo, Manoel Ferreira, Manoel Toledo, Marcos Moura, Maringolo, Molion, Natália, Ricardo Amorim, Ricardo Tenório e Roberto Lyra**, agradeço pelos ensinamentos, pelos incentivos e apoio, principalmente durante a escrita desta dissertação.

Ao coordenador de Pós-graduação, Prof. Dr. **Marcos A. Lima Moura**, agradeço pelo apoio, principalmente, na instalação do experimento.

Ao colega e amigo **Edson de França**, agradeço pelo companheirismo, pelas boas prosas e apoio na realização deste curso.

Ao Professor Dr. **Gilson Moura Filho**, agradeço pelo apoio e por ter aberto as portas de seu laboratório e disponibilizado seus equipamentos para a execução desta pesquisa.

Ao diretor do Centro de Ciências Agrárias da UFAL, Professor **Aloísio Gomes Martins**, agradeço pela prestabilidade, não só durante esse experimento, mas sempre que dele precisei.

Ao auxiliar agrícola Sr. **Antônio Lorêdo**, agradeço pela ajuda imprescindível na irrigação e controle de pragas e ervas daninhas.

Ao administrador de campo do CECA, Sr. **Agnézio**, ao tratorista **Eleno** e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho,

Eu agradeço e homenageio.

SUMÁRIO

	Pg.
1.0 - INTRODUÇÃO	01
2.0 - REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 - Evapotranspiração	04
2.1.1. Fatores que afetam a evapotranspiração	07
2.1.2. Métodos para determinar a evapotranspiração de referência (ET _o)	09
2.2 - A cultura do milho	13
2.2.1. Cultivares	14
2.2.2 - Crescimento e desenvolvimento da cultura	15
2.2.3 - Necessidades térmicas do milho	18
2.2.4 - Resistência à transferência de vapor d'água para a atmosfera	18
2.3 - Balanço de energia	20
2.4 - Necessidades hídricas da cultura do milho	21
2.4.1 - Métodos para determinar a evapotranspiração de cultura (ET _c)	22
2.5 - Coeficiente de cultura (K _c)	23
3.0 - MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 - Características da área	25
3.2 - Observação dos dados meteorológicos	26
3.3 - Estimativa da Evapotranspiração de referência (ET _o)	29
3.3.1 - Método de Penman-Monteith	29
3.3.2 - Método de Linacre	31
3.3.3 - Método do tanque classe "A"	32
3.3.4 - Método de Blaney - Criddle	32
3.3.5 Método de Penman (1948)	33
3.3.6 - Radiação da FAO	33
3.4 - Análise de concordância	34
3.5 - Análise de crescimento e desenvolvimento da cultura	35
3.5.1 - Necessidades térmicas	35
3.5.2 - Altura das plantas (L)	35
3.5.3 - Matéria seca da parte aérea das plantas	35
3.5.4 - Índice de área foliar	35
3.5.5 - Fenologia	36
3.6 - Resistência aerodinâmica e da cultura	36
3.6.1 - Resistência aerodinâmica	36
3.6.2 - Resistência da cultura	37
3.7 - Balanço de energia	37

3.7.1 - Razão de Bowen	38
3.7.2 - Balanço de energia pela obtenção de H através da resistência aerodinâmica	39
3.8 - A evapotranspiração de cultura (ET _c)	40
3.8.1 - Razão de Bowen	40
3.8.2 - Penman-Monteith	41
3.8.3 - Balanço de energia	41
3.9 Coeficiente de cultura (K _c)	41
4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1- Evapotranspiração de Referência	42
4.1.1 - Variação diária	42
4.1.2 - Comparação dos resultados obtidos pelos diferentes métodos ...	45
4.1.3 - Variação decendial	55
4.1.4 - Variação por fase fenológica da cultura	56
4.1.5 - Análise de concordância dos resultados	60
4.2 - Crescimento e desenvolvimento da cultura	63
4.2.1 - Necessidades térmicas	63
4.2.2 - Altura das plantas (L)	64
4.2.3 - Índice de área foliar verde (IAF)	65
4.2.4 - Matéria seca (MS)	66
4.3 - Resistências à transferência de vapor d'água para a atmosfera	67
4.3.1 - Resistência aerodinâmica	67
4.3.2 - Resistência da cultura	69
4.4 - Balanço de Energia	71
4.4.1 - Balanço de energia ao longo do ciclo da cultura	73
4.4.2 - Balanço de energia diário	77
4.5 - Evapotranspiração da cultura (ET _c) do milho	81
4.5.1 - Variação diária	83
4.5.2 - Comparação entre métodos de ET _c	83
4.5.3 - Evapotranspiração decendial da cultura	90
4.5.4 - Evapotranspiração por fase fenológica da cultura (ET _c)	94
4.5.5 - Análise de concordância dos resultados da evapotranspiração da cultura	98
4.6 - Coeficiente de cultura (K _c)	98
5.0 - CONCLUSÃO	103
6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	113

LISTA DE TABELAS

	Pg.
1 Escala fenológica da cultura do milho proposta por Hanway (1963) e adaptada por Fancelli e Dourado Neto (2000)	17
2 Resultados da análise química do solo da área experimental de Agrometeorologia no Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo – AL	26
3 Valores máximo (Max.), mínimo (Mín.), número de dias após o plantio (DAP) em que ocorreu o respectivo valor, média e total da evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelos 9 métodos analisados nessa pesquisa, na região de RioLargo – AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002	54
4 Valores decendiais da evapotranspiração de referência (ET_o) na região de Rio Largo –AL, no período de 01/jan a 12/abr de 2002, estimados pelos métodos de : Linacre (Lin.), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e), Penman-Monteith com R_n medido - padrão da FAO (PM), Penman com R_n estimado (Pen_e), Penman com R_n medido (Pen.), Tanque classe “A” (C.A), Blaney-Criddle (B-C), Radiação com R_g estimado (Rad_e), Radiação com R_g medido (Rad), e média	58
5 Valores da evapotranspiração de referência (ET_o), por fase fenológica da cultura do milho na região de Rio Largo –AL, no período de 01/jan a 12/abr de 2002, estimados pelos métodos de : Linacre (Lin.), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e), Penman-Monteith com R_n medido - padrão da FAO (PM), Penman com R_n estimado (Pen_e), Penman com R_n medido (Pen.), Tanque classe “A” (C.A), Blaney-Criddle (B-C), Radiação com R_g estimada (Rad_e), Radiação com R_g medida (Rad), e média	61
6 Valores diários, decendiais e por fase fenológica, da cultura do milho, da raiz média quadrática das diferenças (rmqd) e concordância (“d”) de Willmott (1984) dos métodos de Linacre (Lin.), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e), Penman-Monteith com R_n medido - padrão da FAO (PM), Penman com R_n estimado (Pen_e), Penman com R_n medido (Pen), Tanque classe “A” (C.A), Blaney-Criddle (B-C), Radiação com R_g estimado (Rad_e) e com R_g medido (Rad), na região de Rio Largo–AL no período de 01/jan a 12/abr de 2002	62

- 7 Data de ocorrência dos estádios fenológicos (data, dia Juliano e dias após a emergência - DAE), Tempo para ocorrência de estádios fenológicos (t), altura média das plantas (L), índice de área foliar (IAF), matéria seca acumulada (MS) e necessidades térmicas em graus dias (GD) por fase de desenvolvimento e acumulada, da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo-AL, cultivada no período de janeiro a abril de 2002 65
- 8 Valores do fluxo de calor latente, fluxo de sensível e fluxo de calor no solo, em percentagem do saldo de radiação, nos seis dias analisados em diferentes fases fenológicas de uma cultura de milho na região de Rio Largo - AL 78
- 9 Valores máximo (Max.), mínimo (Mín.), número de dias após o plantio (DAP) em que ocorreu o respectivo valor, média e total da evapotranspiração da cultura (ETc) do milho, estimada pelos 9 métodos analisados nesse experimento, na região de Rio Largo - AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 94
- 10 Valores decendiais da evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho, estimados pelos métodos: razão de Bowen usando a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 1 (T₁) (RB₁), usando a T_o e a temperatura do nível 2 (T₂) (Padrão), usando a T₁ e a T₂ (RB₂), Penman - Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}), com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}); com r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}), com r_{c1}/r_{a2} (PM_{c4}), balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 (B.E₁) e com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 (B.E₂), na região de Rio Largo - AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 95
- 11 Valores da evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho, por fase fenologia, estimados pelos métodos: razão de Bowen usando a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 1 (T₁) (RB₁), usando a T_o e a temperatura do nível 2 (T₂) (Padrão), usando a T₁ e a T₂ (RB₂), Penman - Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}), com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}); com r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}), com r_{c1}/r_{a2} (PM_{c4}), balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 (B.E₁) e com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 (B.E₂), na região de Rio Largo - AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 96
- 12 Valores diários, decendiais e por fase fenológica da cultura do milho, da raiz média quadrática das diferenças (rmqd) e concordância ("d") de Willmott (1984) dos métodos :razão de Bowen com a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 2 (T₂) (Padrão), com T_o e a temperatura do nível 1 (T₁) (RB₁), e T₁ - T₂ (RB₂); Penman-Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}), com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}); com r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}), com r_{c1}/r_{a2} (PM_{c4}), balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 (B.E₁) e com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 (B.E₂), na região de Rio Largo -AL no período de 01/jan a 12/abr de 2.002 99
- 13 Coeficientes de cultura do milho na região de Rio Largo - AL , estimados em função de diversos métodos de evapotranspiração da cultura (ETc) e evapotranspiração de referência (ET_o) analisados nessa pesquisa 102

LISTA DE FIGURAS

	Pg
1 Representação simplificada da resistência ao fluxo de vapor d'água total da superfície e aerodinâmica (Allen et al., 1998)	19
2 Curva do coeficiente de cultura (K_c) do milho, conforme Doorenbos e Pruitt (1987)	24
3 Croqui do experimento	26
4 Fotografia da cultura do milho (Fase de desenvolvimento 3 – oito folhas expandidas), com destaque para a estação agrometeorológica	27
5 Convenções de sentido (sinal) dos componentes do balanço de energia	38
6 Precipitação decendial observada (P_o) no período de 1º de janeiro a 30 de abril de 2002 e a normal climatológica (P_n) da região de Rio Largo – AL ..	43
7 Variação decendial da umidade relativa do ar, médias diárias observadas (UR_o) no período de 1º de janeiro a 30 de abril de 2002 e a normal climática (UR_n) da região de Rio Largo – AL	43
8 Variação decendial da temperatura do ar, médias diárias observadas (T_{ob}) no período de 1º de janeiro a 30 de abril de 2002 e a normal climática (T_{mn}) da região de Rio Largo – AL	44
9 Variação decendial da velocidade do vento a 2 m de altura: médias diárias observadas (V_o) no período de 1º de janeiro a 30 de abril de 2002 e a normal climática (V_n) da região de Rio Largo – AL	44
10 Variação decendial da radiação solar global diária: médias diárias observadas (R_{go}) no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 e a normal climática (R_{gn}) da região de Rio Largo – AL	45
11 Evapotranspiração de referência (ET_o) diária estimada pelo modelo de Penman-Monteith, padrão da FAO (PM) e a média dos resultados obtidos pelos diversos modelos utilizados nesse experimento, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo – AL	46

12	Evapotranspiração de referência (ET_o) diária estimadas pelos métodos de Penman - Monteith padrão da FAO (PM), Linacre (Lin) e Tanque Classe "A" (C.A), no período de 1° de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo - AL	48
13	Evapotranspiração de referência (ET_o) diária estimadas pelos métodos de Penman-Monteith padrão da FAO (PM), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e) e Blaney - Criddle (B.C), no período de 1° de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo-AL	49
14	Evapotranspiração de referência (ET_o) diária estimada pelos métodos de Penman-Monteith padrão da FAO (PM), Penman (1948) com R_n estimando (Pen_e) e com R_n medido (Pen), no período de 1° de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo - AL	52
15	Evapotranspiração de referência (ET_o) diária estimada pelos métodos de Penman - Monteith padrão da FAO (PM), Radiação solar da FAO com R_g estimada (Rad_e) e medida (Rad), no período de 1° de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo - AL	53
16	Variações decendiais da evapotranspiração de referência (ET_o), na região de Rio Largo - AL, no período de 01/jan a 12/abr de 2002, estimadas pelos métodos: a) Penman - Monteith com R_n medido, padrão da FAO (PM), Linacre (Lin) e Tanque Classe 'A' (C.A); b) (PM), Penman - Monteith com R_n estimado (PM_e) e Blaney -Criddle (B-C); c) (PM), Penman com R_n medido (Pen). e Penman com R_n estimado (Pen_e) e d) (PM), Radiação - FAO com R_g medido (Rad) e Radiação - FAO com R_g estimado (Rad_e)	57
17	Variações da evapotranspiração de referência (ET_o), por fases fenológicas da cultura do milho na região de Rio Largo - AL, no período de 01/jan a 12/abr de 2002, estimadas pelos métodos: a) Penman - Monteith com R_n medido, padrão da FAO (PM), Linacre (Lin) e Tanque Classe 'A' (C.A); b) (PM), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e) e Blaney-Criddle (B-C); c) (PM), Penman com R_n medido (Pen). e Penman com R_n estimado (Pen_e) e d) (PM), Radiação-FAO com R_g medido (Rad) e Radiação - FAO com R_g estimado (Rad_e)	59
18	Necessidades térmicas, em termos de graus dia (GD), em função das fases fenológicas ou fases de desenvolvimento da cultura do milho BR 106 na região de Rio Largo-AL, no período de 1° de janeiro a 22 de abril de 2002.	64
19	Variações da altura média das plantas (L) e do índice de área foliar (IAF), nas fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo-AL, cultivado no período de janeiro a abril de 2002	66

20	Variações da matéria seca (MS) na parte aérea e a altura das plantas (L) nas fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo - AL, cultivado no período de janeiro a abril de 2002	68
21	Variações do índice de área foliar (IAF) e da matéria seca (MS) em função das fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo-AL, cultivado no período de janeiro a abril de 2002	68
22	Variações do índice de área foliar (IAF) e da matéria seca (MS) em função das fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo-AL, cultivado no período de janeiro a abril de 2002	69
23	Variações da resistência da cultura estimada pela equação apresentada por Allen e Asce (1986), em função do R_n e IAF (r_{e1}) e obtida pela equação apresentada por Allen et al. (1989) apenas em função do IAF (r_{e2}), na região de Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002	70
24	Quantidade de água armazenada no solo (mm) na profundidade de 60 cm, precipitação pluvial mais a água adicionada pela irrigação (chuva + irrigação) e o volume de água armazenado (145 mm) quando solo está em capacidade de campo, na cultura do milho em Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002	71
25	Variação da umidade ($m^3 m^{-3}$) nos horizontes "A" e "AB" com respectivamente, 15 cm e 30 cm de profundidade e suas respectivas capacidade de campo (CC de $0,210 m^3 m^{-3}$ e $0,230 m^3 m^{-3}$) e a precipitação pluvial mais a água adicionada pela irrigação (chuva + irrigação), na cultura do milho BR 106 em Rio Largo - AL, no período de janeiro a abril de 2002	72
26	Componentes do balanço de energia diurno, durante o ciclo da cultura do milho em Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002, representados pelo saldo de radiação (R_n) medido, fluxo de calor no solo (G) também medido, fluxo de calor latente (λE) e fluxo de calor sensível (H), estimados pela razão de Bowen	74
27	Componentes do balanço de energia diurno, durante o ciclo total da cultura do milho na região de Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002, representados pelo saldo de radiação (R_n) medido, fluxo de calor no solo (G) também medido, fluxo de calor latente (λE) e fluxo de calor sensível (H), estimados: a) pelo balanço de energia calculado em função da r_{a1} e b) pelo balanço de energia calculado em função da r_{a2}	76

28	Variações do saldo de radiação (Rn) e densidades de fluxos de calor no solo (G) medidos, calor latente (λE) e de calor sensível (H) estimados pelo balanço de energia da razão de Bowen, a) no dia 15 de janeiro (10 dias após a emergência – DAE) e b) no dia 31 de janeiro (26 DAE), numa cultura de milho na região de Rio Largo – AL	79
29	Variações do saldo de radiação (Rn) e densidades de fluxos de calor no solo (G) medidos, calor latente (λE) e de calor sensível (H) estimados pelo balanço de energia da razão de Bowen: a) no dia 17 de fevereiro (43 DAE) e b) no dia 1º de março (55 DAE), numa cultura de milho na região de Rio Largo – AL	80
30	Variações do saldo de radiação (Rn) e densidades de fluxos de calor no solo (G) medidos, calor latente (λE) e de calor sensível (H) estimados pelo balanço de energia da razão de Bowen, a) no dia 10 de março (64 DAE) e b) no dia 6 de abril (96 DAE), numa cultura de milho na região de Rio Largo – AL	82
31	Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho BR 104, estimada pelo método de Bowen em função da temperatura da superfície e da temperatura do nível 2 (padrão) e a média dos resultados obtidos pelos 9 métodos analisados, na região de Rio Largo – AL, no período de 6 de janeiro a 12 de abril de 2002	84
32	Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho obtidas pelos métodos: Razão de Bowen (RB ₁) com a temperatura da superfície (T _o) e a temperatura do nível 1 (T ₁), o padrão e a Razão de Bowen (RB ₂) com a T ₁ e temperatura do nível 2 (T ₂), na região de Rio Largo – AL, no período de 6 de janeiro a 12 de abril de 2002	86
33	Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho estimadas pelos métodos: padrão, Penman-Monteith (PMc ₁) utilizando a relação r_{e1}/r_{a1} e Penman-Monteith (PMc ₂) utilizando a relação r_{e2}/r_{a2} , na região de Rio Largo – AL, no período de 6 de janeiro a 12 de abril de 2002	88
34	Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho, calculadas pelos métodos: padrão, Penman-Monteith (PMc ₃) utilizando a relação r_{e2}/r_{a1} e Penman-Monteith (PMc ₄) utilizando a relação r_{e1}/r_{a2} , na região de Rio Largo – AL, no período de 6 de janeiro a 12 de abril de 2002	89
35	Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho, estimadas pelos métodos: padrão, Balanço de Energia, a partir do r_{a1} (B.E ₁) e Balanço de Energia a partir da r_{a2} (B.E ₂) na região de Rio Largo – AL, no período de 06:01 a 12/04/2002	91

- 36 Características da ETc decendial do milho, estimadas pelos métodos: a) razão de Bowen com a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 2 (T_2) (Padrão), com T_o e a temperatura do nível 1 (T_1) (RB_1), e $T_1 - T_2$ (RB_2); b) (Padrão), Penmam-Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}) e com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}); c) (Padrão), com r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}) e com r_{c1}/r_{a2} (PM_{c4}) e d) (Padrão), balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 ($B.E_1$) e com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 ($B.E_2$), na região de Rio Largo - AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 93
- 37 Evapotranspiração da cultura (ETc) do milho, por fases fenológicas, estimadas pelos métodos: a) razão de Bowen com a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 2 (T_2) (Padrão), com T_o e a temperatura do nível 1 (T_1) (RB_1), e $T_1 - T_2$ (RB_2); b) (Padrão), Penmam-Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}) e com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}); c) (Padrão), com r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}) e com r_{c1}/r_{a2} (PM_{c4}) e d) (Padrão), Balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 ($B.E_1$) e Balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 ($B.E_2$), na região de Rio Largo - AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 97
- 38 Variação do coeficiente de cultura obtido a partir da evapotranspiração da cultura (ETc) média e da evapotranspiração de referência (ET_o) média (Kc_m) e da altura (L) das plantas relacionadas com as fases fenológicas e as necessidades térmicas (graus dia - GD) da cultura do milho na região de Rio Largo - AL 101
- 39 Variação do coeficiente de cultura, obtido pela ETc da razão de Bowen (padrão) e ET_o de Penman-Monteith com R_n medido (padrão da FAO) (Kc_1) e do Kc_2 calculado através da ETc (PM_{c2}) e da ET_o padrão da FAO, relacionadas com as fases fenológicas da cultura do milho na região de Rio Largo - AL 101
- 40 Variação do coeficiente de cultura do milho na região de Rio Largo - AL, determinados em função da ETc padrão e da ET_o calculada pelo modelo de Linacre (Kc_3) e através da ETc do PM_{c2} e da ET_o de linacre (Kc_4) 102

LISTA DE ANEXOS

	Pg.
1 Fator P do método de Blaney-Criddle, em função da latitude e da época do ano. Adaptado de Doorenbos e Pruitt (1977)	114
2 Valores diários da evapotranspiração de referência ET_o (mm), estimados pelos métodos de Linacre (Lin.), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e), Penman-Monteith com R_n medido - padrão da FAO (PM), Penman (1948) com R_n estimado (Pen_e), Penman (1948) com R_n medido (Pen), Tanque classe "A" (C.A), Blaney-Criddle (B-C), Radiação com R_g estimado (Rad_e), com R_g medida (Rad) e média	115
3 Valores da resistência aerodinâmica calculada pela expressão apresentada por Allen et al. (1989) (r_{a1}) e pela fórmula original de Penman (r_{a2}) e resistência da cultura obtida pela equação apresentada por Allen et al. (1986) (r_{c1}) e Allen et al., (1989) (r_{c2})	117
4 Balanço de energia ao longo do ciclo da cultura com valores diurnos do saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível (H), e fluxo de calor latente estimado pela razão Bowen, com suas respectivas percentagens do R_n	119
5 Balanço de energia ao longo do ciclo da cultura do milho com valores diurno de saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível estimado em função de ra_1 (H_1), fluxo de calor latente estimado a partir de H_1 (LE_1), fluxo de calor sensível estimado em função de ra_2 (H_2) e fluxo de calor latente estimado a partir de H_2 (LE_2), com suas respectivas percentagens do R_n	121
6 Balanço de energia diário na cultura do milho com valores horários do saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), estimados pela razão de Bowen, nos dias 15 e 31 de janeiro de 2002, na Região de Rio Largo - AL	123

- 7 Balanço de energia diário na cultura do milho com valores horários do saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), estimados pela razão de Bowen, nos dias 17 de fevereiro e 01 de março de 2002, na Região de Rio Largo - AL 124
- 8 Balanço de energia diário na cultura do milho com valores horários do saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), estimados pela razão de Bowen, nos dias 10 de março e 06 de abril de 2002, na Região de Rio Largo - AL 125
- 9 Valores diários da evapotranspiração da cultura (ET_c) (mm), estimados pelos métodos Razão de Bowen usando a temperatura da superfície (T_0) e a temperatura do nível 1 (T_1) (RB_1), usando a T_0 e a temperatura do nível 2 (T_2) (**Padrão**), usando a T_1 e a T_2 (RB_2), Penman-Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}), com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}), r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}), com r_{c1}/r_{a2} e B. Energia com r_{a1} ($B.E_1$) e com r_{a2} ($B.E_2$) 126

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- BE – Método do balanço de energia;
- BERB – Método do balanço de energia pela razão de Bowen;
- B.C - Método de evapotranspiração de referência de Blaney-Criddle;
- C. A - Método de evapotranspiração de referência pela evaporação do Tanque Classe “A”;
- “d” - Índice de concordância;
- d_0 - Deslocamento do plano zero;
- D_s - Densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$);
- Dag - Densidade da água ($1,00\ Mg\ m^{-3}$);
- E – Evaporação ($mm\ dia^{-1}$);
- e_s - pressão de saturação do vapor d'água do ar (kpa);
- e - pressão do vapor d'água do ar (kpa);
- ET – Evapotranspiração ($mm\ dia^{-1}$);
- ET_c – Evapotranspiração da cultura ($mm\ dia^{-1}$);
- ET_o – Evapotranspiração de referência ($mm\ dia^{-1}$);
- ET_{oa} – Evapotranspiração de oásis ($mm\ dia^{-1}$);
- ET_p – Evapotranspiração potencial ($mm\ dia^{-1}$);
- ET_r – Evapotranspiração real ($mm\ dia^{-1}$);
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations;
- G – Fluxo de calor no solo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$);
- GD – Graus-dia;
- g – Grama;
- H – Fluxo de calor sensível ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$);
- IAF – Índice de área foliar;
- ha – Hectare ($10.000\ m^2$);
- K - Constante de Von Karman = 0,41.
- K_c – Coeficiente de cultura;
- K_p – Coeficiente do tanque (m);
- L – Altura media das plantas;
- Lin. - Método de evapotranspiração de referência de Linacre;
- MS – Matéria seca (g);
- N – Fotoperíodo (hora de luz por dia);
- n – Brilho solar (horas luz por dia);
- μ - Umidade do solo em base de massa ($kg\ kg^{-1}$);
- Pen - Método de evapotranspiração de referência de Penman (1948), com R_n medido;
- Pen_e - Método de evapotranspiração de referência de Penman (1948), com R_n estimado;
- PM – Método de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith com R_n medido padrão da FAO;
- PM_e - Método de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith com R_n estimado;
- PM_{c1} - Método de evapotranspiração da cultura de Penman-Monteith com r_{c1}/r_{a1} ;
- PM_{c2} - Método de evapotranspiração da cultura de Penman-Monteith com r_{c2}/r_{a2} ;

- PM_{c3} - Método de evapotranspiração da cultura de Penman-Monteith com r_{c2}/r_{a1} ;
 PM_{c4} - Método de evapotranspiração da cultura de Penman-Monteith com r_{c1}/r_{a2} ;
 Rad - Método de evapotranspiração de referência da radiação da FAO, com R_g medida;
 Rad_e - Método de evapotranspiração de referência da radiação da Fao, com R_g estimada;
 RB₁ - Método de evapotranspiração da cultura pela razão de Bowen com $(T_o - T_1)$;
 RB₂ - Método de evapotranspiração da cultura pela razão de Bowen com $(T_1 - T_2)$;
 R_g - Radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
 R_r - Radiação refletida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
 R_s - Radiação da superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
 R_a - Radiação da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
 R_o - Radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
 r - Albedo da superfície;
 r^2 - Coeficiente de correlação (%);
 r_a - Resistência aerodinâmica (s m^{-1});
 r_c - Resistência da cultura (s m^{-1});
 rmqd - Raiz média quadrática das diferenças;
 R_n - Saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
 SEPLAN - Secretaria do Planejamento do Estado de Alagoas;
 T - Toneladas
 T - Temperatura média do ar;
 T_b - Temperatura base do milho (10°C);
 T_d - Temperatura do ponto de orvalho ($^\circ\text{C}$);
 $T_{\text{máx}}$ - Temperatura máxima do ar;
 $T_{\text{mín}}$ - Temperatura mínima do ar;
 T_o - Temperatura da superfície (dossel das folhas do milho) em Kelvin ou $^\circ\text{C}$;
 U_2 - Velocidade do vento medido a dois metro de altura (m s^{-1} ou km hora^{-1});
 U_z - Velocidade do vento na altura z (m s^{-1} ou km hora^{-1});
 U_d - Velocidade média do vento no período diurno (m s^{-1} ou km hora^{-1});
 UR - Umidade relativa do ar (%);
 β - Razão de Bowen;
 Δ - Inclinação da curva da pressão de vapor saturado versus temperatura ($\text{kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$);
 δ - Declinação solar (graus);
 ϕ - Latitude local (graus);
 σ - constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ou $4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia K}^{-4}$);
 γ - coeficiente psicrométrico ($\text{kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$);
 λ - Calor latente de evaporação (MJ kg^{-1});
 λE - Fluxo de calor latente;
 $^\circ\text{C}$ - Graus Célcus;
 θ - Umidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);
 ρ_a - Densidade do ar ($1,29 \text{ kg m}^{-3}$);
 c_p - Calor específico do ar ($1,013 \times 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ m}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$);
 z - Altitude local (m);
 Z_m - Altura de medida do vento (m);
 Z_h - Altura de medida da umidade relativa do ar (m);
 Z_{om} - Comprimento da rugosidade para transferência de momento (m);
 Z_{oh} - Comprimento da rugosidade para transferência de calor e vapor d' água (m);

AVALIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO IRRIGADO, NA REGIÃO DE RIO LARGO – AL

AUTOR : IÉDO TEODORO

ORIENTADOR : JOSÉ LEONALDO DE SOUZA

RESUMO

Conduziu-se um experimento Agrometeorológico no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Rio Largo – AL (09° 28' S, 35° 49' W e 127 m de altitude), no período de janeiro a abril de 2002, para avaliar métodos de cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0), balanço de energia e evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho irrigado. Utilizou-se um sistema automático de aquisição de dados Micrologger-21XL da Campbell Scientific para medir as variáveis meteorológicas. A ET_0 foi avaliada pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Linacre (Lin), tanque classe "A" (C.A), Blaney-Cridlly (B.C), Penman 1948 (Pen) e radiação da FAO (Rad). A ET_c também foi avaliada pelo PM, razão de Bwoen (RB) e balanço de energia (B.E).

A ET_0 média diária dos modelos variou de 2,02 mm a 5,42 mm, com uma média de 3,99 mm dia⁻¹. O modelo PM foi considerado padrão para aferição dos demais. A análise de concordância feita com base no coeficiente "d" de Willmott mostrou que o Rad, seguido do Pen foram os que tiveram resultados mais semelhantes ao padrão e o C.A foi o que menos concordou.

A cultura de milho da variedade BR 106 atingiu uma altura de 2,72 m e um índice de área foliar (IAF) máximo de 4,51 na fase de emissão do pendão. A produtividade agrícola ficou em torno de 5,0 t. ha⁻¹. A resistência aerodinâmica foi calculada em função dos parâmetros aerodinâmicos da cultura (r_{a1}) e com base na velocidade do vento (r_{a2}). A r_{a1} nos primeiros 25 dias após o plantio variou de 80 s m⁻¹ a 151 s m⁻¹, no restante do ciclo da cultura, diminuiu para a faixa de 35 s m⁻¹ a 71 s m⁻¹, enquanto a r_{a2} , foi mais elevada durante todo período do cultivo, mas apresentou uma variação menor de 117,32 s m⁻¹ a 175,62 s m⁻¹. A

resistência da cultura, baseada no saldo de radiação (R_n) e no IAF, foi de 26.487,3 s m⁻¹ a 38,5 s m⁻¹ e considerando apenas o IAF foi de 20.000,00 s m⁻¹ a 44,34 s m⁻¹.

O R_n , sobre a cultura, e o fluxo de calor no solo (G) foram medidos. O R_n médio foi 13,58 MJ m⁻² e o G médio foi 0,42 % do R_n (valores diurnos). O balanço de energia pelo RB, utilizando a temperatura da superfície obtida através de medidas pigiométricas e a temperatura a 2,0 m do dossel das plantas, ao longo do ciclo da cultura, indicou que em média 84,36 % da energia disponível foi usada como fluxo de calor latente (λE) e 15,21% como fluxo de calor sensível (H). No B.E, em função da r_{a1} , 50,62 % e 48,94 % do R_n foi para λE e H , respectivamente e com base na r_{a2} , 78,51 % foi para evapotranspiração e 21,07 % para o calor sensível.

A ET_c média diária de todos os métodos variou de 1,18 mm a 6,37 mm, média de 4,15 mm. O RB foi considerado o modelo padrão e os resultados obtidos com o BE concordou em 100 % com o padrão. O coeficiente de cultura (Kc) foi calculado pelo cociente de ET_c / ET_0 . O Kc médio foi 0,58 na fase inicial, 1,23 na fase de grão leitoso e 1,07 na fase de grão duro.

EVAPOTRANSPIRATION ASSESSMENT AND DEVELOPMENT OF IRRIGATED MAIZE CROP IN THE RIO LARGO – AL REGION.

AUTHOR : IÉDO TEODORO

PERSON WHO ORIENTATES: JOSÉ LEONALDO DE SOUZA

ABSTRACT

A agrometeorology experiment was conducted in the Sciences Agrarians Center of the Federal University of Alagoas, Rio Largo – AL. (09° 28' S, 35° 49' W and 127 m of altitude), in the period of January to April of 2002, to evaluate methods of the reference evapotranspiration (ET_0), energy balance and crop evapotranspiration (ET_c), of the irrigated corn. A automatic system of daters acquisition Micrologger – 21XL of the Campbell Scientific was utilized to measure the weather variable. The ET_0 was evaluated by the methods: Penman–Monteith (PM), Linacre (Lin), Pan Class “A” (C.A), Blaney-Cridlly (B.C), Penman 1948 (Pen) and radiation of FAO (Rad).

The daily medium ET_0 of the models varied of 2,02 mm to 5,42 mm, with average of 3,99 mm. The PM pattern was considered for comparison of the other methods. The concordance analysis done with base in the Willmontt coefficient “d” showed that the Rad followed by Pen there have the resulted more similar to the pattern and the C.A it was fewer agreed. The corn crop, variety BR 106 reached a height of 2,72 m and a leaf area index (LAI) maximum of 4,51. The yield was around 5,0 t ha⁻¹. The aerodynamic resistance was calculated in function of the crop aerodynamic parameter (r_{a1}) and function of the wind velocity (r_{a2}). At r_{a1} in the first 25 days after plantation it varied of 80 to 151 s m⁻¹, in the remaining of de crop cycle, it decreased to the range of 35 to 71 s m⁻¹ and r_{a2} it was more elevate in all cultivation cycle, but it presented a smaller variation of 117 to 175 s m⁻¹. The variation on crop resistance with base in the radiation net (R_n) and LAI was of 26.487,3 to 38,5 s m⁻¹ and with base only on the LAI it was of 20.000,00 to 44,34 s m⁻¹

The R_n , over the crop, and soil heat flux (G) was measured. The daily average of the R_n was $13,58 \text{ MJ m}^{-2}$ and G $0,42 \%$ of the R_n (daytimes dates). The energy balance (**BE**) for Bowen ratio, with the surface temperature (canopy temperature, obtained for pycnometric measure) and air temperature $2,0 \text{ m}$ above the maize canopy, along of the crop cycle, it indicated that on the average $84,36 \%$ of the available energy were used for latent heat flux (λE) and $15,21 \%$ as sensible heat flux (H). In the BE method, in function of the r_{a1} , the repartition of the R_n was $50,62 \%$ for λE and $48,94 \%$ for H , and in the BE based on r_{a2} $78,51 \%$ was for λE and $21,07 \%$ was for H .

The crop evapotranspiration (ET_c) was determined for Bowen ratio (**RB**), Penman-Monteith model (**PM_c**) and BE. The ET_c average change of $1,18 \text{ mm}$ to $6,37 \text{ mm}$, with average of $4,15 \text{ mm day}^{-1}$. The RB was considered standard and the results obtained for BE it agreed in 100% with the pattern. The crop coefficient (**K_c**) mean was $0,58$ in the initial phase, $1,23$ on silking and $1,07$ in the end crop.

1.0 - INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), por conta do seu valor nutritivo, é a segunda espécie mais cultivada no mundo, ficando atrás apenas do arroz (*Oriza sativa* L.). Entre as safras 1996/1997 e 2001/2002, a produção mundial de milho teve um decréscimo de 2,1 %, passando de 592 para 579 milhões de toneladas por ano. O Brasil é o 3º maior produtor mundial, com uma produção de 41 milhões de toneladas na safra 2000 / 2001. Nessa mesma safra os Estados Unidos da América e a China produziram 253,208 e 106 milhões de toneladas, respectivamente (Godoy, 2002). O Estado de Alagoas no ano de 1999, para uma demanda em torno de 200 mil toneladas, colheu uma área de 45.455 ha e produziu apenas 20.919 toneladas, correspondendo a 10 % do seu consumo e uma produtividade de 460 Kg ha⁻¹ (Secretaria de Planejamento do Estado de Alagoas – SEPLAN, 2002), enquanto as pesquisas já apontam para possíveis produtividades comerciais médias de 10.000 Kg ha⁻¹.

Os rendimentos das atividades agrícolas são determinados, a princípio, pelas características climatológicas e edáficas da região. A temperatura e a precipitação pluvial, aliada à fertilidade do solo, são os fatores ambientais que exercem maiores influências sobre a cultura do milho. O conhecimento dos fatores que limitam os rendimentos de um cultivo é fundamental para que novos incrementos sejam conseguidos. No Nordeste brasileiro o principal fator limitante da produtividade do milho é a precipitação pluviométrica, que devido à irregularidade espaço-temporal causa deficiências de água no solo. Esse problema pode ser solucionado com o uso adequado de irrigação. A determinação da real necessidade hídrica das plantas é essencial para a economia de água nos projetos de irrigação, visto que a mesma é um recurso natural um tanto quanto escasso. A quantidade de água requerida por uma cultura pode ser estimada ou medida seguindo diferentes técnicas, dentre elas destacam-se o balanço de energia e o balanço de água no solo

A evapotranspiração, conceituada como a transferência de água na forma de vapor para a atmosfera através da evaporação da superfície do solo e transpiração dos vegetais, é um

parâmetro de extrema importância na solução de diversos problemas hidrológicos da agricultura e outras áreas do conhecimento. As variáveis climáticas: radiação solar, temperatura, vento e umidade relativa do ar, assim como as características anatômicas e fisiológicas dos vegetais e o manejo dos cultivos agrícolas, influenciam intensamente a magnitude da evapotranspiração.

A quantidade de água evapotranspirada por uma cultura de referência (grama ou alfafa) com altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo completamente a superfície, sem limitação hídrica no solo e livre de pragas e doenças, define o termo *evapotranspiração de referência*. Nessas condições, a evapotranspiração será função apenas das variáveis meteorológicas, sendo por isso considerada um parâmetro climático através do qual pode se obter, juntamente com a evapotranspiração real, o coeficiente de cultura que traduz as necessidades hídricas dos cultivos agrícolas (Sediyama, 1996).

Nas últimas quatro ou cinco décadas, diversos modelos de estimativa da evapotranspiração têm sido propostos por pesquisadores de várias regiões do mundo. Na maioria das vezes os modelos funcionam muito bem nas regiões climática onde foram concebidos, mas ao serem testados em outras localidades com características geoclimatológicas diferentes não apresentam bons resultados, necessitando então de ajustes locais. O método de Penman-Monteith é considerado como o que possui melhor desempenho quando aplicado em diversos tipos de clima, sendo por isso recomendado pela FAO como padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência e calibração de modelos empíricos (Allen et al., 1998).

O balanço de energia consiste na quantificação dos fluxos de calor latente, calor sensível e calor no solo, e no saldo de radiação. Uma vez determinado o fluxo de calor latente sobre uma superfície vegetada é possível determinar a sua demanda hídrica, em curtos intervalos de tempo (horas ou dia) com acurácia satisfatória. O método mundialmente mais difundido para se fazer o balanço de energia é o da razão de Bowen, por conta da sua simplicidade.

A estimativa ou medida exata da evapotranspiração da cultura em suas diversas fases fenológicas é ponto básico para o uso racional da irrigação, sem deficiências nem excessos d'água. Porém, muitas dificuldades técnicas impedem a determinação da evapotranspiração de plantios comerciais, cabendo então à pesquisa determinar esse parâmetro em escala experimental e correlacioná-lo com a evapotranspiração de referência para obter coeficientes de cultura (K_c), para serem utilizados na determinação das necessidades hídricas dos cultivos. Esses coeficientes têm sido muito utilizados para ajustar as irrigações nas diferentes fases fenológicas das culturas,

com base em dados meteorológicos de estações convencionais, automática e/ou do tanque classe “A”. Além do balanço de energia, a equação de Penman-Monteith tem sido modificada por diversos pesquisadores para calcular a evapotranspiração de diferentes culturas e ajustada para as condições ambientais de várias localidades no mundo.

O objetivo geral dessa pesquisa foi a obtenção das necessidades hídricas do milho nas condições edafo-climáticas da região de Rio Largo – AL.

Os objetivos específicos foram:

- a) Determinar a evapotranspiração de referência de diversos métodos e comparar com o método padrão da FAO - Penman-Monteith;
- b) Analisar o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho na região de Rio Largo – AL;
- c) Avaliar o comportamento dos componentes do balanço de energia em escala diária e ao longo do ciclo da cultura;
- d) Obter a evapotranspiração real da cultura segundo o balanço de energia baseado na razão de Bowen;
- e) Determinação do coeficiente de cultura nos seus diferentes estádios fenológicos.

2. - REVISÃO DE LITERATURA

Os elementos e parâmetros meteorológicos são fatores decisivos no bom crescimento e desenvolvimento de cultivos agrícola, entre eles destacam-se a radiação solar, a temperatura e umidade relativa do ar, a duração do brilho solar, precipitação pluvial, vento e a evapotranspiração.

A evaporação nas superfícies de água livre (oceanos, rios e lagos) aliada a evaporação do solo úmido sem vegetação juntamente com evapotranspiração são os componentes mais importantes do ciclo hidrológico na interface terra-atmosfera. Por isso informações quantitativas da evaporação e evapotranspiração são necessárias em numerosos problemas de manejo dos recursos hídricos (Berlato & Molion, 1981).

2.1. - Evapotranspiração

A perda combinada de água para atmosférica, em forma de vapor, através dos processos de evaporação da superfície do solo somada à transpiração estomática e cuticular das plantas define o termo evapotranspiração (ET).

Evaporação é o processo físico pelo qual um líquido ou sólido passa para o estado gasoso (vapor). Em meteorologia o termo evaporação é usado para designar a transferência de água para a atmosfera, sob forma de vapor, decorrente, tanto da evaporação que se verifica no solo úmido sem vegetação (solo nu), nos oceanos, lagos e rios como em outras superfícies do tipo pavimentos e vegetações úmidas. Sendo que o processo de mudança de estado sólido para gás ou gás para sólido é denominado sublimação (Allen et al., 1998 e Varejão Silva, 2000).

A mudança de estado das moléculas de líquido para vapor (vaporização) requer um suprimento de energia externa que será transformada em calor latente. O calor latente de evaporação (λ) corresponde a quantidade de energia necessária para evaporar 1 Kg de água numa determinada temperatura. Para a água pura com uma temperatura de 20 °C, $\lambda = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ ou 245 J mm^{-1} (Pereira et al., 1997 e Allen et al., 1998).

A vaporização da água líquida contida nos tecidos das plantas e a remoção do vapor para a atmosfera e/ou a evaporação da água que foi utilizada nos diversos processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais é chamada de transpiração. Predominantemente, essa passagem de água para a atmosfera se dá através dos estômatos, que são aberturas microscópicas existentes nas folhas e outros tecidos externos das plantas que permitem a comunicação entre a parte interna da planta e a atmosfera (Allen et al., 1998). Normalmente, as folhas contêm de 5 a 200 estômatos / mm^2 com dimensões inferiores a 50 μm (Pereira et al., 1997). Na prática, se for desprezada a água retida pelas atividades metabólicas dos vegetais, que é da ordem de 1% do total de água evapotranspirada, a evapotranspiração pode ser considerada sinônimo de consumo d'água da vegetação (Jensen, 1968, Berlato e Molion, 1981).

Dependendo das características físicas e ambientais da área onde os elementos e parâmetros meteorológicos foram medidos e estimados, a evapotranspiração pode ser definida como: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração de cultura (ET_c), evapotranspiração real (ET_r) e evapotranspiração de oásis (ET_{oa}) (Pereira et al., 1997).

Evapotranspiração de Referência (ET_o) - é aquela que acontece na superfície de um cultivo hipotético de grama verde ou alfafa em estado de desenvolvimento ativo, cobrindo completamente o solo, sem deficiência hídrica e livre de pragas e doenças. Assume-se que a grama hipotética ou superfície de referência tem uma altura de 0,12 m, com a resistência da superfície igual a 70 s m^{-1} e um albedo de 0,23 (Allen et al., 1998). Se os dados de evapotranspiração forem obtidos em uma área com vegetação qualquer em condição de desenvolvimento ativo, isenta de pragas e doenças e sem restrições hídricas, denomina-se evapotranspiração potencial (ET_p). Porém, o uso dessa denominação é desaconselhável para evitar a ambigüidade em suas definições.

A evapotranspiração de referência expressa o potencial evaporativo da atmosfera numa localidade específica em determinada época do ano, sem levar em conta as características de cultivo e fatores do solo. Nessas condições os valores da ET_o são afetados apenas pelos parâmetros meteorológicos. Conseqüentemente, a evapotranspiração de referência é considerada

um parâmetro climático e, portanto, pode ser estimada a partir de dados meteorológicos que servirão para obter um conjunto consistente de dados e coeficientes de cultura (K_c), para serem utilizados na determinação da evapotranspiração de culturas agrícolas (ET_c) (Sediyama, 1996).

Evapotranspiração de Cultura (ET_c) - quando a evapotranspiração acontece em uma grande área cultivada, livre de pragas e doenças, bem fertilizada, sob ótimas condições de umidade e achando-se em pleno desenvolvimento sob dadas condições climáticas, ela é denominada evapotranspiração de cultura. A ET_c difere da evapotranspiração de referência principalmente porque a cobertura do solo, as propriedades do dossel vegetativo e a resistência aerodinâmica das áreas cultivadas são diferentes da grama ou superfície de referência.

O conhecimento da evapotranspiração da cultura é de fundamental importância para os projetos de irrigações. Porém, sua determinação é difícil e sujeita a muitos erros. Pois, a estimativa e/ou medida da ET_c exigem equipamentos e conhecimentos técnicos que nem sempre estão ao alcance de pequenos e médios produtores. Para contornar essas dificuldades, as características que diferenciam a grama de referência das culturas agrícolas podem ser integradas num coeficiente de cultura (K_c). Dessa forma, pode-se estimar a ET_c multiplicando-se a ET_o pelo K_c ($ET_c = ET_o \cdot K_c$).

Evapotranspiração Real (ET_r) - a evapotranspiração real é aquela que ocorre em uma superfície vegetada, independente de seu estágio de desenvolvimento e das condições de umidade do solo, sem nenhuma condição de contorno. Quando a ET_r é calculada ou medida em uma área com qualquer tipo de vegetação em condição de crescimento ativa, livre de pragas e doenças e sem restrição hídrica, diz-se que a ET_r equivale a ET_p .

Evapotranspiração de Oásis (ET_{oa}) - a evapotranspiração de uma área úmida (irrigada) próxima de uma região seca, com uma bordadura ou área tampão insuficiente para evitar os efeitos da advecção de energia (transporte lateral de calor por deslocamento de massas de ar) é definida como evapotranspiração de oásis ou efeito oásis (Pereira et al., 2002).

Bordadura, área tampão ou "*fetch*" é a distância, em metros, que o escoamento deve atravessar sobre uma superfície de rugosidade uniforme. O tamanho da bordadura depende tanto das características da cobertura vegetal como das condições climáticas predominantes. Pois, as trocas dos constituintes da atmosfera entre as superfícies vegetadas e o ar dependem, na maioria das vezes, de fatores ligados às condições microclimáticas das culturas que são condicionadas pela forma como o escoamento é obstruído ou pela densidade e disposição das plantas no campo. Monteith (1973) afirma que muitos trabalhos têm mostrado que a bordadura média obedece uma

ralação muito menor do que 200 : 1, particularmente em locais onde a atmosfera apresenta tendência de equilíbrio, sem ventos fortes nem turbilhões.

2.1.1 - Fatores que afetam a evapotranspiração

Na superfície do solo descoberto a evaporação da água é, em princípio, governada pelos mesmos fatores ou elementos meteorológicos que influenciam a evaporação de uma superfície de água livre, pois a evaporação do solo nada mais é do que a evaporação da película de água que envolve as partículas de solo e que ocupa os espaços existentes entre essas partículas. A diferença reside no fato de que a superfície líquida apresenta uma oportunidade ilimitada de evaporação pela disponibilidade de água, ao passo que no solo a água nem sempre está francamente disponível para ser evaporada (Berlato e Molion, 1981).

Durante o processo de evapotranspiração (ET), a evaporação da água do solo ocorre concomitantemente com a transpiração vegetal e por não ser fácil de separar os dois processos considera-se a ET como uma perda única. Dessa forma, os fatores que afetam a ET são os mesmos que influenciam a evaporação da superfície líquida e da água do solo descoberto, acrescidos das características das plantas que cobrem a área em estudo (Harbeck Jr. et al., 1971). Sob esse ponto de vista, os fatores que influenciam a ET podem ser divididos em fatores físicos atmosféricos e parâmetros dos vegetais. Sendo a radiação, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, os principais fatores físicos atmosféricos e o albedo da cultura, índice de área foliar e resistência estomática os principais parâmetros vegetais.

A taxa de evapotranspiração, a princípio, é diretamente proporcional aos fatores meteorológicos radiação solar, temperatura e velocidade do vento; e inversamente proporcional a umidade relativa do ar (McKenney.& Rosenberg, 1993)

RADIAÇÃO SOLAR

A evaporação em uma superfície de água livre é um processo que depende fundamentalmente da energia disponível para a mudança do estado físico das moléculas de água. Portanto, a radiação solar, por ser a fonte primária de energia, é o fator mais importante nesse processo (Radin, 1998).

Choudhury et al. (1985), trabalhando com trigo no Estado do Arizona - USA, observaram que do início da manhã até o meio-dia a evapotranspiração aumenta em fase com o saldo de radiação (R_n), mas no período da tarde o R_n diminui numa taxa superior à ET devido, principalmente ao valor do déficit da pressão de vapor e velocidade do vento.

Quando a evaporação ocorre numa superfície plana de água pura, o ar imediatamente próximo da superfície fica saturado e apenas a resistência aerodinâmica afeta a taxa de evaporação (Stewart, 1983). Todavia, quando a evaporação acontece numa vegetação com o ar saturado no interior das folhas e o ar imediatamente em contato com a superfície das folhas não se encontra saturado, o vapor d'água deve passar através das aberturas estomáticas. Por isso deve ser introduzida uma resistência do dossel vegetativo relacionada com a resistência estomática de cada folha individual somada a resistência do solo à evapotranspiração. Essa resistência é chamada de resistência da cultura.

TEMPERATURA DO AR

A radiação solar absorvida pela atmosfera e o calor emitido pela superfície do planeta aumentam a temperatura do ar. Assim como, calor sensível do ambiente aéreo transfere energia para as vegetações e influencia a taxa de evapotranspiração. Em dias ensolarados com altas temperaturas a perda de água por evapotranspiração é maior do que em dias nublado com temperaturas amenas. Por esse motivo existem alguns modelos como o de Linacre que utiliza apenas a temperatura como variável meteorológica para determinar a evapotranspiração de referência.

A temperatura do ar também exerce influência sobre o déficit de saturação porque quanto mais quente o ambiente maior é a capacidade da atmosfera de absorver vapor d'água.

VELOCIDADE DO VENTO

O processo de remoção do vapor d'água na atmosfera depende muito do vento e da turbulência, que retiram grandes quantidades de massa de ar da superfície evaporante. Se o ar úmido, sobre a superfície evaporante não for substituído por ar seco, a quantidade de vapor d'água sobre essa superfície aumentará gradativamente e a taxa de evapotranspiração diminuirá devido a diminuição no déficit de saturação do ar. Consequentemente, a velocidade do vento

afeta a taxa de evapotranspiração, principalmente sob condições de aridez onde pequenas variações desse parâmetro meteorológico podem resultar em grandes variações nos valores da evapotranspiração.

UMIDADE DO AR

A umidade relativa do ar (UR) compreende a proporção da pressão de vapor d'água real (e_a) e a pressão de saturação do ambiente a uma determinada temperatura [$e_s(T)$] do ar, expressa em percentagem. A UR tem relação inversa com ET porque a força para a evaporação da água do solo e transpiração dos vegetais é muito influenciada pela diferença entre a pressão de vapor e a pressão de saturação do ar atmosférico (déficit de saturação). De modo que, se essa diferença for reduzida (UR próxima dos 100%), mesmo havendo energia disponível para o fluxo de calor latente (λE) o processo de evapotranspiração será minimizado.

Nas regiões quentes e úmidas, mesmo havendo grandes quantidades de energia disponível para λE (regiões tropicais úmidas), a demanda evaporativa é reduzida pelo fato do ambiente está sempre próximo à saturação. Por esse motivo, a quantidade de água que pode ser absorvida pelo ar diminui, reduzindo assim a taxa de evapotranspiração (Allen et al., 1998). Nas regiões áridas e semi-áridas a disponibilidade de energia é alta mas a baixa UR induz grandes diferenças entre (e_a) e [$e_s(T)$], favorecendo a elevação dos índices de evapotranspiração.

2.1.2 - Métodos para determinar a evapotranspiração de referência (ET_0)

Nas últimas cinco décadas vários métodos para estimar a evapotranspiração (ET) foram propostas. Um relatório preparado pela Sociedade Americana de Engenharia Civil (ASCE) em 1974 apresentou 15 métodos para calcular a ET (Stewart, 1983). Desde então, muitos métodos têm sido apresentados, entre os quais destacam-se o de Penman (1948), Penman-Monteith / FAO, radiação / FAO, Linacre, tanque classe "A", Blaney-Criddle / FAO e outros. Em função dos elementos meteorológicos e da forma como os métodos são utilizados, eles podem ser classificados com empíricos (baseado e/ou aferidos por meio de observações de campo) ou combinados (utiliza dois termos: um energético e outro aerodinâmico)

METODO DE PENMAN

Considerando a evaporação um processo físico que tem dois requerimentos básicos, um suprimento de energia para fornecer calor de vaporização e alguns mecanismos de transporte para remover o vapor d'água, Penman em 1948, formulou uma equação para estimar a taxa de evaporação em função de medidas dos seguintes elementos meteorológicos: duração do brilho solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Através dessa equação pode-se estimar com um certo nível de acurácia a taxa de evapotranspiração de um cultivo verde e baixo (grama e alfafa), cobrindo o solo completamente e sem restrição hídrica. A computação dos dados estimados com essa fórmula tem sido a base dos sucessos em experimentos de irrigação controlada.

No Oeste da África a fórmula de Penman tem apresentado resultados de estimativas empíricas de evapotranspiração com acurácia bastante satisfatória (Anyadike, 1987). Porém, seu uso é limitado devido a pouca disponibilidade dos dados meteorológicos requeridos por esse método.

METODO DE PENMAN-MONTEITH - FAO

O método de Penman-Monteith - FAO é o que possui maior embasamento físico. É também o que tem maior demanda de dados, requerendo informações de temperatura do ar, radiação, umidade e velocidade do vento, além de várias características da vegetação (resistência estomática, índice de área foliar e altura das plantas). Esse método é mais preciso quando usado em base horária e os valores somados para se obter a ET_c, diária. Algumas simplificações empíricas são necessárias para obter os dados diários de evapotranspiração de referência usando somente totais diários ou valores médios dos elementos climáticos (Sediyama, 1996). Exemplos de cálculos mostram claramente que, quando se usam valores médios diários climáticos, a equação de Penman-Monteith-FAO pode proporcionar estimativas de evapotranspiração de referência muito confiáveis. Santiago (2001), em Piracicaba - SP, encontrou correlações (r) superiores a 90% entre a ET_c, medida em lisímetros e estimada pela equação de Penman-Monteith, nas escalas decendiais e mensais. Esse método é recomendado pela FAO como padrão para estimativa da evapotranspiração de referência em diversas regiões climáticas

METODO DA RADIAÇÃO - FAO

O método da radiação para estimativa da ET_0 foi essencialmente uma adaptação da fórmula original de Makkink. Este método é sugerido para áreas onde se tem disponibilidade de dados de temperatura, duração do brilho solar e radiação, e faltam medidas da velocidade do vento e umidade relativa do ar. O conhecimento geral dos níveis de umidade e vento também é requerido por esse método, mas isso pode ser estimado usando descrições meteorológicas da literatura ou por extrapolações de áreas próximas ou de fontes locais.

O método da radiação, em zonas equatoriais, pode ser mais confiável do que o modelo apresentado por Blaney-Criddle (Doorenbos e Pruitt, 1977). Santos et al. (1994) afirmaram que o método da radiação / FAO, apesar de levar em consideração a umidade relativa do ar e a velocidade do vento, é na verdade uma simplificação do método combinado de Penman. Portanto, seu embasamento físico é limitado e seu desempenho, na escala diária, também pode não ser satisfatório.

MÉTODO DE LINACRE

Em 1977, Linacre propôs uma fórmula simples para estimar a taxa de evaporação (E) e/ou ET em vários tipos de clima usando apenas dados de temperatura do ar máxima e mínima diária, altitude e latitude do local a ser estudado.

Os valores de ET, determinados pela equação de Linacre, geralmente diferem dos valores medidos em média de $0,3 \text{ mm.d}^{-1}$ para médias anuais, $0,5 \text{ mm.d}^{-1}$ para médias mensais, $0,9 \text{ mm.d}^{-1}$ para uma semana $1,7 \text{ mm.d}^{-1}$ para um dia (Linacre, 1977). Isso indica que o método de Linacre se presta mais para os cálculos de ET anuais e mensais.

A taxa de evapotranspiração, no Oeste da África, estimada pela fórmula de Linacre apresenta uma boa correlação com a taxa de ET calculada pela equação de Penman. Portanto, quando as variáveis meteorológicas forem insuficiente para determinar a ET pelo método de Penman, o método de Linacre pode ser utilizado e fornecer bons resultados (Anyadike, 1987).

MÉTODO DO TANQUE "CLASSE A - FAO"

O tanque Classe "A" foi desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Norte Americano e tem uso mundial generalizado, principalmente no Brasil. Para estimar a evapotranspiração com o tanque "classe A" o volume de água evaporada dentro do tanque deve ser corrigido por um fator, conhecido como *coeficiente do tanque* e representado na literatura atual por K_p (Pan Coefficient). O K_p utilizado para estimar a evapotranspiração de referência deve ser diferente do K_p usado para medir a evaporação de lagos. Essa diferença se deve em grande parte à combinação dos efeitos causados por três fatores: albedo, rugosidade e resistência estomática. A vegetação tem albedo maior do que a água, resultando em menos energia disponível para o fluxo de calor latente. A maior rugosidade da superfície aumenta o turbilhamento e o transporte atmosférico, compensando em parte a redução em energia absorvida. Por sua vez, a resistência estomática limita a transferência de água da planta para a atmosfera, o que não acontece nos lagos (Pereira et al., 1997).

Para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) em alfafa e grama na região de Eldorado do Sul - RS, Santos et al. (1994) utilizaram os métodos de Penman (1948), Penman modificado pela FAO, o método da Evapotranspiração de equilíbrio, o método da Radiação/FAO, o método do Tanque "Classe A / FAO" e a evaporação do tanque "Classe A". Para medir a ET_o foi utilizado um evaporímetro (lisímetro de balança) e após quatro anos de observações os pesquisadores concluíram que o método do Tanque "Classe A : FAO" e o método de Penman (1948) tiveram as melhores estimativas da ET_o e o Penman modificado pela FAO apresentou os piores resultados.

MÉTODO DE BLANEY-CRIDDLE / FAO.

A fórmula original de Blaney-Criddle desde 1950 vem sendo modificada por Doorenbos e Pruitt (1977). Com essa modificação a fórmula passou a ser conhecida como o método de Blaney-Criddle da FAO (B-C). O cálculo da ET_o para períodos inferiores a um mês pode ser feito pelo B-C, desde que os dados climáticos da localidade estudada sejam atualizados para acompanhar a variação ocorrida de um ano para outro.

A equação original de Blaney-Criddle para calcular o total de água consumida por uma área vegetada envolve apenas o cálculo do fator de consumo de água (f), da temperatura

média (T) e a porcentagem do total anual da duração do brilho solar (em horas) durante o período considerado. Porém, os efeitos do clima na estimativa da água requerida pelos cultivos somente em função da temperatura e do fotoperíodo é falha, mesmo envolvendo um coeficiente de cultivo (K) determinado empiricamente. Por conta disso, Doorenbos e Pruitt (1997) acrescentaram à equação de Blaney – Criddle (B-C) um fator de ajuste (c) que depende da umidade relativa do ar, duração do brilho solar e do vento diário.

Allen e Pruitt (1986) calibraram a equação da evapotranspiração de referência de Blaney-Criddle em cultivo de alfafa, nos Estados americanos de Nevada, Washington, Idaho, Oregon e Califórnia, e encontraram uma excelente concordância entre os valores estimados e os medidos em lisímetros.

2.2 - A cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*), planta da família das Gramíneas (*Poaceae*) e do gênero *Zea*, tem origem nas Américas, provavelmente da faixa tropical do norte da Argentina até o Canadá. É uma das culturas mais antigas do mundo, havendo provas de que é cultivado há pelo menos 4.000 anos. Logo depois da chegada dos europeus nas Américas, o milho foi levado para Europa, onde era plantado em jardins, até que seu valor alimentício tornou-se conhecido. Por ser uma planta tropical, para se desenvolver e produzir satisfatoriamente exige clima quente e úmido. Os processos da fotossíntese, respiração, transpiração e evaporação (evapotranspiração) são funções diretas da energia disponível no ambiente, comumente designada por calor. Assim como o crescimento, desenvolvimento e translocação de fotoassimilados, encontram-se ligados também à disponibilidade hídrica do solo.

A referida espécie, devido ao alto grau de seleção e ao aprimoramento do manejo agrônômico, atualmente é cultivada em escala comercial numa área que vai da latitude 58 ° N (norte da Rússia) até 40 ° S (Argentina), distribuída nas mais diversas altitudes, desde localidades abaixo do nível do mar (região do Mar Cáspio) até regiões apresentando mais de 2.500 m de altitude, nos Andes Peruanos. Sob o ponto de vista climático, a temperatura do ambiente e a precipitação pluviométrica são os elementos mais pesquisados, no sentido de determinar a viabilidade e épocas de plantio de diversos cultivos agrícolas, principalmente da cultura do milho.

Temperaturas do ar inferiores a 10 °C e superiores a 42 °C prejudicam o desenvolvimento das plantas de milho. Essas plantas apresentam desenvolvimento satisfatório quando cultivadas sob condições de temperatura média diária entre 25 °C a 30 °C (Fancelli e Dourado Neto, 2000). Dados experimentais relatam que cada grau de temperatura média diária superior a 21,1 °C, nos primeiros 60 dias após o plantio, pode antecipar o florescimento em dois ou três dias, dependendo do genótipo.

A umidade do solo constitui-se em um dos mais importantes fatores da produção agrícola, a exemplo da produção de milho, que é extremamente afetada por deficiências hídricas durante o estabelecimento da cultura. As fases de emergência, florescimento e formação dos grãos são as que apresentam maiores sensibilidades a falta de água no solo. O período de 15 dias antes e 15 dias depois do florescimento é a fase mais crítica, com relação ao suprimento hídrico e a temperaturas favoráveis. Portanto, essa fase deve ser criteriosamente planejada para coincidir com períodos estacionais que apresentem temperaturas ótimas (de 25 °C a 30 °C) e chuvas frequentes.

2.2.1 - Cultivares

A escolha do cultivar mais adequada a situação é fator de acréscimo na produtividade, que pode ser obtido sem qualquer custo adicional no sistema de produção. Embora as variedades tenham, teoricamente, menor potencial genético de produção que os híbridos, apresentam maior estabilidade de produção, sendo possível seu uso pelo produtor por vários anos, sem a necessidade de compra anual de sementes. Além disso, por terem menor custo de produção, suas sementes são encontradas no mercado por preços mais baixos do que os dos híbridos. Principalmente por essa razão, seu uso tem sido mais difundido entre produtores menos capitalizados (pequenos produtores), existindo, inclusive, ações de entidades governamentais e não governamentais para a sua difusão. Nas regiões Norte e Nordeste, onde a oferta de híbridos é mais limitada, tem havido grande difusão do uso de variedades (Cruz et al., 1997)

Os principais parâmetros climáticos que norteiam a escolha de um cultivar e da época de plantio são as disponibilidades térmica e hídrica da região. O Nordeste brasileiro, por estar situado na faixa tropical de baixas latitudes, não apresenta problemas de deficiências térmicas para a produção de milho em nenhuma época do ano, sendo a precipitação pluviométrica, devido

as suas irregularidades, o fator limitante dos cultivos agrícolas em sistemas de sequeiro. Portanto, o cultivar escolhido deve ter características agronômicas e um ciclo de produção que sejam compatíveis com os índices pluviométricos da localidade que se deseja trabalhar. Carvalho et al. (1996) avaliaram o desempenho de 25 cultivares de milho em Alagoas e mais seis Estados nordestino (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Bahia) e observaram que entre as variedades estudadas, a BR 106, na média geral, foi a que apresentou maior produtividade (4.167kg/ha).

2.2.2 - Crescimento e desenvolvimento da cultura

O desenvolvimento do milho é avaliado em termos do tempo ou período de duração das fases fenológicas ou fases de desenvolvimento da cultura. Enquanto o crescimento das plantas tem como base o índice de área foliar (IAF) e a matéria seca acumulada (MS)

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

O índice de área foliar ativo corresponde à área das folhas verdes (m^2), que contribuem ativamente para a transferência de calor e vapor d'água para a atmosfera, dividida pela área do solo (m^2) abaixo das plantas (Allen et al., 1998).

Os valores do IAF dependem da espécie, cultivar, fase fenológica da cultura e principalmente da densidade de plantio (número de plantas por metro quadrado ou por hectare). Nas culturas anuais o IAF aumenta da emergência até o final da fase vegetativa. Após a floração ele decresce por conta da senescência das folhas. Na cultura do milho, Dale et al. (1980) estimaram um IAF máximo de um pouco mais de 2 a aproximadamente 5, respectivamente, para populações de 40.000 e 70.000 plantas por hectare. Radin (1998), em Eldorado do Sul – RS, cultivou o híbrido Pioneer 3230, durante 4 anos, com uma população de 66.600 plantas por hectare, e obteve um IAF máximo de 6,03 aos 70 dias após a emergência na fase de floração. A fertilidade do solo, a radiação solar e a disponibilidade hídrica também influenciam o IAF das culturas agrícola.

MATÉRIA SECA (MS)

O conhecimento dos fatores que limitam o aumento do rendimento de uma cultura é fundamental para que novos incrementos sejam conseguidos. Assim como, é básico saber se o fator limitante é a fonte ou a demanda de assimilados. Na cultura do milho, a principal fonte de assimilados são as folhas. O colmo, antes da floração, funciona como estrutura armazenadora (demanda) dos sólidos solúveis fotossintetizados e depois da polinização a maior parte dos produtos elaborados são translocados para a formação da espiga (demanda), assim como alguns compostos sintetizados anteriormente. Após o espigamento, as plantas de milho quase que paralisam o crescimento vegetativo, apenas as folhas que recobrem a espiga continuam crescendo por cerca de três ou quatro semanas, dependendo do genótipo (Ramos e Mundstock, 1985). Araújo et al. (1992) observaram que o acúmulo de MS na espiga de milho após a maturação fisiológica varia de 60,97 a 73,65% da MS total, dependendo da cultivar.

FENOLOGIA

O milho é uma planta de ciclo produtivo bastante variado, em princípio devido às características genéticas do cultivar, mas principalmente pela influência que a temperatura exerce sobre essa espécie. De modo que existem cultivares que podem florescer aos trinta dias após a emergência, enquanto outras podem levar até 300 dias para emitir flores. Mas, sob condições tropicais, a cultura do milho apresenta um ciclo variável entre 110 a 180 dias, em função dos genótipos (superprecoce, precoce e tardio) e das condições meteorológicas reinantes na estação de cultivo (Fancelli e Dourado Neto, 2000). Para facilitar a avaliação e comparação de dados de diferentes pesquisas e para conhecer as fases de desenvolvimento fisiológica e morfológica das plantas, assim como o período mais apropriado para realização de amostragens, Hanway (1963) criou uma escala fenológica para a cultura do milho que compreende 11 fases distintas (de 0 a 10), adaptada por Fancelli e Dourado Neto (2000), apresentadas na Tabela 1.

Em condições normais, a semente de milho germina em 5 ou 6 dias após o plantio, com a temperatura do solo entre 25 e 30 °C, sendo que abaixo de 10 °C e acima de 42 °C praticamente não há germinação. Normalmente, o florescimento do milho ocorre cerca de 50 a 100 dias após o plantio, mas pode demorar até dez meses (Magalhães, et al., 1995). O tempo necessário para o florescimento é afetado, principalmente, pela temperatura e não pela atividade

fotossintética. Há uma independência entre a fotossíntese e o ritmo de desenvolvimento da inflorescência. Isto porque a fotossíntese é governada pela temperatura da folha somente durante o dia, enquanto que a taxa de desenvolvimento é função da temperatura durante o dia e a noite. Dias quentes e noites também quentes não são favoráveis, pois aceleram demais o ciclo vegetativo e o milho perde em rendimento, isto é, perde reservas na respiração, ao usar como substrato os carboidratos acumulados durante o dia, durante a fotossíntese. Noites e dias frios aumentam demais, o ciclo sem vantagens para o rendimento final. As condições ideais são aquelas de dias quentes (30 a 33 °C) e noites amenas. Essas condições são encontradas em regiões de altitudes elevadas que também apresentam alta radiação incidente, o que contribui muito para aumentar a produtividade da cultura do milho.

Tabela 1 – Escala fenológica da cultura do milho proposta por Hanway (1963) e adaptada por Fancelli e Dourado Neto (2000).

Fase Fenológica	Ocorrência*	Características Morfológicas
0	5	Coleóptilo da planta visível na superfície do solo
1	14	A planta apresenta 4 folhas expandidas ** (desdobradas)
2	28	A planta apresenta 8 folhas expandidas
3	42	A planta apresenta 12 folhas expandidas
4	56	Emissão do pendão
5	66	Florescimento e polinização
6	78	Grão leitoso
7	90	Grão pastoso
8	102	Formação de dentes
9	114	Grão duro
10	126	Maturação fisiológica

*Tempo médio para ocorrência do estágio fenológico (dias após o plantio);

** A folha do milho é considerada expandida quando a linha de união lâmina-bainha ("colar") é facilmente visível.

2.2.3 - Necessidades térmicas do milho

A temperatura do ar afeta o desenvolvimento das plantas de milho de muitas maneiras, que aliada ao desenvolvimento radicular aumenta a absorção da água do solo, a atividade fotossintética, a transpiração e a translocação dos produtos fotossintetizados. A morfologia, o desenvolvimento, a produção e o tempo para completar as fases fenológicas também são fortemente influenciados por esse elemento meteorológico. Por essa razão, o tempo de maturação de genótipos de milho possui altas correlações com a acumulação de unidades térmicas. Por conta disso, muitos índices térmicos têm sido utilizados para prever vários eventos *fenológicos em diversos tipos de cultivos agrícolas, principalmente do milho, designados como unidades calóricas (UC), unidades térmicas de desenvolvimento (UTD) ou graus-dia (GD).*

Graus-dia é definido como a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura mínima ou temperatura base exigida por uma espécie ou cultivar (Vila Nova, 1972 apud Fancelli e Dourado Neto, 2000) Esses índices têm demonstrado bons resultados na classificação do ciclo de produção (super precoce, precoce e de ciclo normal) de cultivares de milho em diversas regiões climáticas (Narwal et al., 1986).

Cardoso et al. (2001) observaram que, em geral, dentro de um grupo com a mesma classificação de ciclo de produção, as variedades com um maior somatório de GD foram as que apresentaram a maior produtividade de grãos. Nesse mesmo trabalho também foi observado que do semeio a floração a maior parte das cultivares de milho testadas utilizaram aproximadamente 800 GD. Em relação ao ciclo de produção do milho, a classificação utilizada pelas firmas produtoras de semente é:

- Milho super-precoce: $\sum GD \leq 830$;
- Milho precoce: $830 < \sum GD < 880$;
- Milho normal: $\sum GD > 880$.

2.2.4 - Resistência à transferência de vapor d'água para a atmosfera

A evaporação numa superfície de água livre ou no solo descoberto é regida pelos elementos meteorológicos que comandam a demanda atmosférica como radiação, temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. Contudo, há uma força contrária ao transporte de vapor

d'água na atmosfera denominada resistência aerodinâmica (r_a), a qual envolve a fricção do fluxo de ar sobre superfícies vegetadas (Figura 1).

A resistência da superfície está relacionada com as dificuldades de transferência de vapor d'água para a atmosfera através da resistência da cultura (r_c), formada pela resistência estomática, cuticular e da superfície do solo, sobretudo quando a vegetação não cobre completamente a área.

A resistência da cultura (r_c) é regulada pela demanda atmosférica e pela capacidade da planta extrair água do solo em quantidade suficiente para atender a essa demanda. A r_c pode ser estimada a partir de medidas diretas da resistência estomática média, obtida através de porômetros de difusão, e do IAF, determinado por amostragens. Porém, por ser uma tarefa árdua e demorada, na maioria das vezes, dentro do limite dos erros experimentais, ela é determinada como resíduo da aplicação do modelo de Penman-Monteith, bastando para isso conhecer o valor da evapotranspiração medida por lisímetro e outras variáveis meteorológicas requerida pelo modelo. A resistência do dossel vegetativo de um cultivo de referência, em desenvolvimento ativo e sem deficiência hídrica pode ser estimada durante pequenos períodos, dividindo-se a resistência estomática de uma folha simples pela metade do IAF.

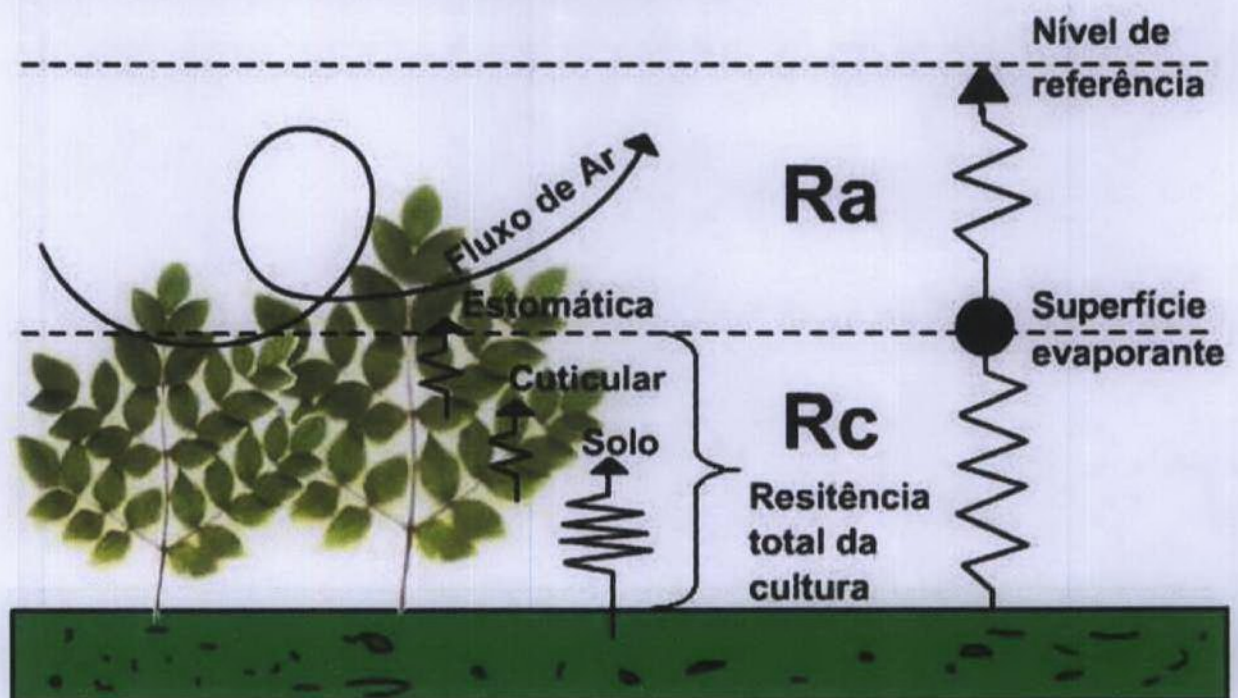


Figura 1 – Representação simplificada da resistência ao fluxo de vapor d'água total da superfície e aerodinâmica (Allen et al., 1998)

O modelo de Penman-Monteith, para estimativa de resistência, produziu resultados consistentes e realistas da evapotranspiração de referência de alfafa e grama (Allen e Asce, 1986). A r_c tem relação inversamente proporcional ao IAF, por isso quanto maior for esse índice menor será a resistência da cultura. Brun et al. (1973), usando um porômetro de difusão, analisaram os dados de r_c em sorgo, estimada por 3 maneiras diferentes: I) média harmônica da resistência estomática de todas as folhas da planta; II) dividindo o dossel vegetativo em camadas e medindo a resistência estomática de cada camada em função do IAF; e III) média harmônica da resistência estomática de três folhas da parte superior da planta. Concluíram que o método III subestima a r_c entre 12 % e 18% e quando aplicada no modelo de Penman-Monteith superestima a ET. Afirmaram também que a r_c é mais precisa quando estimada pela resistência estomática de todas as folhas da planta (método I).

Peres et al. (1996) estimaram uma r_c para a grama (*Paspalum notatum* Flugge), sem restrições hídricas, na faixa de 60 a 80 $s\ m^{-1}$, com indicações de que 80 $s\ m^{-1}$ é o valor de r_c que melhor representa as condições meteorológicas do estado de São Paulo – Brasil. Isso é condizente com a r_c de 70 $s\ m^{-1}$ para a grama de referência recomendada pela FAO (Allen et al., 1998).

2.3 – Balanço de energia

A quantificação dos fluxos de massa e energia na camada próxima à superfície do solo é um dos principais objetivos de análise micrometeorológica em cultivos agrícola, visando principalmente a estimativa da evapotranspiração da cultura, através da quantificação do fluxo turbulento de calor latente na atmosfera, em intervalos de tempo inferior ou igual a um dia. Para isso, tem sido utilizada a equação simplificada de balanço de energia em sistema cultivado formada pelos componentes, saldo de radiação (R_n), densidade de fluxo de calor latente (λE), densidade de fluxo de calor sensível (H) e densidade de fluxo de calor no solo (G) [$R_n + \lambda E - H + G$], cuja solução tem sido obtida através da razão $H / \lambda E$, proposta por BOWEN em 1926, determinada via medições de gradientes de temperatura e umidade do ar sobre a cultura (Cunha et al., 1996).

A acurácia dos valores do fluxo de calor latente e sensível, obtidos pelo método do Balanço de Energia com a razão de Bowen (BERB), depende da acurácia da razão de Bowen (β) que em geral depende do nível de precisão das medidas das variáveis meteorológicas. Portanto,

para evitar maiores erros na estimativa dos calores pelo método BERB, os dados de β com valores menores do que a resolução dos sensores devem ser excluídos. Assim como, nos casos em que os valores de β ficarem na faixa de $-1,30$ a $-0,70$ também devem ser eliminados. Perez et al. (1999) concluíram que em média 40% do total dos dados devem ser descartados, isso corresponde ao período noturno e aos eventos de precipitação e/ou irrigação. Por esse motivo alguns pesquisadores recomendam que se utilizem apenas dados do período diurno e sem chuva nem irrigação.

Nos últimos anos, o balanço de energia por meio da temperatura da superfície radiativa tem sido muito utilizado. Smith et al. (1989), trabalhando com trigo irrigado na Austrália, observaram que a acurácia do balanço de energia feito através da temperatura da superfície radiativa foi limitada porque a temperatura do infravermelho foi diferente da temperatura aerodinâmica da superfície na fonte virtual / altura local. Os erros na estimativa de λE foram inversamente lineares aos erros de H , pois sob condições atmosféricas estáveis, H teve seus valores superestimados, enquanto que sob condições de instabilidade foi subestimado. Conseqüentemente, o fluxo de calor latente foi superestimado sob condições instáveis e subestimado em condições estáveis. Mas, como na parte da manhã a atmosfera predominou sob condições instáveis e a tarde estáveis, a superestimativa do λE na manhã foi compensada pela subestimativa da tarde e por isso valores da perda do calor latente diário foram mais precisos do que os horários. Quando a relação $\lambda E / R_n$ apresenta valores superiores à unidade indica a existência de advecção e, conseqüentemente, a evapotranspiração da cultura será superestimada (Alfonsi et al., 1986).

2.4 - Necessidades hídricas da cultura do milho

A necessidade hídrica de uma cultura é baseada em sua evapotranspiração e é expressa, geralmente, em milímetro por dia (Albuquerque, 2000). O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 250 a 5.000 mm por ano, sendo que a quantidade de água consumida pelas plantas dessa cultura durante o seu ciclo total é em torno de 600 mm. Dois dias de estresse hídrico no florescimento diminui o rendimento em mais de 20 %, e de quatro a oito dias diminui em mais de 50% (Cruz et al., 1997).

A evapotranspiração do milho em Prosser – Washington - USA estimada para o período de 40 dias após o plantio é de 172 mm (JARA et al., 1998), com média de 4,3 mm d⁻¹.

2.4.1 - Métodos para determinar a evapotranspiração de cultura (ET_c)

Diversos métodos podem ser utilizados para estimar ou medir a evapotranspiração de uma cultura e seus componentes. Dentre os quais, destacam-se o balanço de energia pela razão de Bowen (BERB), balanço de energia (BE), balanço hídrico através de medidas gravimétricas ou de sondas de nêutron da umidade do solo, medidas de lisímetros e microlisímetros, entre outros. A equação de Penman-Monteith, mais utilizada para estimar a evapotranspiração das culturas, também pode ser usada para calcular a ET_c, desde que as medidas ou estimativas do saldo de radiação (R_n), resistência aerodinâmica (r_a) e resistência da cultura sejam feitas sobre a cultura que se deseja estudar.

O método do BERB tem sido muito utilizado para determinar a ET_c em curtos intervalos de tempo (dia e até hora), produzindo resultados de campo que concordam bem com as medidas lisimétricas. Contudo, Angus e Watts, apud Jara et al. (1998) e Perez et al. (1999) têm discutido amplamente os problemas apresentados por esse método, pois é consenso entre os pesquisadores que os dados de evapotranspiração obtidos pelo referido método sob condições de advecção devem ser desconsiderados. Outros problemas muito comuns na razão de Bowen, principalmente em regiões úmidas, são os gradientes de temperatura e pressão que são muito baixos. Sensores de alta sensibilidade podem amenizar os problemas inerentes aos gradientes supracitados e a advecção pode ser reduzida aumentando-se o “*fetch*” ou a área tampão. O balanço de energia feito a partir da resistência aerodinâmica (r_a) tem como principal fonte de erros a estimativa do r_a que, mesmo existindo, atualmente, equipamentos de alta tecnologia, ainda há várias dificuldades práticas para se obter valores precisos desse parâmetro.

A equação de Penman-Monteith é menos utilizada do que o BE na determinação da ET_c, sobretudo porque essa equação funciona melhor e concorda mais com as medidas lisimétricas quando a cultura está com IAF elevado, cobrindo completamente o solo. No início do ciclo, quando o IAF é pequeno, a equação subestima a evapotranspiração e em dias com velocidade do vento superior a 2 m s⁻¹ há uma ligeira superestimativa (Radin, 1998). As principais dificuldades para se calcular a ET_c pelo método de Penman-Monteith está em se obter

uma estimativa realista do saldo de radiação (R_n) e do termo aerodinâmico ou função do vento que está relacionada com a r_a e a resistência da cultura (r_c). Uma maneira de minimizar os erros cometidos por esse método é a utilização do R_n medido sobre a cultura.

2.5 - Coeficiente de cultura (K_c)

As diferenças entre a evapotranspiração de referência e a evapotranspiração de cultura podem ser integradas em um coeficiente de cultura (K_c) simples ou separadas em dois coeficientes: um coeficiente basal (K_{cb}) e um coeficiente de evaporação do solo (K_{ce}), isto é, $K_c = K_{cb} + K_{ce}$ (Allen et al., 1998). O K_c deve ser estimado de forma separada quando se pretende verificar a contribuição da evaporação do solo e transpiração das plantas no processo de evapotranspiração.

O K_c é mais comumente obtido dividindo-se a evapotranspiração da cultura pela evapotranspiração de referência ($K_c = ET_c / ET_o$), mas também pode ser determinado através do quociente do balanço de energia sobre uma cultura específica pelo balanço de energia numa superfície de referência, da seguinte forma:

$$K_c \approx \frac{\lambda E}{\lambda E_o} = \frac{(R_n + H + G)}{(R_{no} + H_o + G_o)} \quad (01)$$

Onde:

K_c = coeficiente de cultura;

R_n = Saldo de radiação;

H = Fluxo de calor sensível;

λE = Fluxo de calor latente;

G = Fluxo de calor no solo.

O índice "o" designa os valores medidos na superfície de referência. No caso de Jensen (1968), uma cultura de alfafa.

O K_c varia em função do estágio de desenvolvimento da cultura, apresentando altas correlações com o índice de área foliar verde. Os valores do K_c (Figura 2) na cultura do milho é de 0,3 - 0,5 na fase I (da emergência até 10 % de cobertura da superfície do solo - CSS),

0,8 - 0,85 na fase II (10 a 80% da CSS), 1,05 - 1,20 na fase III (80 a 100% da CSS), 0,8 - 0,95 na fase IV (100% da CSS a maturação fisiológica) e 0,55 - 0,6 na fase V (da maturação fisiológica a colheita) (Doorenbos & Pruitt, 1979).

Os valores do K_c nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura do milho em Fortaleza - CE, obtidos em função do balanço de água do solo e dos métodos de ET_o de Penman-Monteith e Blaney-Criddle FAO-24, apresentaram uma boa aproximação dos valores recomendados pela FAO (Bezerra e Oliveira, 1999).

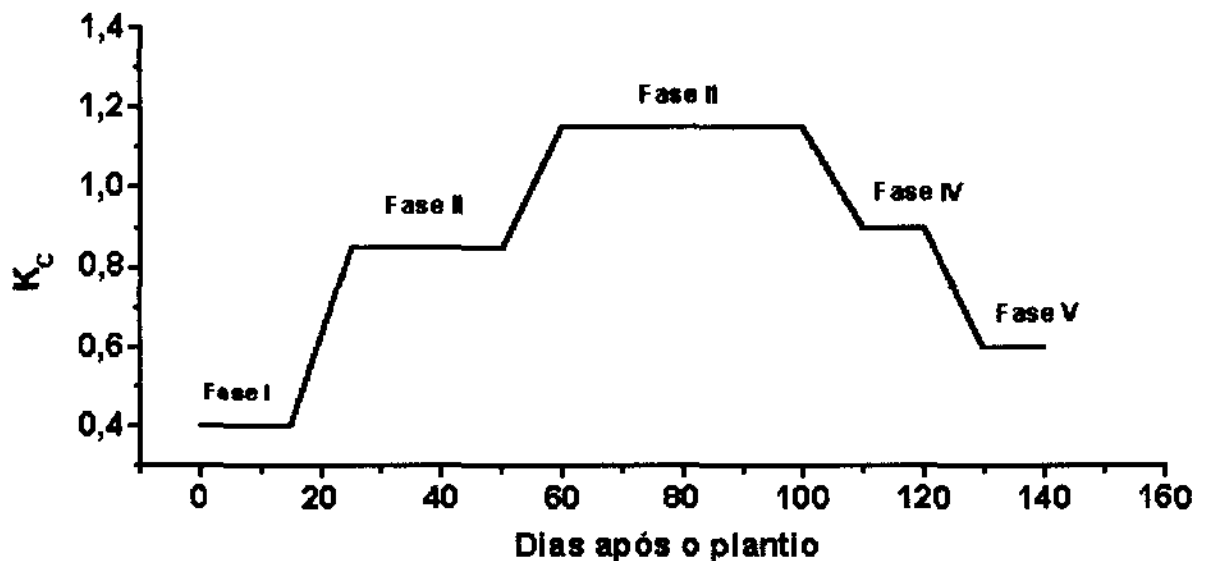


Figura 2 – Curva do coeficiente de cultura (K_c) do milho, conforme Doorenbos e Pruitt (1987).

3.0 – MATERIAL E METODOS

3.1 – Características da área

O trabalho foi realizado na área experimental de Agrometeorologia do Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no Campus Delza Gitaí - Rio Largo - AL (09° 28' S, 35° 49' W e 127 m de altitude). O solo é classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico.

O milho da variedade BR 106 foi plantado numa área de 75,0 m X 90,0 m (Figura 3), no período de 1° de janeiro a 22 de abril de 2002, com o espaçamento de 0,90 m entre linhas e colocando-se 7 sementes por metro linear para se obter um estande final médio de 70.000 plantas por hectare. A adubação de fundação foi feita com base na análise química do solo (Tabela 2), utilizando-se 600 kg/ha da fórmula 10-16-15 (num total de: 60 kg de nitrogênio, 96 kg de fósforo e 90 kg de potássio, por hectare), conforme a recomendação de Cruz et al. (1997) e na adubação de cobertura foram colocados 200 kg ha⁻¹ de uréia, divididos em duas aplicações (20 e 40 dias após o plantio). As plantas daninhas e pragas foram controladas com herbicidas e inseticidas químicos, respectivamente..

Para a irrigação, utilizou-se um sistema de aspersão convencional com aspersores de 1" e a combinação de bocal foi de 4,0 e 3,2 mm, com um espaçamento entre aspersores de 12 X 12 m, de modo que cada aspersor cobria uma área de 113,0 m². A pressão de trabalho ficou em torno de 21 m.c.a, medidas de manômetro convencional, e a vazão média, medida com hidrômetro de relógio, foi de 1,20 m³ h⁻¹ por aspersor. Essa vazão, na área de 113,0 m² correspondente a uma chuva de 10,60 mm h⁻¹. A quantidade de água aplicada e o turno de rega foram determinados em função da umidade solo, monitorada por tensiômetros de mercúrio, mantendo o solo sempre em capacidade de campo.

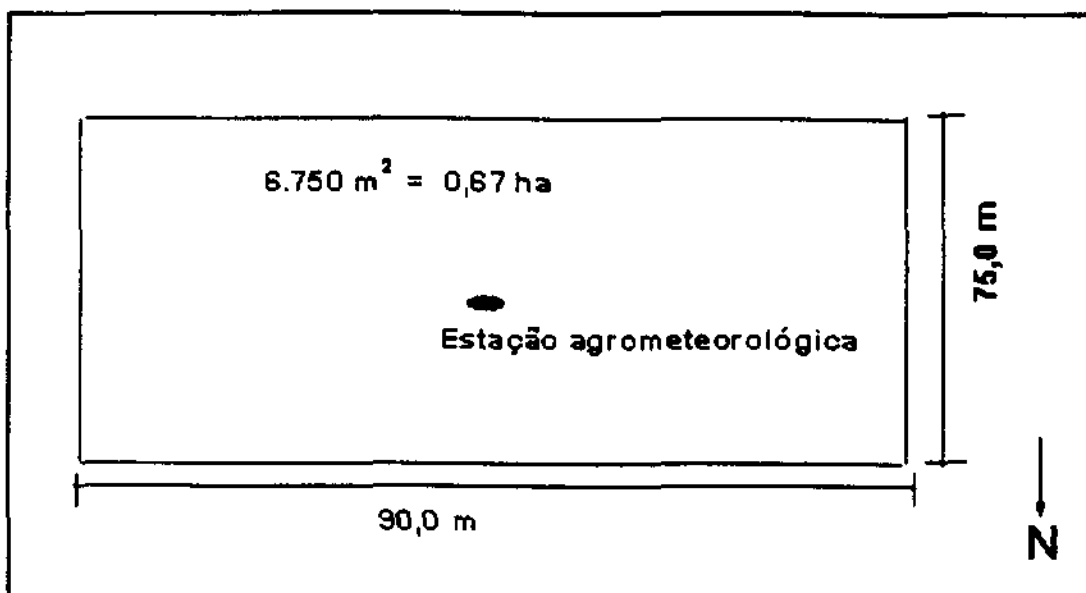


Figura 3 – Croqui do experimento.

Tabela 2 – Resultados da análise química do solo da área experimental de Agrometeorologia no Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo – AL

Determinações	Resultados	Determinações	Resultados
PH em água	6,3	T (mmol _c dm ⁻³)	71,54
Fósforo (mg dm ⁻³)	19	V (%)	55
Potássio (mg dm ⁻³)	60	m (%)	1
Ca + Mg (mmol _c dm ⁻³)	36,0	M. O. (g kg ⁻¹)	13,5
Ca (mmol _c dm ⁻³)	25,0	Ferro (mg dm ⁻³)	98,4
Mg (mmol _c dm ⁻³)	13,0	Cobre (mg dm ⁻³)	0,2
Al (mmol _c dm ⁻³)	0,5	Zinco (mg dm ⁻³)	1,3
H - Al (mmol _c dm ⁻³)	32,0	Manganês (mg dm ⁻³)	1,6
S	39,54		

3.2 – Observação dos dados meteorológicos

Os elementos e parâmetros meteorológicos foram medidos sobre a cultura do milho com sensores acoplados a uma estação automática de aquisição de dados Micrologger-21XL da

Campbell Scientific (Figura 4), programada para fazer medidas a cada dez segundos e armazenar médias de dez minutos.

A precipitação pluviométrica foi medida com um pluviômetro – CSI Modelo es 700L da Hidrological Services Pty, LTD. A temperatura e a umidade relativa do ar (UR) foram medidas em dois níveis (o primeiro na altura da copa das plantas, e o segundo a 2,0 m do dossel vegetativo), com dois sensores automáticos, modelo HMP 45C. O fluxo de calor no solo (G) foi medido a 4,0 cm de profundidade, com uma placa de fluxo HFT – 3 da REBS. A velocidade e direção do vento (U) foram medidas a 2,0 m do dossel vegetativo do milho por um anemômetro CAT. N°. 05103-5, Série WM44012 da R. M. Young Company. Um radiômetro da Kipp & Zonnen (NET CRN1, série 990170), composto de dois piranômetros e dois pignômetros, a aproximadamente 1,0 m da copa das plantas, foi utilizado para medir os componentes saldo de radiação (R_n), radiação solar global (R_g), radiação solar refletida (R_r), radiação da superfície (R_s) e da atmosfera (R_a). Os valores ($W m^{-2}$) de radiação gerados pelo radiômetro foram utilizados



Figura 4 – Fotografia da cultura do milho (Fase de desenvolvimento 3 – oito folhas expandidas), com destaque para a estação agrometeorológica.

para gerar as energias (MJ m^{-2}) horárias e diárias através de integrações.

A radiação de ondas longas, emitida pela superfície do cultivo, medida com pignômetro, foi utilizada para determinar a temperatura da superfície (T_0) através da expressão:

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{E_0}{\epsilon_0 \sigma}} \quad (02)$$

onde:

T_0 = Temperatura da superfície em Kelvin, para períodos horários;

E_0 = emitância horária do cultivo de milho, em MJ m^{-2} ;

ϵ_0 = emissividade das folhas do milho, igual a 0,95 (Idso et al., 1969);

σ = constante de Stefan-Boltzman ($2,041 \times 10^{-10} \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ K}^{-4}$).

A evaporação do tanque Classe "A" foi obtida através de medidas feitas na estação meteorológica convencional do CECA, localizada a 300 m do experimento.

A umidade do solo em base volumétrica (θ), em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, foi determinada pela equação 3 e pelo método gravimétrico, e monitorada através de três conjuntos de tensiômetros de mercúrio. Cada conjunto possuía quatro tensiômetros, instalados a 15, 30, 45 e 60 cm de profundidade. A leitura dos tensiômetros era realizada diariamente, às 7 horas e a coleta das amostras de solo, nas mesmas profundidades dos tensiômetros, foram feitas em dias alternados.

$$\theta = \mu \frac{D_s}{D_{a_g}} \quad (03)$$

onde:

θ = Umidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

μ = Umidade do solo em base de massa (kg kg^{-1});

D_s = Densidade do solo (Mg m^{-3}).

D_{a_g} = Densidade da água ($1,00 \text{ Mg m}^{-3}$).

O volume de água acumulado, em mm, foi calculado multiplicando-se a umidade do solo (θ) pela profundidade (mm) do horizonte analisado.

3.3 – Estimativa da Evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith, Linacre, Tanque Classe "A" (C.A), Blaney-Cridly (B.C), Penman (1948) e radiação da FAO. Os próximos tópicos mostram maiores informações sobre cada modelo.

3.3.1 - Método de Penman-Monteith

A evapotranspiração de referência (ET_o) por esse método foi estimada de duas maneiras. Na primeira delas utilizou-se o saldo de radiação medido (PM) e a segunda foi feita com R_n estimado (PM_e), sendo que a primeira foi considerada como o padrão para a aferição dos demais modelos.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma (1 + 0,34 u_2)]} \quad (04)$$

onde .

ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

R_n = Saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹), medido ou estimado pela expressão 10;

G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

U₂ = velocidade do vento a 2m e altura (m s⁻¹);

e_s = pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa);

e = pressão do vapor d'água do ar (kPa);

Δ = inclinação da curva da pressão de vapor saturado versus temperatura (kPa °C⁻¹), obtida pela expressão:

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (05)$$

em que, T é a temperatura do ar (°C) e e_s foi calculado pela equação:

$$e_s = 0,6108 \text{ EXP} \left(\frac{17,27 \cdot T}{237,3 + T} \right) \quad (06)$$

e

$$e = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (07)$$

em que,

UR = umidade relativa do ar (%)

λ = calor latente de evaporação, calculado pela fórmula:

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \times 10^{-3}) T \text{ (MJ } ^\circ\text{C}^{-1}) \quad (08)$$

γ = coeficiente psicrométrico (kpa $^\circ\text{C}^{-1}$), obtida pela expressão:

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \text{ (KPa } ^\circ\text{C}^{-1}), \quad (09)$$

onde:

P é a pressão atmosférica, em kPa, calculada pela fórmula:

$$P = 101,3 \left(\frac{\bar{T}_{(K)} - 0,0065z}{\bar{T}_{(K)}} \right)^{5,256} \quad (10),$$

Com z igual a altitude local (m).

O saldo de radiação é obtido pela expressão:

$$R_n = R_c + R_L \quad (11)$$

em que R_c e R_L são o balanço diário de ondas curtas e ondas longas em MJ m^{-2} , respectivamente.

Estimados pelas equações 12 e 19.

$$R_c = R_g (1 - r) \quad (12)$$

onde, r é o albedo da superfície (0,23) e R_g é a radiação solar global diária (MJ m^{-2}) estimada pela equação:

$$R_g = R_o \left(0,31 + 0,38 \frac{n}{N} \right) \quad (13)$$

em que,

n = duração diária do brilho solar (horas)

N = fotoperíodo (horas), obtido pela fórmula:

$$N = \frac{2 H}{15} \quad (14)$$

em que H é ângulo horário (graus) calculado pela expressão 15.

$$H = \cos^{-1} (-\text{tg } \delta * \text{tg } \phi) \quad (15)$$

onde ϕ é a latitude local (graus) e δ é a declinação solar (graus), determinada pela fórmula:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[\left(\frac{360}{365} \right) * (dn + 284) \right] \quad (\text{graus}) \quad (16)$$

R_o é a radiação solar diária no topo da atmosfera em MJ m^{-2} , obtida pela expressão:

$$R_o = 37,60 * E_c * (H_{\text{rad}}) * \operatorname{sen} \phi * \operatorname{sen} \delta + \cos \phi * \cos \delta * \operatorname{sen} H \quad (17)$$

Com E_o igual a distância média terra – sol :

$$E_o = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2\pi * dn}{365} \right) \quad (18)$$

Dn = dia do ano (calendário Juliano)

$$R_L = - \left(0,9 \left(\frac{n}{N} \right) + 0,1 \right) (0,34 - 0,14 \sqrt{e}) \sigma \left(\frac{T_x^4 + T_n^4}{2} \right) \quad (19)$$

T_x = temperatura máxima (Kelvin) e T_n = temperatura mínima (Kelvin)

$$\sigma = 4,03 \times 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ K}^{-4}$$

3.3.2 - Método de Linacre

O modelo de Linacre (**Lin**) foi criado para determinar a evapotranspiração em períodos mensais, mas nesta pesquisa foram utilizados dados de temperatura média diária no lugar da mensal, objetivando-se obter resultados diários. O modelo é dado por:

$$ET_o = \frac{\frac{500(T + 0,006 z)}{100 - \phi} + 15 (T - T_d)}{80 - T} \quad (20)$$

onde T_d é a temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$), determinada pela equação:

$$T_d = \frac{237,3 \cdot \log(e) - 156,8}{8,16 - \log(e)} \quad (21)$$

com a pressão (e) de vapor em mm de Hg.

Mas nesse estudo, o termo $(T - T_d)$ foi estimado, apenas em função das temperaturas máxima e mínima, pela expressão:

$$(T - T_d) = 0,0023z + 0,37T + 0,53(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) + 0,35R - 10,9 \quad (22)$$

R é dado pela diferença entre as temperaturas médias do mês mais quente e mais frio. T_{max} e T_{min} são as temperaturas médias mensais das máximas e das mínimas, respectivamente.

Nessa pesquisa R foi obtido pela diferença entre a temperatura do dia mais quente e do dia mais frio, assim como T_{max} e T_{min} foram representadas pelas médias diárias das temperaturas máximas e mínimas, respectivamente.

3.3.3 - Método do tanque classe "A".

Neste método, a ET_o é definida segundo a expressão:

$$ET_o = ECA * K_p \quad (23)$$

onde:

ECA = Evaporação do tanque classe "A" ($mm \text{ dia}^{-1}$);

K_p = Coeficiente do Tanque determinado pela expressão:

$$K_p = 0,482 + 0,024 \text{ Ln}(f) - 0,000376U + 0,0045 \text{ UR}, \quad (24)$$

sendo f o tamanho da bordadura (10,0 m) e U a Velocidade do vento ($km \text{ dia}^{-1}$);

3.3.4 - Método de Blaney – Criddle

A expressão utilizada neste método tem a seguinte forma:

$$ET_o = a + b [p (0,46T + 8,13)] \quad (25)$$

onde a e b são dados por:

$$a = 0,0043 \text{ UR}_{min} - \frac{n}{N} - 1,41 \quad e \quad (26)$$

$$b = a_0 + a_1 \text{ UR}_{min} + a_2 \frac{n}{N} + a_3 \text{ Ud} + a_4 \text{ UR}_{min} \frac{n}{N} + a_5 \text{ UR}_{min} \text{ Ud}, \quad (27)$$

sendo UR_{min} a umidade mínima mensal (%) e Ud a velocidade média diurna do vento a 2,0 m de altura ($m \text{ s}^{-1}$) e $a_0 = 0,81917$, $a_1 = -0,0040922$, $a_2 = 1,0705$, $a_3 = 0,065649$, $a_4 = -0,0059684$ e $a_5 = -0,0005967$.

p = porcentagem do fotoperíodo médio diário mensal sobre o total de fotoperíodo anual (Tabela I dos anexos).

3.3.5 - Método de Penman (1948)

Esse método foi utilizado de duas formas: com o saldo de radiação medido (**Pen**) e estimado (**Pen_e**), através da equação:

$$ET_o = w (R_n - G) / \lambda + (1-w) 86400 \rho_a c_p \frac{\Delta e}{\gamma \lambda r_a} \quad (\text{mm dia}^{-1}) \quad (28)$$

onde: ρ_a é a densidade do ar ($1,29 \text{ kg m}^{-3}$), c_p é o calor específico do ar à pressão constante ($1,013 \times 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$) e w é obtido pela expressão:

$$w = \Delta / (\Delta + \gamma) \quad (29)$$

Considerando $G = 0$, pode-se estimar a evapotranspiração pela fórmula:

$$ET_o = W R_n + (1-W) \lambda E_a \quad (30)$$

$$\text{em que, } \lambda E_a = 6,43 (1 + 0,526 u_2) (e_s - e) \quad (31)$$

3.3.6 - Radiação da FAO

O modelo da radiação da FAO também foi utilizado com a radiação solar global medida (**Rad**) e estimada (**Rad_e**) pela expressão:

$$ET_o = C (W \cdot R_g) \text{ mm dia}^{-1} \quad (32)$$

Para evitar consultas tabelas e interpolações dos valores de "c" utilizou-se a equação de Frevert et al. Apud Pereira et al. (1997):

$$ET_o = C_o + C_1 w (R_g / \lambda) \quad (33)$$

onde :

$$C_o = -0,3 \text{ mm dia}^{-1} \text{ e}$$

$$C_1 = a_0 + a_1 UR + a_2 Ud + a_3 UR \cdot Ud + a_4 UR^2 a_5 Ud^2$$

sendo UR é umidade relativa do ar (%) e Ud a velocidade média do vento no período diurno, medido a 2,0 m de altura;

Com $a_0 = 1,0656$, $a_1 = -0,0012795$, $a_2 = 0,044953$, $a_3 = -0,00020033$, $a_4 = -0,000031508$ e $a_5 = -0,0011026$ e W foi calculado pela expressão:

$$W = 0,483 + 0,01 \cdot T \quad (34)$$

considerou-se $\lambda \approx 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ e R_g em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

3.4 – Análise de concordância

A análise de concordância da evapotranspiração de referência, obtida pelos diferentes métodos utilizados nesse estudo, em comparação com o modelo padrão da FAO, foi feita com base na raiz média quadrática das diferenças (rmqd) e o índice de concordância “d” de Willmott (1984). A rmqd representa o erro médio, em mm, cometido no cálculo da evapotranspiração em relação ao modelo padrão da FAO. Dessa forma, quanto menor o valor do rmqd melhor estimador de ET_o ou ET_c foi o método. O índice “d” mostra quanto os resultados obtidos pelos diferentes métodos concordam com os calculados pelo padrão. Assim, quanto mais próximo da unidade for esse índice maior será a concordância entre os métodos comparados. Os resultados foram analisados em três escalas de tempo: diária, decendial e por fase fenológica da cultura. A rmqd e o “d” foram obtidos pelas expressões:

$$r_{mqd} = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2 \right]^{0,5} \quad (35)$$

onde:

O_i = resultados obtidos pelos métodos aferidos;

P_i = resultados obtidos pelo padrão e N é o número de observações.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|O'_i| - |P'_i|)^2} \right] \quad (36)$$

em que,

$$O'_i = O_i - \bar{P};$$

$$P'_i = P_i - \bar{P};$$

\bar{P} = média dos resultados obtidos pelo padrão.

$$0 \leq d \leq 1$$

3.5 – Análise de crescimento e desenvolvimento da cultura

3.5.1 – Necessidades térmicas

As necessidades térmicas da cultura foram determinadas em função dos graus-dia (GD), acumulados em cada fase de desenvolvimento da cultura, pela seguinte equação:

$$GD = \sum_{i=1}^{i=n} (T_m - T_b) \quad (37)$$

n = número de dias;

T_m é a temperatura média diária (média dos dados computados a cada 10 minutos)

T_b é a temperatura base do milho (10 °C), adotada por diversos pesquisadores (Edey, 1977).

3.5.2 – Altura das plantas (L)

As plantas, semanalmente selecionadas de forma aleatória, eram medidas do colo da raiz até a base do pendão. Essas medições serviram para determinar a altura média das plantas.

3.5.3 – Matéria seca da parte aérea das plantas

Semanalmente, colhiam-se dez plantas, transportava-as até o laboratório, onde eram destacadas todas as folhas verdes, das quais mediam-se o comprimento e a largura máximos. Em seguida, pesava-se toda parte aérea dessas plantas (obtinha-se a massa úmida) e utilizando sacos de papel como embalagem colocava-as para secar durante 72 horas em uma estufa à 72 °C para se obter a massa da matéria seca da parte aérea (MS).

3.5.4 - Índice da área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi calculado semanalmente através da amostragem de dez plantas. Para encontrar a área de cada folha, multiplicava-se sua maior largura pelo maior comprimento, em seguida multiplica-se essa área por um coeficiente de forma de 0,75. Esse coeficiente foi determinado pelo método de integração de áreas por Martins (2002). A área de

todas folhas, de uma planta, era somada para obter a área foliar por planta. Depois de encontrar a área das dez plantas, calcula-se a média aritmética e multiplicava-a pelo número de plantas (70.000) existente em um hectare, isso corresponde à área foliar total, que dividida por 10.000 m², equivale ao IAF.

3.5.5 – Fenologia

A fenologia das plantas foi determinada seguindo a escala de Hanway (1963) modificada por Fancelli e Dourado Neto (2000), através de observações diárias das características morfológicas que determinam cada fase de desenvolvimento da cultura.

3.6 – Resistência aerodinâmica e da cultura

3.6.1 - Resistência aerodinâmica

A resistência aerodinâmica (r_a) foi estimada por duas fórmulas, uma apresentada por Allen et al. (1989), em função das características das plantas de milho (r_{al}) e a original de Penman, baseada apenas na velocidade do vento.

$$r_{al} = \frac{\ln \left[\frac{Z_m - d}{Z_{om}} \right] \ln \left[\frac{Z_h - d}{Z_{oh}} \right]}{K^2 U_z} \quad (38)$$

em que,

r_{al} = Resistência aerodinâmica (s m⁻¹);

Z_m = Altura de medida da velocidade vento (m);

Z_h = Altura de medida da umidade relativa do ar (m);

d_0 = Deslocamento do plano zero;

Z_{om} = Comprimento da rugosidade para transferência de momento (m);

Z_{oh} = Comprimento da rugosidade para transferência de calor e vapor d'água (m);

K = Constante de Von Karman = 0,41;

U_z = Velocidade do vento na altura z (m s⁻¹).

O deslocamento do plano zero foi obtido segundo a equação:

$$d_0 = \left(\frac{2}{3} h \right) \quad (39)$$

sendo h a altura da cultura.

Já Z_{om} e Z_{oh} foram determinados de acordo com as seguintes equações

$$Z_{om} = 0,123 h$$

$$Z_{oh} = 0,1 Z_{om}$$

A outra forma de estimativa da resistência aerodinâmica foi pela equação:

$$r_{a2} = \frac{250}{1 + 0,526 U_2} \quad (s \ m^{-1}) \quad (40)$$

onde U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura ($m \ s^{-1}$).

3.6.2 - Resistência da cultura

Os métodos utilizados para determinar a resistência da cultura (r_c) foram apresentados por Allen et al. (1986), baseado no saldo de radiação e índice de área foliar do milho (r_{c1}) e Allen et al. (1989), considerando apenas o IAF da cultura (r_{c2}), conforme as equações seguintes:

$$r_{c1} = \frac{500 - 0,85 \cdot R_n}{IAF} \quad (s \ m^{-1}) \quad (41)$$

em que R_n é o saldo diário de radiação ($Cal \ cm^{-2}$) e o IAF é o índice de área foliar.

$$r_{c2} = \frac{200}{IAF} \quad (s \ m^{-1}) \quad (42)$$

3.7 – Balanço de energia

O balanço de energia (**BE**) teve a superfície do solo como referência para a direção dos fluxos, de acordo com as convenções apresentadas na Figura 5. Assim, quando os fluxos de calor no solo (**G**) for menor que zero significa que o solo está ganhando energia e com o fluxo de calor latente (λE) e sensível (**H**) negativos, a superfície está cedendo energia para aquecer o ar.

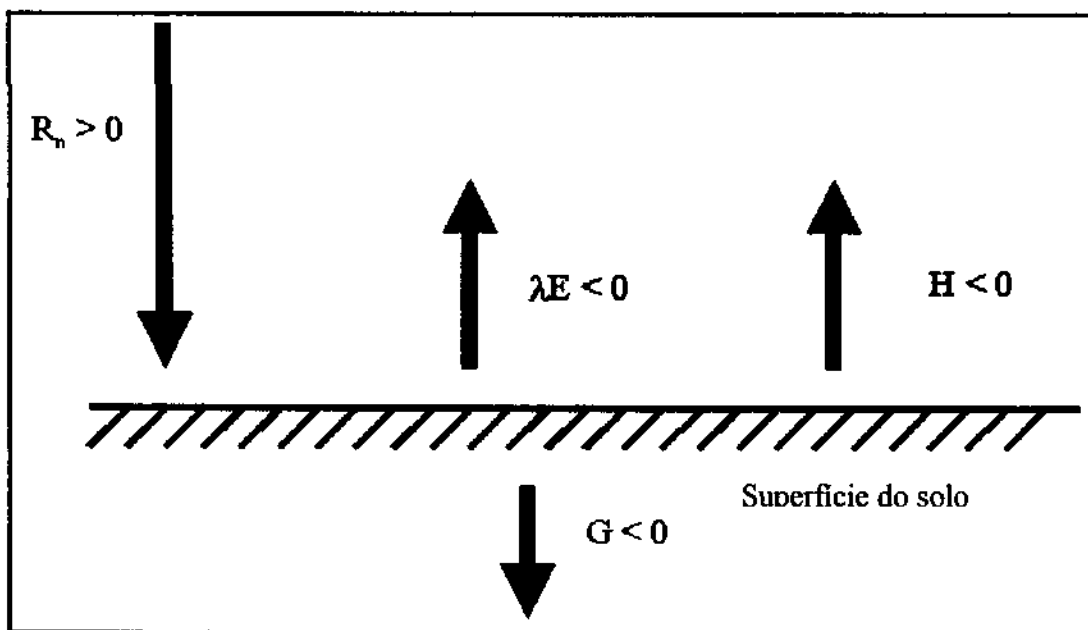


Figura 5 – Convenções de sentido (sinal) dos componentes do balanço de energia.

Os métodos de balanço de energia utilizados nesse estudo foram a razão de Bowen e a obtenção de H por meio da resistência aerodinâmica.

3.7.1 - Razão de Bowen

A razão de Bowen foi utilizada para fazer o balanço de energia ao longo do ciclo da cultura e em seis dias (balanço de energia diário), nas diferentes fases fenológicas do milho. O gradiente de temperatura foi determinado a partir da temperatura da superfície (T_o), obtida através de medidas pignométricas tomadas a 1,0 m (um metro) da superfície (dossel vegetativo das plantas), e da temperatura do ar (T_a) medida a dois metros do dossel da cultura e ao nível da copa. Sendo que no balanço ao longo ciclo de produção do milho foram utilizadas variáveis meteorológicas (temperatura, saldo de radiação e fluxo de calor no solo) diurnas e o BE diário foi feito com as variáveis horárias, utilizando-se as seguintes equações:

$$R_n - \lambda E - H - G = 0 \quad (43)$$

$$\beta = \gamma \cdot \frac{(T_o - T_a)}{(e_o - e_a)} \quad (44)$$

com,

$e_o = e_s(T_o)$, é a pressão de saturação (kPa) do vapor d'água com a temperatura da superfície do dossel vegetativo (T_o);

$e_a = e(T_a)$, é a pressão (kPa) do vapor d'água com a temperatura do ar (T_a);

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} \quad \text{ou} \quad H = \beta \lambda E, \quad (45)$$

Substituindo H na equação 42, tem-se:

$$R_n - \lambda E - \beta \lambda E - G = 0 \quad (46)$$

$$R_n - G = \lambda E + \beta \lambda E \quad (47)$$

$$R_n - G = \lambda E (1 + \beta) \quad (48)$$

o que resultou em:

$$\lambda E = \frac{R_n - G}{(1 + \beta)} \quad (49)$$

e

$$H = \frac{(R_n - G)}{\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (50)$$

3.7.2 - Balanço de energia pela obtenção de H através da resistência aerodinâmica

O balanço de energia pela obtenção do fluxo de calor sensível foi calculado de duas formas: uma com base na r_{a1} (**BE₁**) e outra em função do r_{a2} (**BE₂**), conforme as expressões abaixo.

$$R_n - \lambda E - \rho_a c_p \frac{(T_o - T_a)}{r_a} - G = 0 \quad (51)$$

$$H_1 = \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{(T_o - T_a)}{r_{a1}} \quad (52)$$

$$\rho_a = 1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$C_p = 1,013 \cdot 10^{-3} \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$H_2 = \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{(T_o - T_a)}{r_{a2}} \quad (53)$$

$$\lambda E_1 = R_n - G - H_1 \quad (54)$$

$$\lambda E_2 = R_n - G - H_2 \quad (55)$$

3.8 - A evapotranspiração da cultura (ET_c)

Os métodos utilizados para determinar a evapotranspiração da cultura foram Razão de Bowen, Penman-Monteith e Balanço de Energia.

3.8.1 - Razão de Bowen

A ET_c pela razão de Bowen foi estimada de três maneiras diferentes, variando os gradientes de temperatura. A primeira (**padrão**), com a temperatura da superfície (T_o) menos a temperatura do nível 2 (T_2). A segunda (**RB₁**), com T_o menos a temperatura do nível 1 (T_1) e a terceira (**RB₂**), com T_1 e T_2 . As equações utilizadas foram as mesmas do Balanço de Energia, sendo que a evapotranspiração foi obtida pela seguinte expressão:

$$ET_c = \frac{\lambda E}{\lambda} \text{ (mm dia}^{-1}\text{)} \quad (56)$$

3.8.2 - Penman-Monteith

O método de Penman-Monteith foi utilizado para determinar a ET_c de quatro formas diferentes, em função da relação r_c/r_a :

- **PMc₁**, utilizando a relação r_{c1}/r_{a1} ; . **PMc₂**, com a relação r_{c2}/r_{a2} ;
- **PMc₃**, através da relação r_{c2}/r_{a1} e - **PMc₄**, por meio da relação r_{c1}/r_{a2} .

Os termos r_{a1} , r_{a2} , r_{c1} e r_{c2} foram definidos no tópico 3.6. e a equação utilizada foi:

$$ET_c = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{(e_s - e)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad (\text{mm dia}^{-1}) \quad (57)$$

onde,

r_a e r_c são a resistência aerodinâmica e a resistência da cultura, respectivamente.

3.8.3 - Balanço de energia

O cálculo da evapotranspiração da cultura pelo Balanço de Energia (**B.E₁**) foi feito com o fluxo de calor sensível (H_1) calculado a partir de r_{a1} e (**B.E₂**), com o H_2 em função de r_{a2} e as expressões utilizadas foram as mesmas do tópico 3.7.2, sendo a ET_c obtida pela expressão 56.

3.9 - Coeficiente de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura foi determinado pelo cociente entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), ou seja:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (58)$$

4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Evapotranspiração de Referência

As características meteorológicas fora dos padrões normais durante a experimentação, conferiram à evapotranspiração de referência (ET_o) menores valores. Esse aspecto foi constatado pelo aumento da precipitação pluvial e umidade relativa do ar e pela diminuição da radiação solar global, temperatura do ar e velocidade do vento (Figuras 6 a 10).

4.1.1 – Variação diária

A evapotranspiração de referência média diária obtida pelos diversos modelos utilizados variou de 2,02 mm (dia 11 de janeiro) a 5,42 mm (dia 24 de fevereiro), com total de 407,41 mm no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002, média de 3,99 mm dia⁻¹. O valor mínimo diário desse parâmetro estimado pelo método de Penman-Monteith padrão da FAO (PM), foi 0,88 mm (dia 11 de janeiro) e o máximo de 5,29 mm, ocorrido em 10 de fevereiro. Nos 102 dias analisados a ET_o (PM) total foi 396,66 mm, com uma média diária de 3,89 mm e amplitude de 4,41 mm dia⁻¹ (Figura 11).

A menor ET_o para os métodos utilizados nesse estudo ocorreram no dia 11 de janeiro. Nessa data, o método do tanque classe "A" (C.A) não pôde ser utilizado porque choveu 50,80 mm, com maior intensidade entre as 6 e 14 horas. Também, nesse dia, foi registrado o menor valor do saldo de radiação (R_n igual 2,88 MJ m⁻² dia⁻¹) e o maior R_n (16,86 MJ m⁻² dia⁻¹) ocorreu em 10 de fevereiro

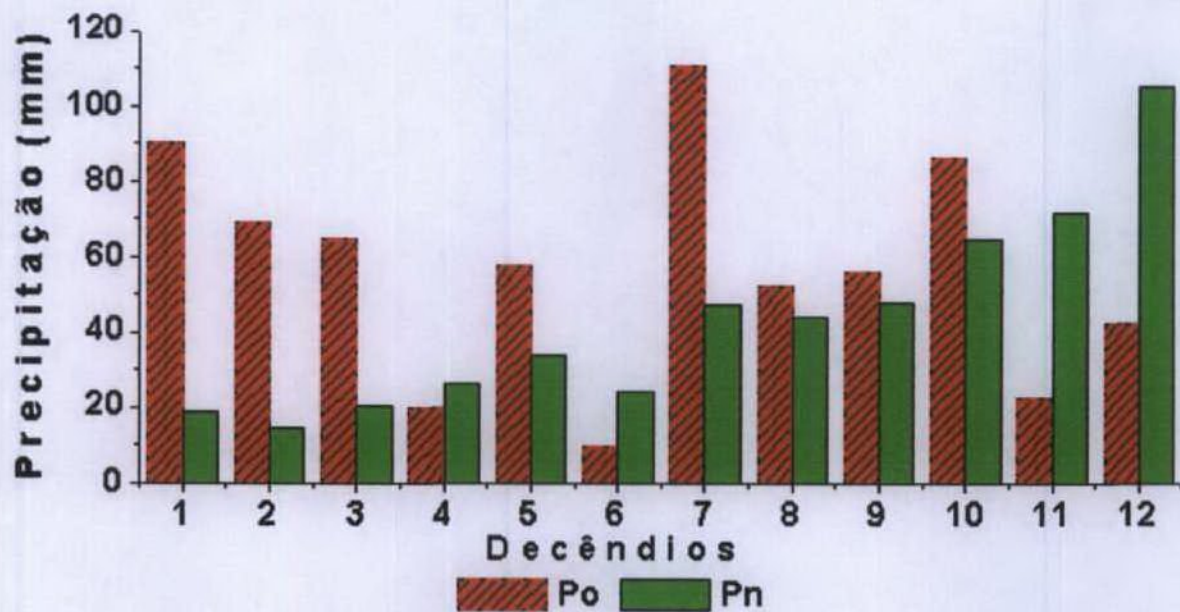


Figura 6 – Precipitação decenal observada (Po) no período de 1º de janeiro a 30 de abril de 2002 e a normal climatológica (Pn) da região de Rio Largo – AL.

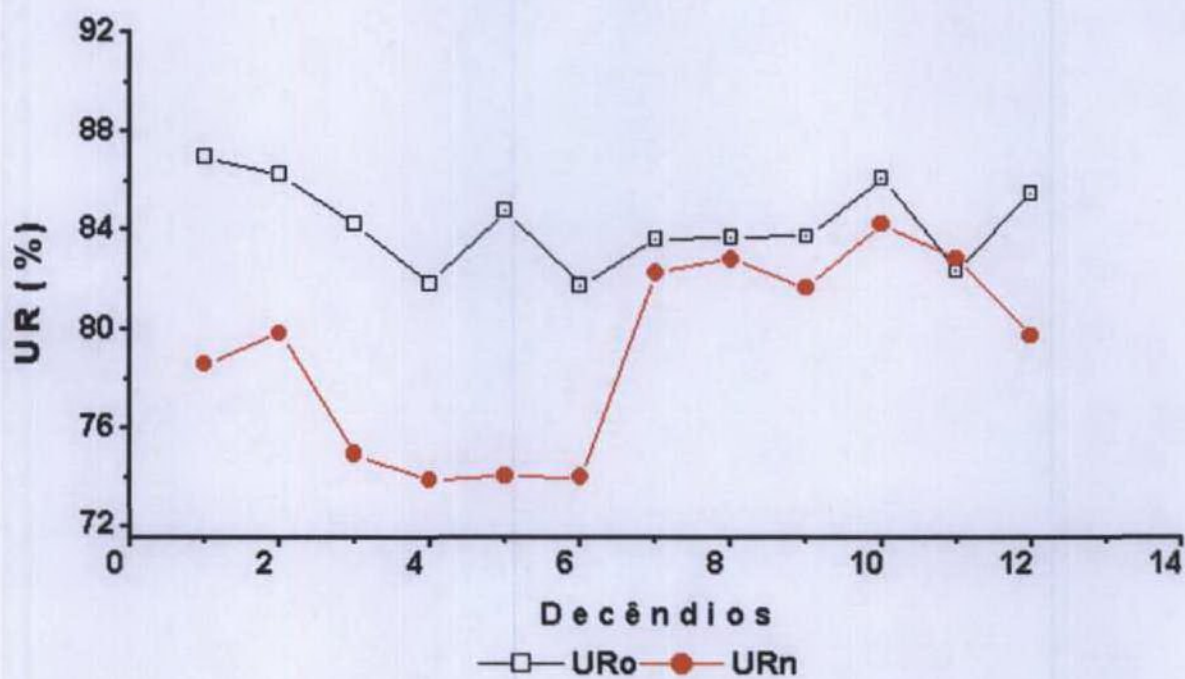


Figura 7 – Variação decenal da umidade relativa do ar, médias diárias observadas (URo) no período de 1º de janeiro a 30 de abril de 2002 e a normal climática (URn) da região de Rio Largo – AL

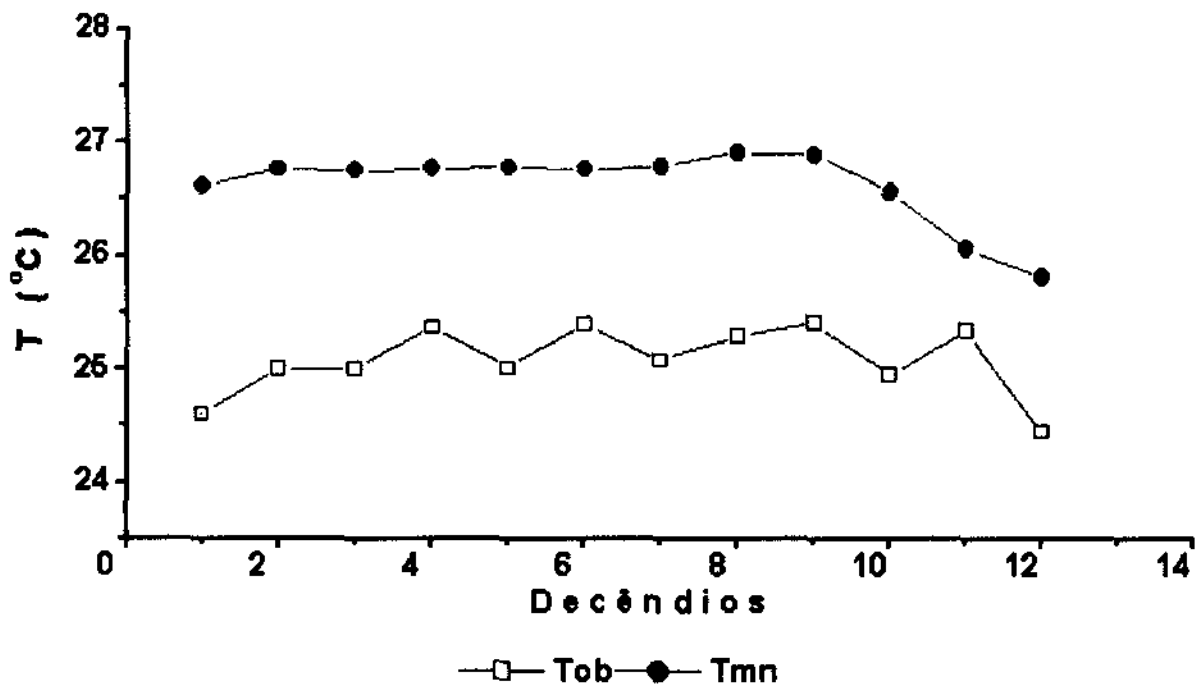


Figura 8 – Variação decenal da temperatura do ar, médias diárias observadas (Tob) no período de 1º de janeiro a 30 de abril de 2002 e a normal climática (Tmn) da região de Rio Largo – AL.

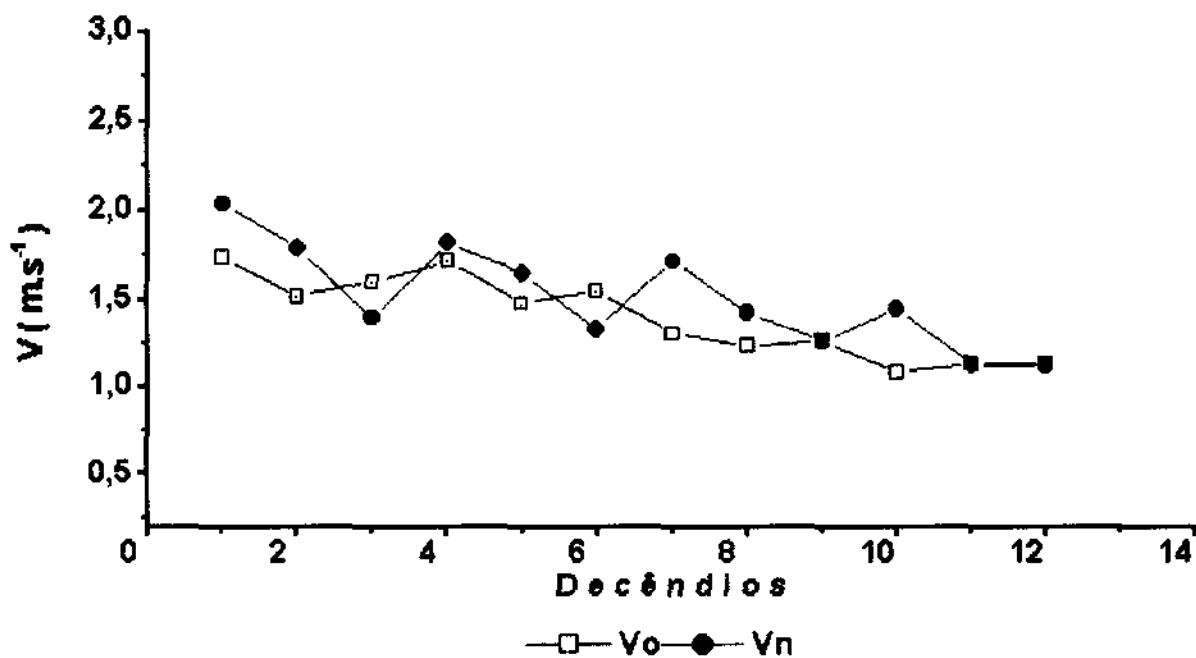


Figura 9 – Variação decenal da velocidade do vento a 2 m de altura: médias diárias observadas (Vo) no período de 1º de janeiro a 30 de abril de 2002 e a normal climática (Vn) da região de Rio Largo – AL.

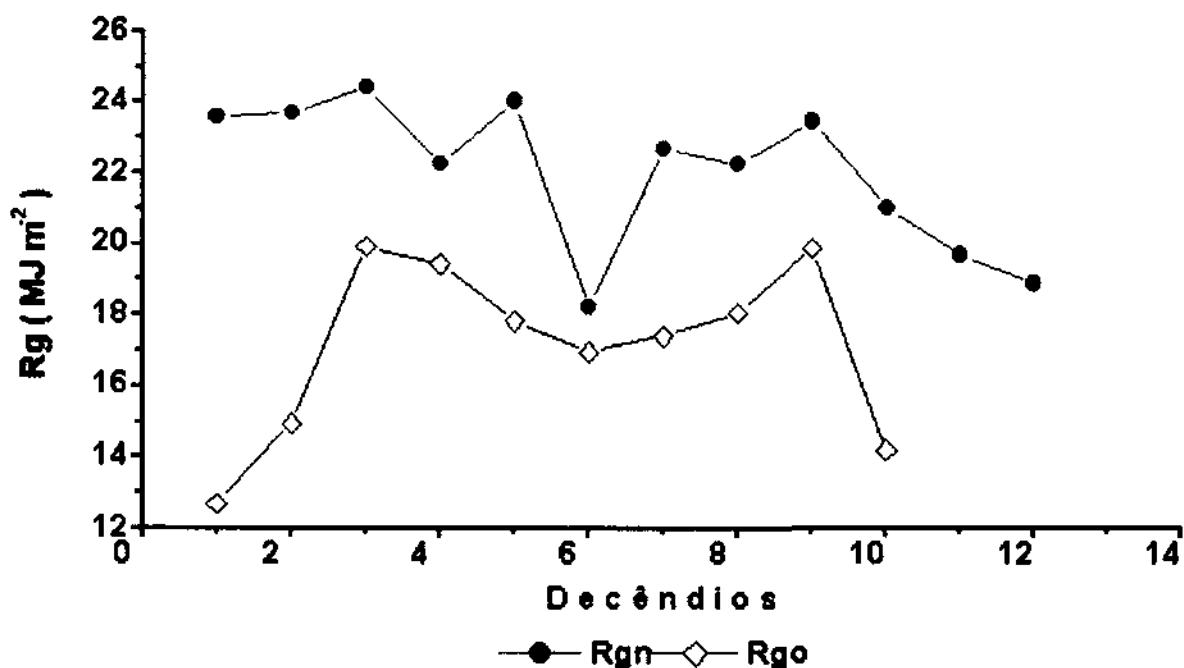


Figura 10 – Variação decenal da radiação solar global diária: médias diárias observadas (Rgo) no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 e a normal climática (Rgn) da região de Rio Largo – AL.

4.1.2 – Comparação dos resultados obtidos pelos diferentes métodos

A comparação dos valores de ET_o obtidos com os oito métodos em relação aos valores determinados pelo modelo padrão da FAO (Penman-Monteith), permitiu determinar interações entre os métodos e as variáveis meteorológicas.

O modelo de Linacre, em relação a equação de Penman – Monteith padrão da FAO, subestimou a ET_o quando o R_n foi superior a $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e, de forma contrária, superestimou-a nos dias com R_n menor que 11 MJ m^{-2} . Essas diferenças ocorrem porque o modelo de Linacre utiliza como dados de entrada apenas a temperatura do ar e as coordenadas geográficas (latitude e altitude) locais. A temperatura média do ar na região do experimento oscilou muito pouco, menos de $3 \text{ }^\circ\text{C}$ de amplitude durante o período da pesquisa. Por conta disso, o método em discussão, entre os avaliados, foi o que apresentou a menor faixa de variação (1,88 mm). A evapotranspiração média diária foi de 3,93 mm, com um valor mínimo de 2,65 mm e um máximo de 4,53 mm nos dias 11 de janeiro e 9 de abril, respectivamente. O total acumulado nos 102 dias de observação foi 400,94 mm.

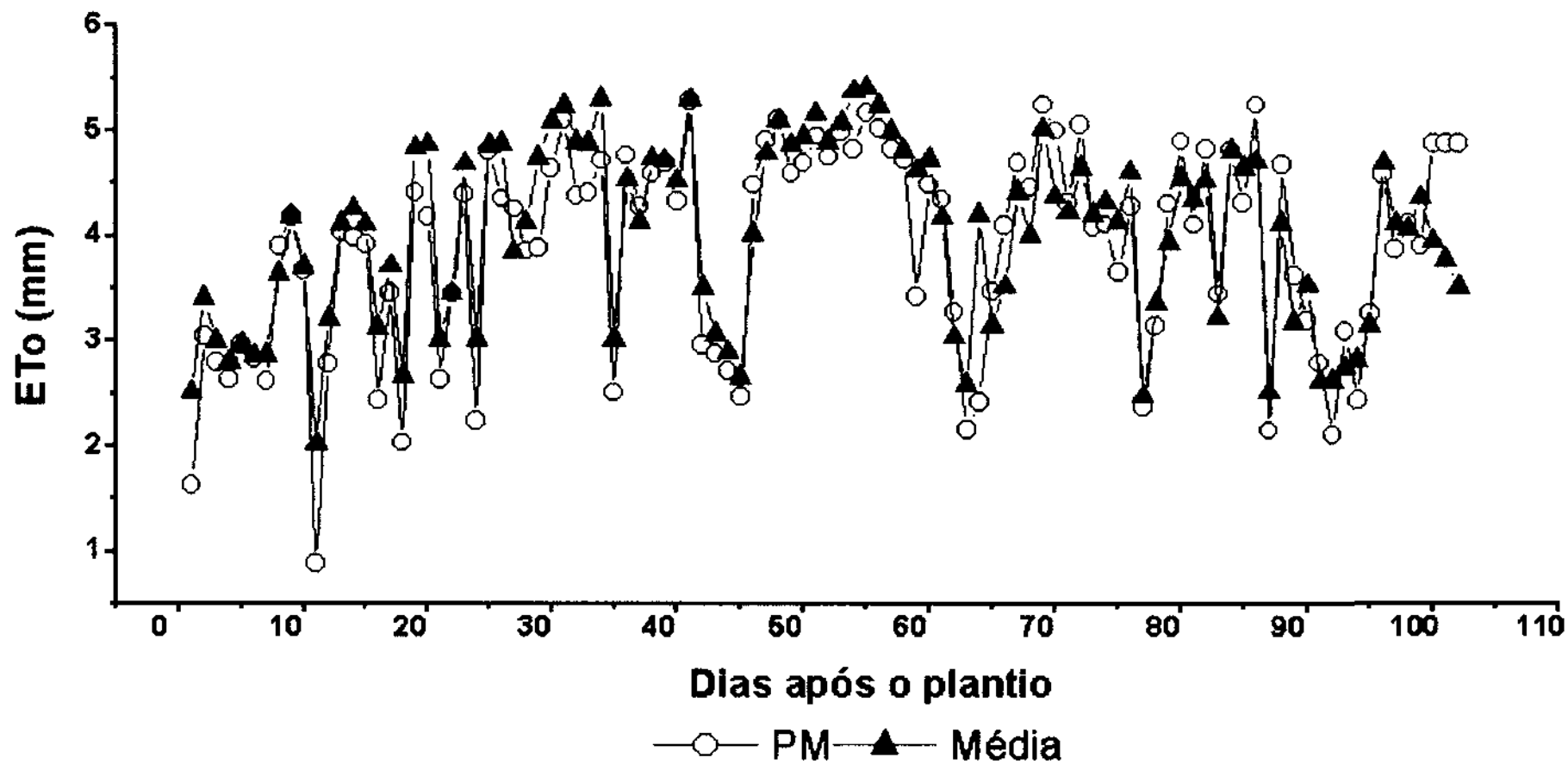


Figura 11 - Evapotranspiração de referência (ET₀) diária estimada pelo modelo de Penman-Monteith, padrão da FAO (PM) e a média dos resultados obtidos pelos diversos modelos utilizados nesse experimento, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo – AL.

A estimativa de ET_0 através da evaporação do Tanque Classe "A", apresentou uma performance caracterizada por erros sistemáticos, como inconveniente da cumulatividade de erros de leitura diária, cometidos e não compensados no dia seguinte. Nesse aspecto acresce-se ainda os erros causados pela comparação simplista de uma superfície de água livre, com uma área vegetada e todo seu complexo sistema de troca de massa e energia com a atmosfera, (Santos et. al., 1994). Por conta disso, nos dias de chuva, como nos períodos de 1 a 12 de março e 26 de março a 4 de abril de 2002, os valores da ET_0 ficaram muito abaixo da realidade. A alta umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica ocorrida foi a causa de praticamente não se observar evaporação nesse período. De modo contrário, nos dias de céu claro, como o período entre os dias 19 e 28 de fevereiro de 2002, as altas taxas de evaporação tendem a superestimar a ET_0 , quando comparada com a determinada pelo modelo padrão da FAO. A evapotranspiração de referência determinada pelo método do Tanque Classe "A" (Figura 12), foi a que mostrou a maior amplitude diária, 6,79 mm. O valor mínimo foi 0,17 mm dia⁻¹ nos dias 2, 8, 20 e 27 de março e o máximo diário de 6,96 mm ocorreu em 19 de fevereiro. Em alguns dias do experimento a taxa de evapotranspiração estimada pelo modelo do Tanque Classe "A" foi ignorada, principalmente em dias de chuva, devido a erros de leitura. Por esse motivo o valor total da ET_0 entre o dia 1º de janeiro e 12 de abril de 2002 (nesse período foram computados dados de 88 dias) foi apenas 326,64 mm e a média diária 3,71 mm.

A energia disponível na superfície (R_n) é principalmente determinada pela intensidade de radiação solar global (R_g). Na região em estudo corresponde a 74 % da R_g (Souza et al., 2001). McKenney & Rosenberg (1993) avaliaram a sensibilidade das equações de Penman – Monteith e Penman (Penman, 1948) em cinco localidades da Grande Planície Norte Americana, onde uma variação de 30% da R_g correspondeu a uma variação de aproximadamente 20 % no valor da evapotranspiração. Como conseqüência do exposto, os erros cometidos nas estimativas da R_g e/ou R_n podem afetar a magnitude da evapotranspiração calculada pelos métodos de Penman-Monteith e Penman. Por esse motivo, nos dias de chuva, em que R_g e R_n foram baixos (dias 11, 18, 21, 22, 43, 44, 45, 63, 64, 77 e 87 a 94, após o plantio), as taxas da ET_0 determinadas pelo método de Penman-Monteith com R_n estimado (Figura 13) foram superiores às calculadas pelo modelo padrão da FAO (Penman-Monteith com R_n medido). Quando os valores diários do R_n medido ficam entre 12 e 14 MJ m⁻² a evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e) foram semelhantes aos obtidos pelo método padrão da FAO. Acima dessa faixa, a ET_0

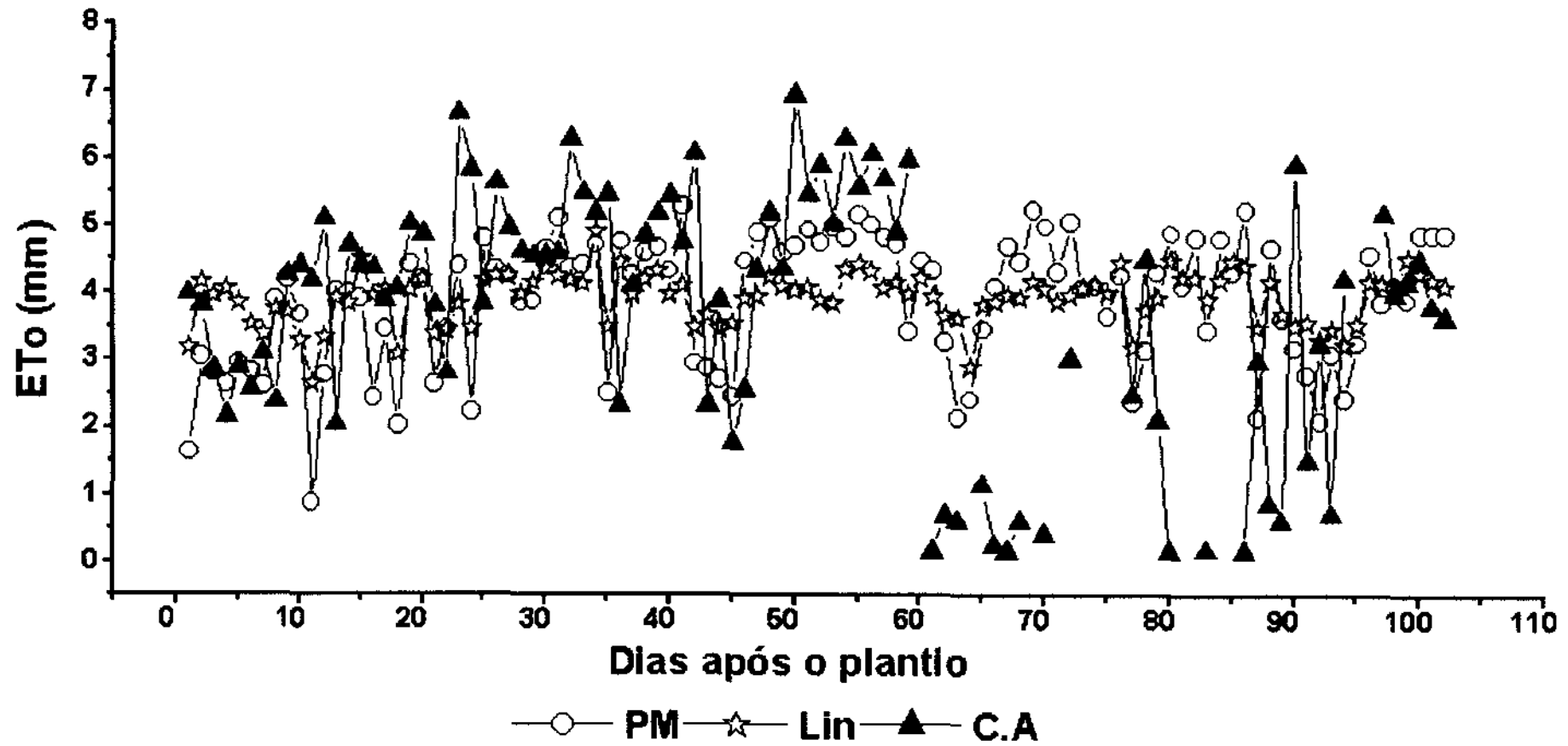


Figura 12 - Evapotranspiração de referência (ET₀) diária estimadas pelos métodos de Penman – Monteith padrão da FAO (PM), Linacre (Lin) e Tanque Classe “A” (C.A), no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo - AL.

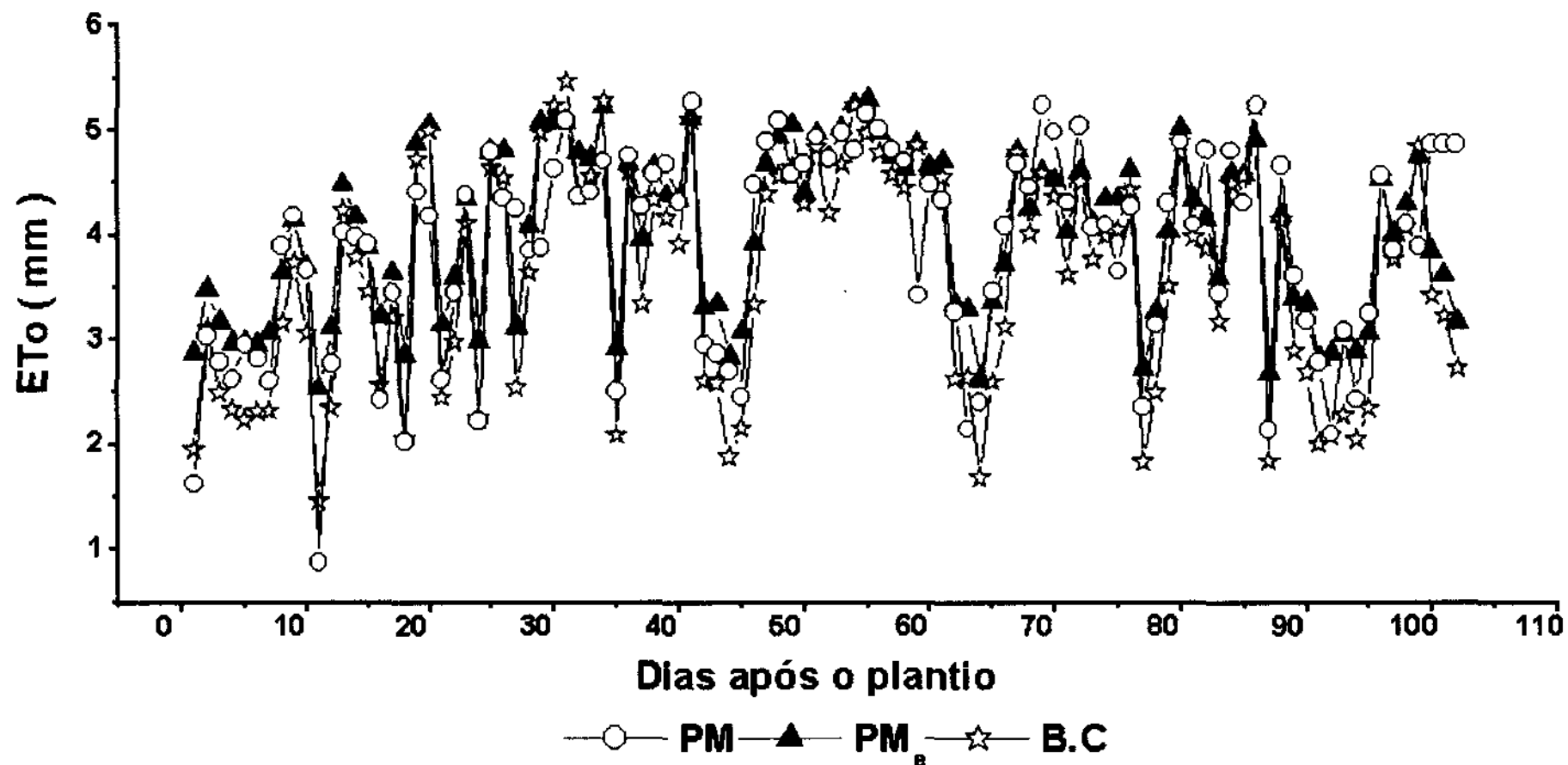


Figura 13 - Evapotranspiração de referência (ET_o) diária estimadas pelos métodos de Penman-Monteith padrão da FAO (PM), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e) e Blaney - Criddle (B.C), no período de 1° de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo-AL.

estimada pelo PM_e apresenta uma modéstia subestimativa. Como no período da pesquisa houve vários dias com baixos valores de R_n medidos, a ET_o calculada pelo método de Penman-Monteith com R_n estimado (410,64 mm) foi maior do que a determinada pelo padrão da FAO (396,66 mm). A evapotranspiração de referência média diária calculada pelo método PM_e foi 4,03 mm, com um mínimo de 2,65 mm em 11 de janeiro, máximo de 5,31 mm no dia 24 de fevereiro e uma amplitude de 2,66 mm.

O método de Blaney – Criddle, apesar de estar classificado entre os que se baseiam apenas na temperatura média do ar, envolve também variáveis que estão relacionadas com a aerodinâmica da atmosfera, como umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento. O fato desse modelo utilizar a UR de forma empiricamente direta, sem considerar as características físicas e biológicas da vegetação, induz a uma subestimativa da ET_o nos dias de chuva e altos índices de UR, visto que esse parâmetro é inversamente proporcional aos elementos meteorológicos mencionados. Por esse motivo, a evapotranspiração de referência estimada pelo modelo de Blaney – Criddle, durante o período do experimento (369,17 mm) foi a segunda mais baixa entre as estimadas pelos modelos avaliados neste estudo. A taxa de evapotranspiração mínima diária foi 1,47 mm, ocorrida em 11 de janeiro e a máxima de 5,48 mm dia⁻¹, em 31 de janeiro, com uma média de 3,62 mm dia⁻¹ e amplitude de 4,01 mm ao dia. O método de Penman, para determinação da evapotranspiração de referência diária tem como principal fator limitante a suposição da atmosfera neutra. Portanto, utiliza apenas um nível de obtenção das variáveis para solução das equações de transporte. É sabido que para curtos períodos de tempo o efeito da estabilidade sobre o transporte de vapor é aumentado e a média horizontal da velocidade do vento não pode descrever o transporte aerodinâmico da atmosfera (Santos et al., 1994).

Os valores diários de ET_o determinados pelo método de Penman com R_n estimado, foram maiores do que os calculados pelo método padrão da FAO, a princípio por dois motivos:

1 – Erros cometidos na estimativa do R_n , da mesma forma que acontece com os dados obtidos pela equação de Penman-Monteith com R_n estimado; e

2 – O fato de que no método de Penman o coeficiente psicrométrica (γ) da função do vento não leva em conta a resistência da cultura. Assim, na equação de Penman, $f(U) = \rho \cdot C_p / \gamma \lambda r_a$, onde ρ é a densidade do ar, C_p é o calor específico do ar e r_a é a resistência aerodinâmica. Já na equação de Penman-Monteith, no seu termo aerodinâmico a constante psicrométrica foi modificada para incluir a resistência da cultura (r_c) ao transporte de vapor

d'água, ficando $\gamma^* = \gamma (1 + r_c / r_a)$. Os valores da ET_o diária calculada pelo método de Penman com R_n estimado variou de 2,81 mm, em 11 de janeiro, a 5,98 mm em 3 de fevereiro, com uma amplitude de 3,17 mm. Durante os 102 dias observados, a evapotranspiração somou 459,89 mm, com uma média de 4,51 mm dia⁻¹. Esse modelo, dentre os analisados, foi o que apresentou maiores valores. Cunha (1989), trabalhando com arroz em Jaboticabal – SP, no período de dezembro a março, também observou que o modelo de Penman estimou uma ET_o média de 5,8 mm dia⁻¹ no ano agrícola 1987 / 1988 e 5,1 mm dia⁻¹ no ano agrícola 1988 / 1989, resultados esses maiores do que os estimados pelos métodos do Tanque Classe “A”, Linacre e Radiação da FAO.

O método de Penman com R_n medido, nos dias chuvosos com pouca energia disponível na camada de ar próxima à superfície, apresentou taxas de ET_o diárias muito semelhantes às estimadas pelo método de Penman–Monteith padrão da FAO. Já nos dias de céu claro e valores de R_n mais elevados, essas taxas foram maiores do que as determinadas pelo Penman com o saldo de radiação estimado e os calculados pelo padrão da FAO que também utiliza essa variável medida. Isso é justificado pelo fato do modelo de Penman não considerar a resistência da cultura em seu termo aerodinâmico.

O valor mínimo da ET_o , calculado pela equação de Penman com R_n medido foi de 1,00 mm no dia 11 de janeiro e o máximo foi 6,02 mm em 10 de fevereiro. O total no período da pesquisa foi 436,12 mm, a média diária foi 4,28 mm e a amplitude diária 5,02 mm. O dia em que ocorreu a maior taxa de evapotranspiração de referência estimada pelo modelo de Penman–Monteith padrão da FAO e pela equação de Penman com R_n medido, foi também o dia com maiores valores diários de R_n (17,85 MJ m⁻² e 16,86 MJ m⁻²). A variação da evapotranspiração de referência diária estimada pelos métodos de Penman–Monteith padrão da FAO, Penman com R_n estimado e medido, em todo período de observação, constam na Figura 14.

A evapotranspiração de referência obtida pelo modelo da Radiação Solar da FAO com R_g estimado é mais alta do que a calculada pelo método padrão da FAO (Figura 15), principalmente nos dias de céu claro com radiação solar global elevada, enquanto os valores de evapotranspiração encontrados a partir da R_g medida foram praticamente iguais aos calculados pelo padrão. Nos dias de R_g mais baixas os valores da ET_o , determinada pelo método da Radiação com essa variável estimada são aproximadamente iguais aos determinados pelo padrão da FAO e os determinados com a R_g medida foram bem inferiores.

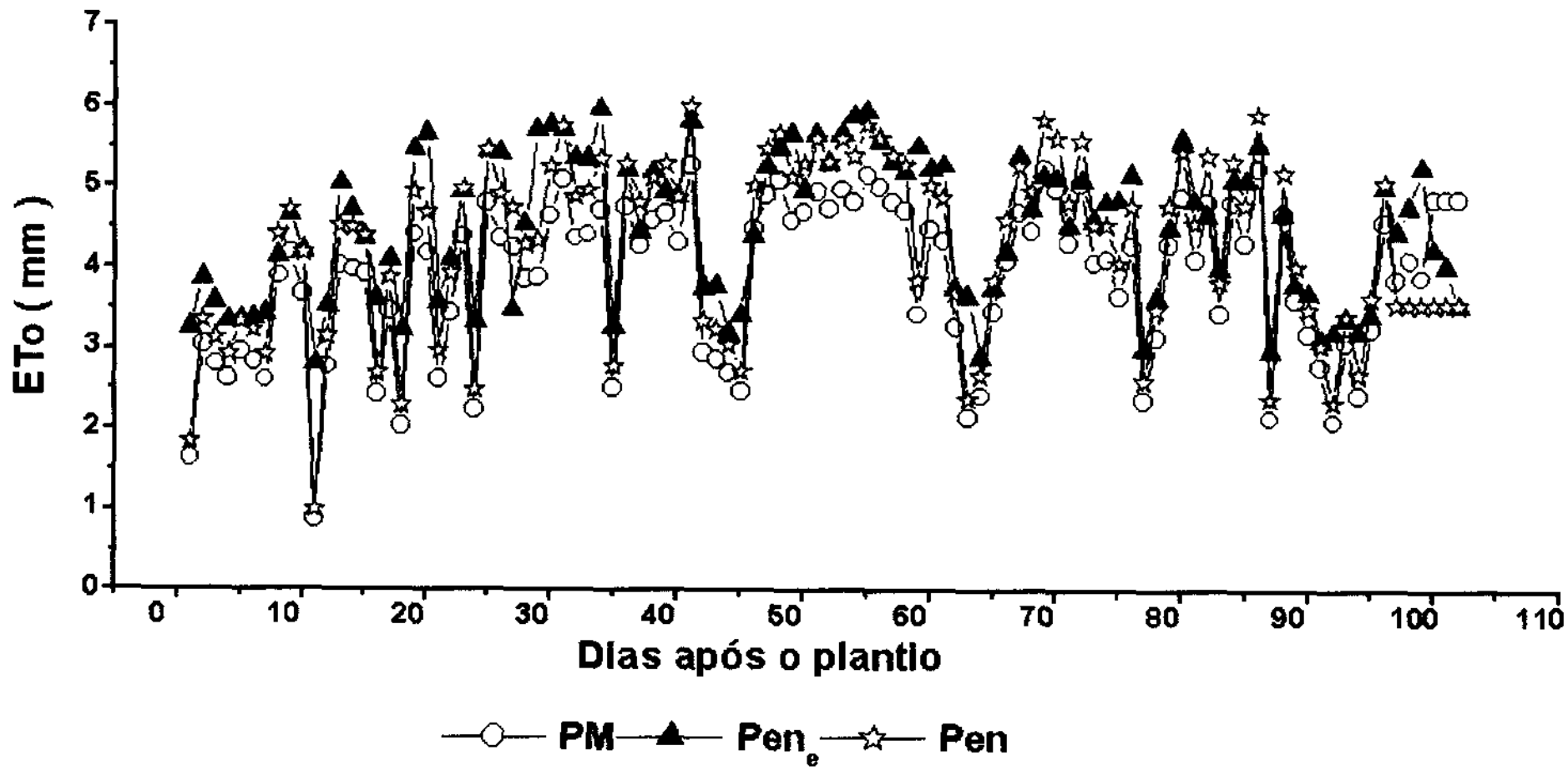


Figura 14 - Evapotranspiração de referência (ET_0) diária estimada pelos métodos de Penman - Monteith padrão da FAO (PM), Penman (1948) com R_n estimando (Pen_e) e com R_n medido (Pen), no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo - AL.

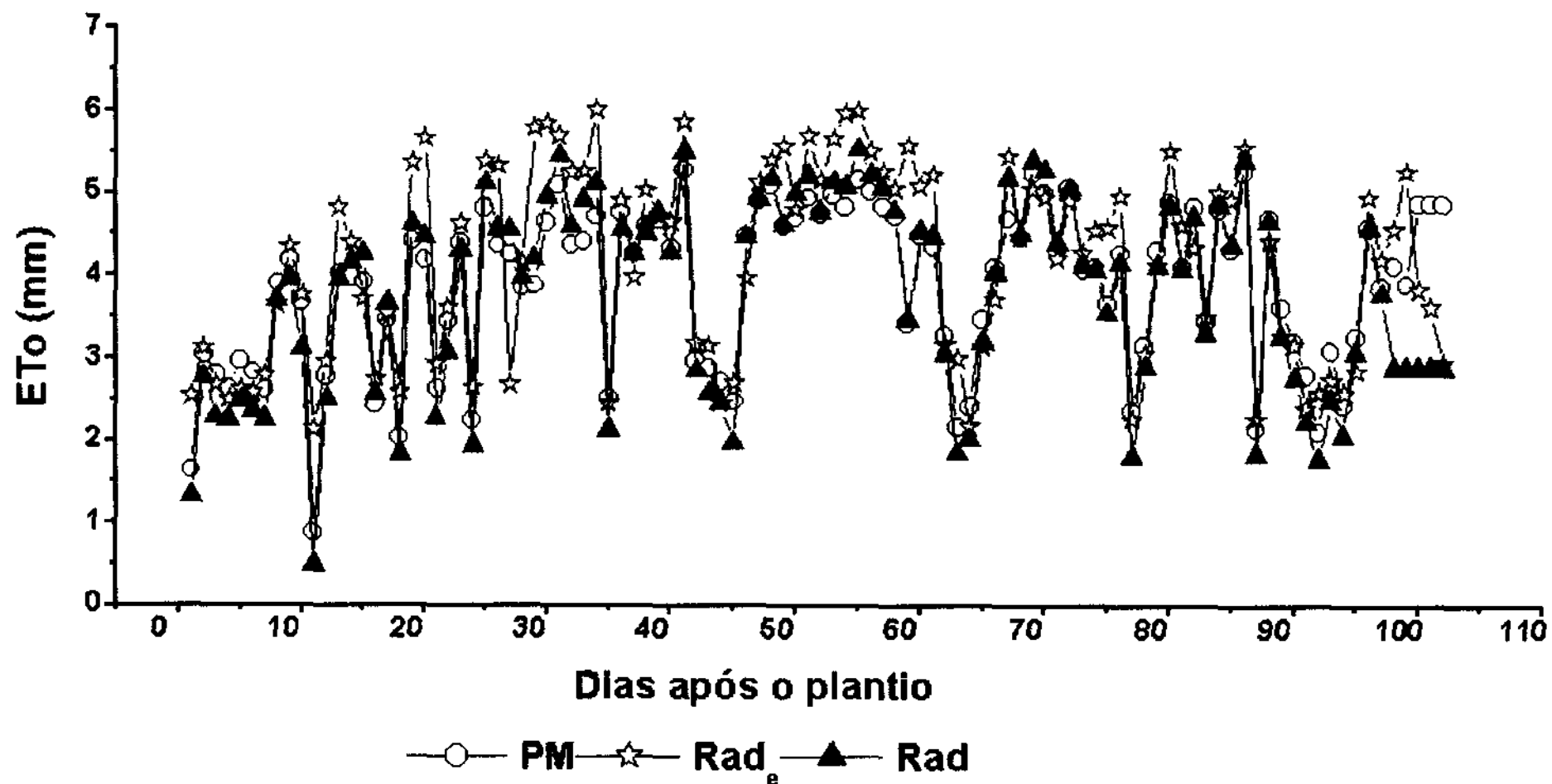


Figura 15 - Evapotranspiração de referência (ET_o) diária estimada pelos métodos de Penman - Monteith padrão da FAO (PM), Radiação solar da FAO com R_g estimada (Rad_e) e medida (Rad), no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002 na região de Rio Largo - AL.

As diferenças entre esses valores de ET_0 é explicada pelo motivo de que o modelo da radiação solar não considera as características aerodinâmicas nem fisiológicas da cobertura vegetal da área, que em função de outros elementos meteorológicos, como vento e temperatura, podem aumentar ou diminuir a taxa de evapotranspiração. A esse fato acrescentam-se, ainda, os erros cometidos nas estimativas da R_g .

A evapotranspiração de referência mínima diária encontrada pelo método da Radiação Solar com R_g estimada foi 2,14 mm no dia 11 de janeiro, a máxima de 6,02mm em 3 de fevereiro, e uma amplitude no período de 3,88 mm. A ET_0 total foi 423,56 mm e a média diária foi 4,15 mm. Esses valores quando estimados com base na R_g medida somaram apenas 383,19 mm, por causa do grande número de dias nublados e com pouca radiação solar. Por esse método o valor mínimo de 0,49 mm ocorreu em 11 de janeiro, o máximo de 5,54 mm em 24 de fevereiro, a média foi 3,76 mm dia⁻¹ e a amplitude do período foi 5,05 mm.

Os valores da evapotranspiração de referência máximos, mínimos, médios e totais obtidos pelos métodos avaliados nessa pesquisa encontram-se na Tabela 3. Na Tabela 2 dos anexos, por sua vez encontram-se os valores diários.

Tabela 03 – Valores máximo (Max.), mínimo (Mín.), número de dias após o plantio (DAP) em que ocorreu o respectivo valor, média e total da evapotranspiração de referência (ET_0), estimada pelos 9 métodos analisados nessa pesquisa, na região de RioLargo – AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002.

Métodos	ET ₀ (mm)					
	Max.	DAP	Mín.	DAP	Média	Total
Lin.	4,53	99	2,65	11	3,93	400,94
PM _c	5,31	55	2,54	11	4,03	410,64
PM	5,29	41	0,88	11	3,89	396,66
Pen _c	5,98	34	2,81	11	4,51	459,89
Pen.	6,02	41	1,00	11	4,28	436,12
C.A	6,96	50	0,17	*	3,71	326,64**
B.C	5,48	31	1,47	11	3,62	369,17
Rad _c	6,02	34	0,49	11	4,15	423,56
Rad.	5,54	55	2,14	11	3,76	383,19
Média	5,68		1,57		3,99	407,41

* Dias 61, 67, 79 e 86 após o plantio;

** Esse total corresponde a apenas 88 dias de observação

4.1.3 – Variação decendial

Na Figura 16 está representada a curva decendial da evapotranspiração de referência (ET_0) estimada pelo método de Penman-Monteith padrão da FAO comparada com as curvas obtidas pelos métodos: a) Linacre e Tanque Classe 'A'; b) Penman – Monteith com R_n estimado e Blaney – Criddle; c) Penman com R_n medido e com R_n estimado e d) Radiação da FAO com radiação solar global medida e estimada

Os valores decendiais da ET_0 determinados pela equação de Linacre foram mais altos do que os estimados pelo padrão da FAO nos dois primeiros decêndios porque nesse período a temperatura variou pouco, permanecendo elevada, enquanto o saldo de radiação (R_n) medido apresentou taxas mais baixas por conta das chuvas ocorridas e do aumento da nebulosidade. No sexto decêndio houve um declínio nas curvas da evapotranspiração estimada pelos dois métodos em discussão porque esse decêndio (último de fevereiro) tem apenas 8 dias, sendo que a calculada pelo padrão da FAO declinou menos do que a obtida pelo modelo de Linacre devido a um aumento nos valores do R_n medidos nesse período.

A curva decendial da evapotranspiração de referência determinada pelo método do Tanque Classe "A" foi superior a curva do padrão nos seis primeiros decêndios. Nos quatro últimos caiu bruscamente por conta do grande número de dias com chuva e erros de leitura que invalidaram os dados de evaporação observados em alguns dias, principalmente nos decêndios 7, 8 e 9 (Figura 16a).

Os valores decendiais da ET_0 , obtidos pelo método de Penman-Monteith com o R_n estimado, foram maiores do que os determinados pelo padrão nos três primeiros e no sexto decêndios porque o padrão da FAO utiliza dados de R_n medidos, os quais apresentaram baixos valores nesses decêndios e no mesmo período houve superestimativa nos cálculos do saldo de radiação. Nos demais decêndios estudados as taxas de evapotranspiração estimadas pelos métodos em análise foram semelhantes.

A evapotranspiração de referência decendial calculada pelo modelo de Blaney-Criddle foi inferior à determinada pelo padrão da FAO, principalmente nos decêndios com altos valores de saldo de radiação. Quando os valores de R_n diminuíram, como nos decêndios 2 e 3, a ET_0 estimada pelos modelos de Blaney-Criddle e padrão da FAO foram praticamente iguais. A Figura 16b apresenta as curvas decendiais da evapotranspiração estimada pelos métodos de Penman-Monteith padrão da FAO, Penman-Monteith com R_n estimado e Blaney-Criddle.

As curvas decendiais de ET_0 determinadas pelo modelo de Penman apresentaram variações semelhantes à obtida pelo método de Penman-Monteith padrão da FAO (Figura 16c). Mas pelo fato da equação de Penman em seu termo aerodinâmico não considerar a resistência da cultura ao transporte de vapor d'água, seus valores foram mais elevados, principalmente a curva e os valores determinados pelo modelo de Penman com o saldo de radiação estimado que têm mais uma fonte de erro na estimativa do R_n .

O método da radiação solar da FAO, nesse estudo, apresentou dados decendiais de evapotranspiração de referência praticamente iguais aos determinados pelo modelo padrão, exceto no primeiro e último decêndios, quando ocorreram os menores valores de radiação solar global medidos (Figura 16d). Essa eficiência do método da radiação pode ser atribuída ao fato de que mesmo não sendo considerado um método combinado, ele baseia-se também na umidade relativa do ar e velocidade do vento que são elementos meteorológicos de altas correlações com a dinâmica da atmosfera e que exercem grandes influências nas taxas de evapotranspiração. Contudo, quando a ET_0 foi calculada pelo método da radiação utilizando os dados da R_g estimados, o modelo em análise apresentou valores decendiais maiores do que o padrão, por conta dos erros embutidos na estimativa da R_g .

A evapotranspiração de referência decendial pelos métodos de Linacre, Penman-Monteith com R_n estimado, Penman-Monteith com R_n medido – Padrão da FAO, Penman com R_n estimado, Penman com R_n medido, Tanque Classe “A”, Blaney-Criddle, Radiação da FAO com radiação solar global (R_g) estimado, Radiação da FAO com R_g medido e a média obtida por todos métodos analisados, consta na Tabela 4

4.1.4 – Variação por fase fenológica da cultura

As curvas da evapotranspiração de referência (ET_0) por fase fenológica da cultura do milho estimada pelos métodos Penman-Monteith com R_n medido padrão da FAO, Linacre, Tanque Classe “A”, Penman-Monteith com R_n estimado, Blaney-Criddle, Penman com R_n medido, Penman com R_n estimado, Radiação da FAO com R_g estimada e Radiação da FAO com R_g medida, são apresentadas na Figura 17. Essas curvas apresentaram variações semelhantes, sendo que a magnitude das taxas de ET_0 estimadas por alguns métodos foram diferentes, principalmente nas fases 2, 3, 4, 5 e 10.

O modelo do Tanque Classe “A” apresentou valores maiores do que o padrão da FAO na 2ª, 3ª, 4ª e 5ª fase e menor na última fase, enquanto o método de Linacre (Figura 17a)

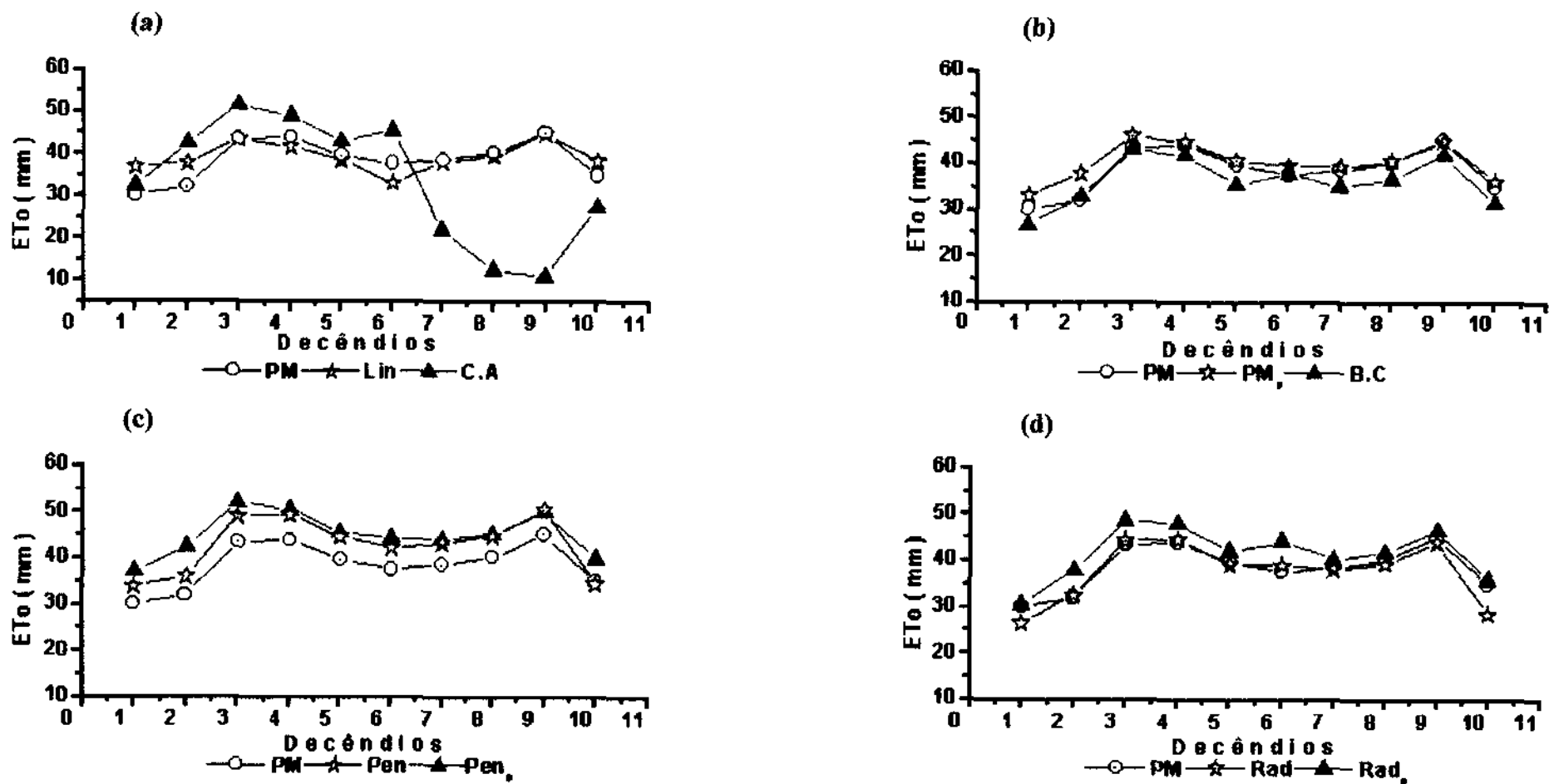


Figura 16 – Variações decenais da evapotranspiração de referência (ETo), na região de Rio Largo – AL, no período de 01/jan a 12/abr de 2002, estimadas pelos métodos: a) Penman – Monteith com R_n medido, padrão da FAO (PM), Linacre (Lin) e Tanque Classe ‘A’ (C.A); b) (PM), Penman – Monteith com R_n estimado (PM_e) e Blaney – Criddle (B-C); c) (PM), Penman com R_n medido (Pen) e Penman com R_n estimado (Pen_e) e d) (PM), Radiação – FAO com R_g medido (Rad) e Radiação – FAO com R_g estimado (Rad_e).

Tabela 4 -Valores decendiais da evapotranspiração de referência (ET_0) na região de Rio Largo -AL, no período de 01/jan a 12/abr de 2002, estimados pelos métodos de : Linacre (Lin.), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e), Penman-Monteith com R_n medido - padrão da FAO (PM), Penman com R_n estimado (Pen_e), Penman com R_n medido (Pen.), Tanque classe "A" (C.A), Blaney-Criddle (B-C), Radiação com R_g estimado (Rad_e), Radiação com R_g medido (Rad), e média.

Decêndio	Lin,	PM_e	PM	Pen_e	Pen	C,A	B-C	Rad_e	Rad	Média
mm										
1	36,89	33,03	30,26	37,22	34,05	32,38	26,79	30,57	26,52	31,97
2	37,64	37,94	32,12	42,59	36,09	42,67	32,93	37,96	32,53	36,94
3	43,57	46,24	43,65	52,14	49,21	51,83	42,96	48,75	44,43	46,98
4	41,81	44,94	44,00	50,59	49,49	49,16	41,86	48,20	44,69	46,08
5	38,54	40,66	39,77	45,66	44,65	43,00	35,44	42,10	39,29	41,01
6	33,11	39,64	37,74	44,49	42,33	45,50	37,85	44,27	39,10	40,45
7	38,22	39,47	38,69	44,15	43,28	-	35,26	40,52	38,27	37,77
8	39,49	40,75	40,34	45,33	44,90	-	36,67	41,94	39,51	37,94
9	44,90	44,93	45,31	50,03	50,48	-	41,88	46,65	44,09	42,13
10	38,44	36,22	35,04	40,10	34,51	-	31,54	36,01	28,66	34,22
Total	392,61	403,82	386,90	452,31	429,00	326,64	363,19	416,99	377,11	395,50

superestimou um pouco a ET_0 apenas na fase 1 e subestimou-a na quatro. Os dados da evapotranspiração na 7^a, 8^a e 9^a fases calculados pelo método do Tanque Classe "A" foram descartados por conta dos erros cometidos nas leituras de evaporação diárias.

Na Figura 17b observa-se que o modelo de Penman-Monteith com o saldo de radiação estimado, quando comparado com o padrão da FAO, superestimou levemente os resultados apenas nas fases 2 e 3. O método de Blaney-Criddle apresentou uma pequena subestimativa somente na quarta e última fase. Em geral, os resultados obtidos por esses três métodos podem ser considerados equivalentes.

Os resultados da evapotranspiração de referência calculados pelo método de Penman com os dados de R_n medidos e estimados foram superiores aos resultados obtidos através do modelo padrão da FAO apenas no intervalo da 2^a a 5^a fase (Figura 17c). Nas fases 2 e 3 os valores da ET_0 obtidos pela equação de Penman com o saldo de radiação estimado, devido a erros inerentes aos cálculos do R_n , foram maiores do que os obtidos pela equação de Penman com R_n medido. As diferenças ocorridas nos valores da evapotranspiração obtidos pelos métodos em discussão são atribuídas principalmente a não inclusão da resistência da

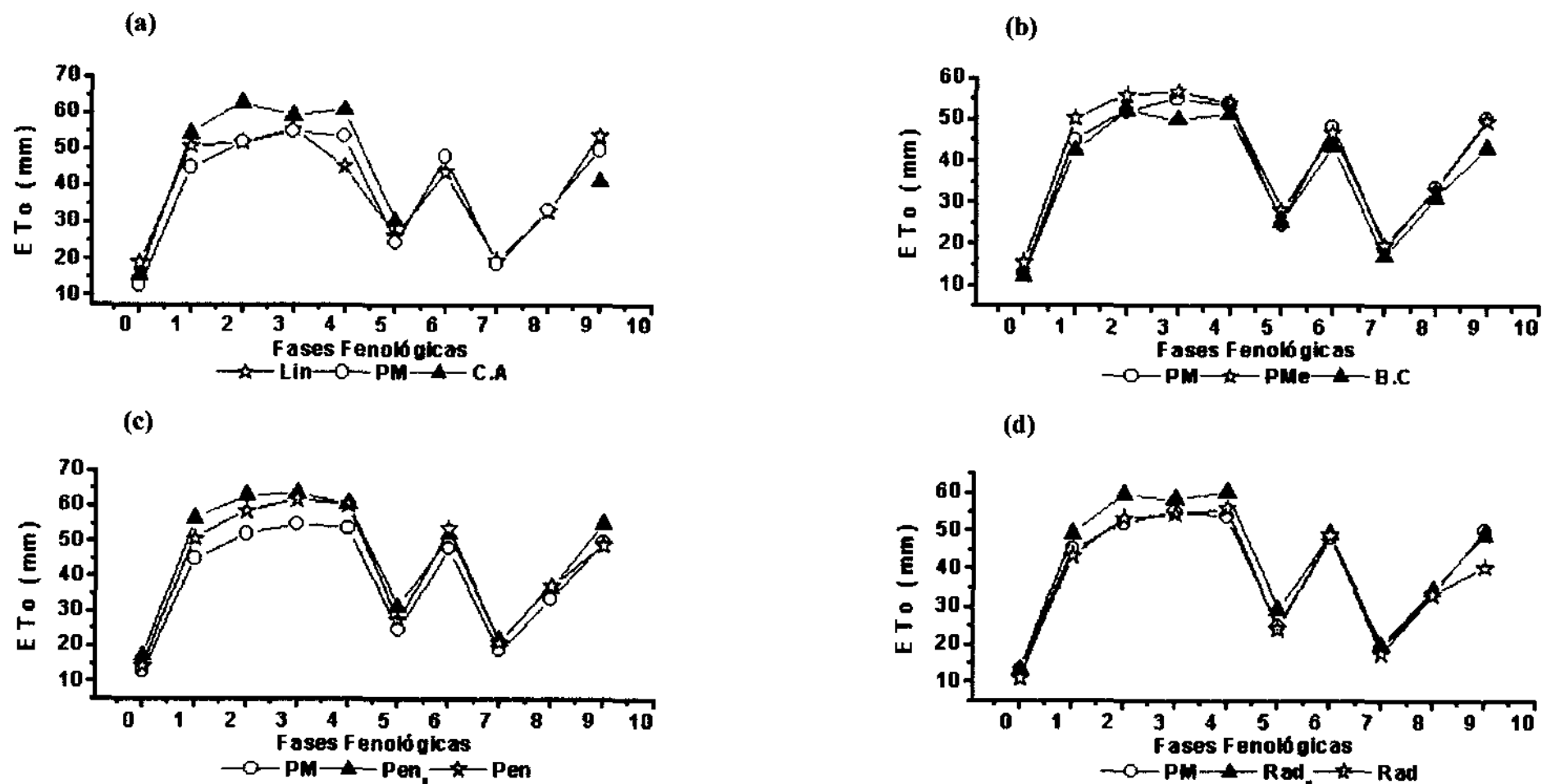


Figura 17 – Variações da evapotranspiração de referência (ET_o), por fases fenológicas da cultura do milho na região de Rio Largo – AL, no período de 01/jan a 12/abr de 2002, estimadas pelos métodos: a) Penman – Monteith com R_n medido, padrão da FAO (PM), Linacre (Lin) e Tanque Classe ‘A’ (C.A); b) (PM), Penman–Monteith com R_n estimado (PM_e) e Blaney–Criddle (B-C); c) (PM), Penman com R_n medido (Pen_m) e Penman com R_n estimado (Pen_e) e d) (PM), Radiação–FAO com R_g medido (Rad_m) e Radiação – FAO com R_g estimado (Rad_e).

cultura nos cálculos do termo aerodinâmico do método de Penman e esses desvios são aumentados quando se utilizam saldos de radiação estimados.

O método da radiação solar da FAO (Figura 17d) para determinar a evapotranspiração de referência com dados de radiação solar global medida só apresentou um valor abaixo do determinado pelo modelo padrão na última fase. No restante do período os resultados obtidos pelos dois métodos foram praticamente iguais. Mas, quando foram utilizados valores de R_g estimados, as taxas da ET_o obtidas pelo método da radiação da 2ª a 5ª fase, foram maiores do que as obtidas pelo padrão. Essas diferenças são conseqüências dos erros cometidos na estimativa da R_g . As semelhanças nas variações das curvas determinadas pelos métodos analisados e suas concordâncias por fase fenológicas, foram maiores do que para períodos decendiais. Isso é atribuído à duração das fases fenológicas da cultura do milho que nesse experimento foram superiores a 10 dias, exceto as fases 5, 7 e 8 que duraram respectivamente 7, 5 e 8 dias. Os baixos valores da ET_o na primeira fase da cultura (do dia 5 a 19 de janeiro), foram conseqüências das fortes chuvas que ocorreram nesse período. A Tabela 5 apresenta os valores da evapotranspiração de referência por fase fenológica da cultura do milho calculados pelos diferentes métodos e a média.

4.1.5 – Análise de concordância dos resultados

O método de ET_o diária que apresentou o menor erro (rmqd) foi o da radiação solar da FAO com R_g medida (0,37 mm), seguido do Penman-Monteith com R_n estimado (0,49 mm) e Penman com R_n medido (0,50 mm) (Tabela 6). O maior erro foi cometido pelo modelo do Tanque Classe “A” (1,98 mm) seguido do Penman com R_n estimado (0,80 mm). Esses resultados mostram que nos métodos em que são utilizados dados de R_n e R_g estimados, assim como os métodos empíricos, estão sujeitos a cometerem maiores erros na estimativa da evapotranspiração calculada em curtos períodos (hora e dia), principalmente quando esses métodos não são ajustados às características climáticas locais. Os melhores índices de concordância “d” da ET_o diária foram obtidos pelo método da Radiação com R_g medida (0,97) e o de Penman com R_n medido (0,95), seguidos do Blaney-Cridle (0,93) e do Penman-Monteith com R_n estimado (0,92). Os piores foram o do Tanque Classe “A” (0,44), o de Linacre (0,71) e o de Penman com R_n estimado (0,83). O método de Blaney-Cridle apresentou um erro maior do que o método de Penman-Monteith com R_n estimado, mas o

seu índice de concordância foi melhor porque a curva da ET_o obtida pelo método de Blaney-Criddle apresentou variação muito semelhante à curva obtida pelo padrão da FAO.

Tabela 5 - Valores da evapotranspiração de referência (ET_o), por fase fenológica da cultura do milho na região de Rio Largo –AL, no período de 01/jan a 12/abr de 2002, estimados pelos métodos de : Linacre (Lin.), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e), Penman-Monteith com R_n medido - padrão da FAO (PM), Penman com R_n estimado (Pen_e), Penman com R_n medido ($Pen.$), Tanque classe “A” (C.A), Blaney-Criddle (B-C), Radiação com R_g estimada (Rad_e), Radiação com R_g medida (Rad), e média.

Fase fenológica	Duração (dias)	mm									
		Lin.	PM_e	PM	Pen_e	Pen	C,A	B-C	Rad_e	Rad	Média
0	5	19,22	15,52	13,05	17,41	14,57	15,68	12,16	13,46	11,11	14,69
1	14	51,10	50,39	45,14	56,72	50,87	54,50	42,55	49,40	43,47	49,35
2	13	51,96	56,11	52,21	63,19	58,79	62,99	52,35	59,67	53,51	56,75
3	14	55,72	56,67	55,13	63,78	62,01	59,50	50,13	58,40	54,43	57,31
4	11	45,39	54,24	53,85	60,87	60,43	60,97	51,31	60,27	55,79	55,90
5	7	26,56	28,19	24,84	31,60	27,84	30,75	25,43	29,32	24,20	27,64
6	11	43,97	46,87	48,23	52,28	53,81	-	43,53	49,35	48,85	48,36
7	5	19,84	19,73	19,02	21,93	21,15	-	17,20	19,97	17,85	19,59
8	8	33,18	33,11	33,59	36,93	37,49	-	31,38	34,67	33,22	34,20
9	14	53,99	49,81	50,20	55,17	49,17	41,50	43,12	49,04	40,47	48,05
Total		400,94	410,64	395,25	459,89	436,12	326,64	369,17	423,56	382,89	411,83

Os índices de concordância “d” dos resultados decendiais obtidos pelos métodos de Penman-Monteith com R_n estimado e o de Linacre aumentaram respectivamente, de 0,92 e 0,71 para 0,93 e 0,80. Isso normalmente acontece devido aos erros serem alternados, ora para mais ora para menos, de modo que a integração das taxas de ET_o em períodos superiores a 1 dia atenua as diferenças e melhora a concordância estatística. Contudo, os valores de “d” dos demais métodos diminuíram porque quando os erros são sempre para mais ou para menos, as diferenças são ampliadas pela integração das taxas de evapotranspiração. Isso foi o que aconteceu com os dados do Tanque Classe “A” que nos 4 últimos decêndios os valores da ET_o ficaram muito abaixo do padrão e nos seis primeiros foram um pouco mais elevados. Os melhores índices de concordância decendiais foi com o modelo da Radiação Solar com R_g medida, Penman-Monteith com R_n estimado e Blaney-Criddle; 0,95, 0,93 e 0,91, respectivamente. E a menor concordância foi a da equação de Penman (1948) com R_n estimado (0,67), seguido do Tanque Classe “A” (0,72). Os maiores erros decendiais foram os

da equação de Penman com R_n estimado (6,76 mm) e do Tanque Classe "A" (5,29 mm), e os menores foram os do modelo de Penman-Monteith com R_n estimado (2,36 mm) e o da radiação com R_g medido (2,46 mm).

As taxas de evapotranspiração de referência por fase fenológica da cultura, obtidas pelos métodos analisados e comparadas com as taxas estimadas pelo modelo de Penman-Monteith padrão da FAO, apresentaram índices de concordância estatística que variaram de 0,95 a 0,99. Isso confirma a hipótese de que quanto maior for o período de estimativa da evapotranspiração maior é a concordância entre os resultados conseguidos pelos diferentes métodos. A maior concordância "d" de 0,99 foi conseguida pelos métodos de Penman-Monteith com R_n estimado, Blaney-Cridle e Radiação da FAO com R_g medida. O menor índice (0,95) foi aferido pelos métodos de Penman com R_n estimado e Tanque Classe "A". Os demais métodos obtiveram uma concordância de 0,98. O método que apresentou o menor erro (rmqd) na estimativa da ET_o por fase de desenvolvimento da cultura foi o Penman-Monteith com R_n estimado (2,56 mm), seguido do Radiação da FAO com R_g medido (3,31 mm) e o maior erro foi cometido pelo modelo de Penman com R_n estimado (7,10 mm), seguido do Tanque Classe "A" (6,25 mm).

Tabela 6 - Valores diários, decendiais e por fase fenológica, da cultura do milho, da raiz média quadrática das diferenças (rmqd) e concordância ("d") de Willmott (1984) dos métodos de Linacre (Lin.), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_c), Penman-Monteith com R_n medido - padrão da FAO (PM), Penman com R_n estimado (Pen_c), Penman com R_n medido (Pen), Tanque classe "A" (C.A), Blaney-Cridle (B-C), Radiação com R_g estimado (Rad_c) e com R_g medido (Rad), na região de Rio Largo-AL no período de 01/jan a 12/abr de 2002.

Métodos de ET_o	Concordância (diária)		Concordância (decendial)		Concordância (fase)	
	Rmqd (mm)	"d"	Rmqd (mm)	"d"	Rmqd (mm)	"d"
Média X Padrão	0,44	0,94	2,30	0,94	2,51	0,99
PM_c X Padrão	0,49	0,92	2,36	0,93	2,56	0,99
Lin X Padrão	0,71	0,71	3,39	0,80	4,26	0,98
Pen_c X Padrão	0,80	0,83	6,76	0,67	7,10	0,95
Pen X Padrão	0,50	0,95	4,53	0,84	4,80	0,98
C, A X Padrão	1,98	0,44	6,84	0,72	7,48	0,95
B -C X Padrão	0,55	0,93	2,93	0,91	3,46	0,99
Rad_c X Padrão	0,64	0,91	3,67	0,88	3,88	0,98
Rad X Padrão	0,37	0,97	2,46	0,95	3,31	0,99

4.2 – Crescimento e desenvolvimento da cultura

O desenvolvimento da cultura foi avaliado em função das fases fenológicas e das necessidades térmicas por fase e total durante o ciclo de produção do milho. Paralelamente, também foi analisado o crescimento das plantas com base na altura (L), índice de área foliar (IAF) e quantidade de matéria seca da parte aérea (MS).

A produtividade da cultura foi de 5,0 toneladas ha^{-1} . Com relação a produtividade de outras regiões Brasileiras produtoras de milho, como Sudeste e Centro Oeste, essa produtividade é baixa. Mas, em comparação com a média do Estado de Alagoas (0,46 toneladas ha^{-1}) é considerada alta. A produtividade média da variedade BR 106 no Estado de Alagoas é de 2,50 t ha^{-1} , na Bahia e Pernambuco é 3,30 e 4,60 t ha^{-1} , respectivamente (Carvalho et al., 1996).

4.2.1 – Necessidades térmicas

A Figura 18 apresenta as necessidades térmicas, em termos de graus dia (GD), em função das fases fenológicas ou de desenvolvimento da cultura do milho BR 106 na região de Rio Largo – AL, cultivado no período de 1º de janeiro a 22 de abril de 2002. Observa-se que o milho durante o ciclo total, do semente à maturação fisiológica, utilizou em média 1.693 GD. Barreto et al (2001), trabalhando com a mesma variedade e na mesma localidade, no período de junho a setembro de 2000, estimaram uma necessidade térmica média de 1.522 GD durante todo o ciclo de produção do milho. A necessidade térmica encontrada por Barreto et al. (2001) corresponde a 90% da observada no trabalho em discussão.

Para o milho alcançar a maturação fisiológica no período de janeiro a abril, passaram-se apenas 107 dias depois da emergência e devido a época em que Barreto et al (2000) realizaram seu experimento (inverno, período de menos energia solar, associado a baixa temperatura e alta frequência de dias chuvosos) foram precisos 115 dias após a emergência.

Durante a fase vegetativa, que termina com o início da emissão do pendão (4ª fase fenológica), foram contabilizados 862 GD. Na região de Teresina – PI e Parnaíba – PI para o

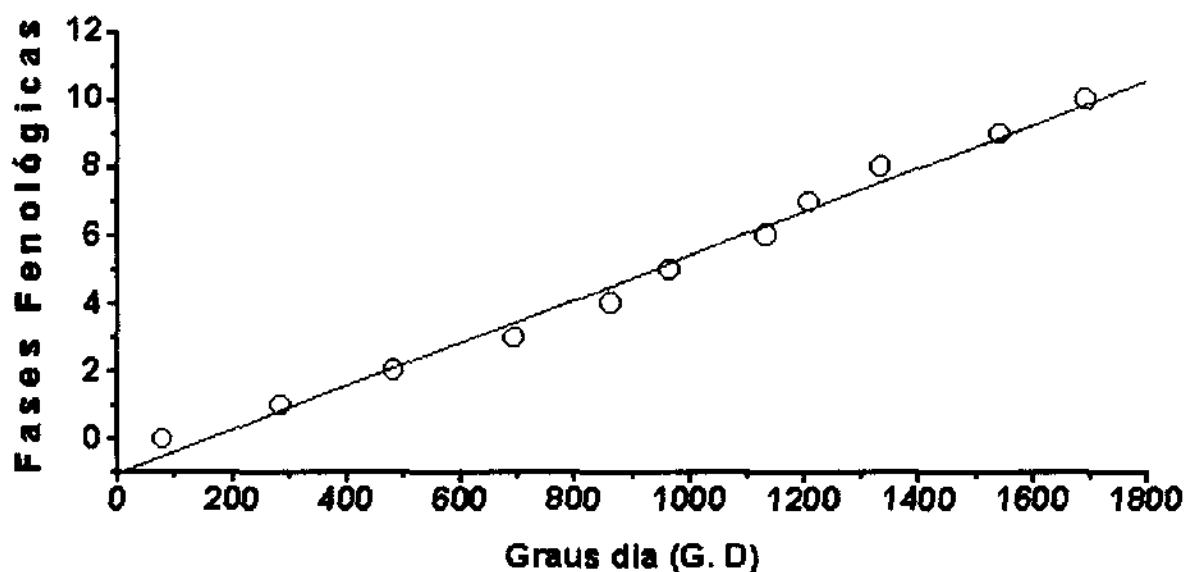


Figura 18 - Necessidades térmicas, em termos de graus dia (GD), em função das fases fenológicas ou fases de desenvolvimento da cultura do milho BR 106 na região de Rio Largo – AL, no período de 1º de janeiro a 22 de abril de 2002.

milho BR 106 chegar a 50% do florescimento masculino (pendoamento) necessita, respectivamente, de 807 e 842 GD (Cardoso et al., 2001).

A fase fenológica de maior necessidade térmica foi a 3ª (12 folhas) que durante 14 dias utilizou 211 GD, seguida das fases 1 (4folhas) e grão duro, ambas tiveram 14 dias de duração e necessitaram de 208 GD. As fases de desenvolvimento grão pastoso e emergência levaram 5 dias para serem completadas e necessitaram, respectivamente, de 77 e 78 GD sendo, portanto, as mais curtas e de menores necessidades térmicas. Outros detalhes do desenvolvimento e crescimento da cultura são apresentados na Tabela 7.

4.2.2 – Altura das plantas (L)

A altura das plantas de milho aumenta de duas formas. Primeiro pelo surgimento de novos conjuntos de nó mais entre nó, no colmo, e depois pelo alongamento do referido caule. A maior taxa de crescimento das plantas, no que se refere a altura, aconteceu nos primeiros 52 dias depois do plantio, por ocasião da quarta fase fenológica (emissão do pendão), quando as mesmas atingiram uma altura média de 2,33 m. Após esse período as plantas ainda continuaram crescendo até alcançarem o máximo de 2,72 m aos 97 dias depois

do plantio. A redução na taxa crescimento (altura) após o pendramento acontece porque a partir desse momento não há mais surgimento de novos conjuntos de nó mais entre nó, no colmo, então as plantas continuam crescendo apenas pelo alongamento do caule. A Figura 19, mostra as curvas da altura média das plantas (L) e do índice de área foliar (IAF), nas fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo – AL, no período de janeiro a abril de 2002.

Tabela 7 - Data de ocorrência dos estádios fenológicos (data, dia Juliano e dias após a emergência - DAE), Tempo para ocorrência de estádios fenológicos (t), altura média das plantas (L), índice de área foliar (IAF), matéria seca acumulada (MS) e necessidades térmicas em graus dias (GD) por fase de desenvolvimento e acumulada, da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo–AL, cultivada no período de janeiro a abril de 2002.

Estádios Fenológicos	Data	Dia juliano	Dias após a emergên.	t (dias)	L (m)	IAF	MS (g)	GD / fase	GD Acum.
Plantio	01/jan	1	-	-	-	-	-	-	-
0 - Emergência	05/jan	5	0	5	-	-	-	78	78
1 -4 folhas	19/jan	19	14	14	0,21	0,07	1,16	208	286
2 -8 folhas	01/fev	32	27	13	0,72	1,54	12,22	196	482
3 -12 folhas	15/fev	46	41	14	1,66	3,77	67,27	211	693
4 -Emissão do pendão	26/fev	57	52	11	2,23	4,51	119,26	169	862
5 -Polinização	05/mar	64	59	7	2,44	4,30	147,14	104	966
6 -Grão leitoso	16-mar	75	70	11	2,54	3,15	179,34	166	1132
7 -Grão pastoso	21-mar	80	75	5	2,60	2,48	190,06	77	1209
8 -Formação de dentes	29-mar	88	83	8	2,66	1,66	205,52	124	1333
9 -Grão duro	12-abr	102	97	14	2,72	1,24	226,00	208	1541
10 -Matura fisiológica	22-abr	112	107	10	-	-	-	152	1693

4.2.3 – Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar na primeira fase de desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentavam 4 folhas expandidas foi de 0,07 e aumentou proporcionalmente com a altura das plantas até atingir um máximo de 4,51 aos 52 dias após a emergência, na fase de emissão do pendão (Figura 19). Em seguida, a altura das plantas continuou aumentando num ritmo menos acelerado e o IAF, devido a senescência das folhas mais velhas, começou a diminuir até um valor de 1,24 aos 97 dias após a emergência, na 9ª fase de desenvolvimento da cultura (grão duro)

O híbrido SAVE-342, em Eldorado do Sul – RS, com uma população de 50.000 plantas ha^{-1} apresentou um IAF máximo de 3,15 aos 62 dias após a emergência (Cunha, 1988). Radin (1998) fez quatro cultivos de milho irrigado com o híbrido PIONER 3230 numa população de 66.600 plantas ha^{-1} , também na região de Eldorado do Sul – RS, e observou que o IAF máximo variou de 4,73 a 6,03, uma média de 5,38. Dale et al. (1980) desenvolveram um modelo para prever o índice de área foliar do milho, com base nos graus-dia acumulados e estimaram que para uma população igual a desse experimento em discussão (70.000 plantas ha^{-1}) o IAF máximo seria em torno de 4,8.

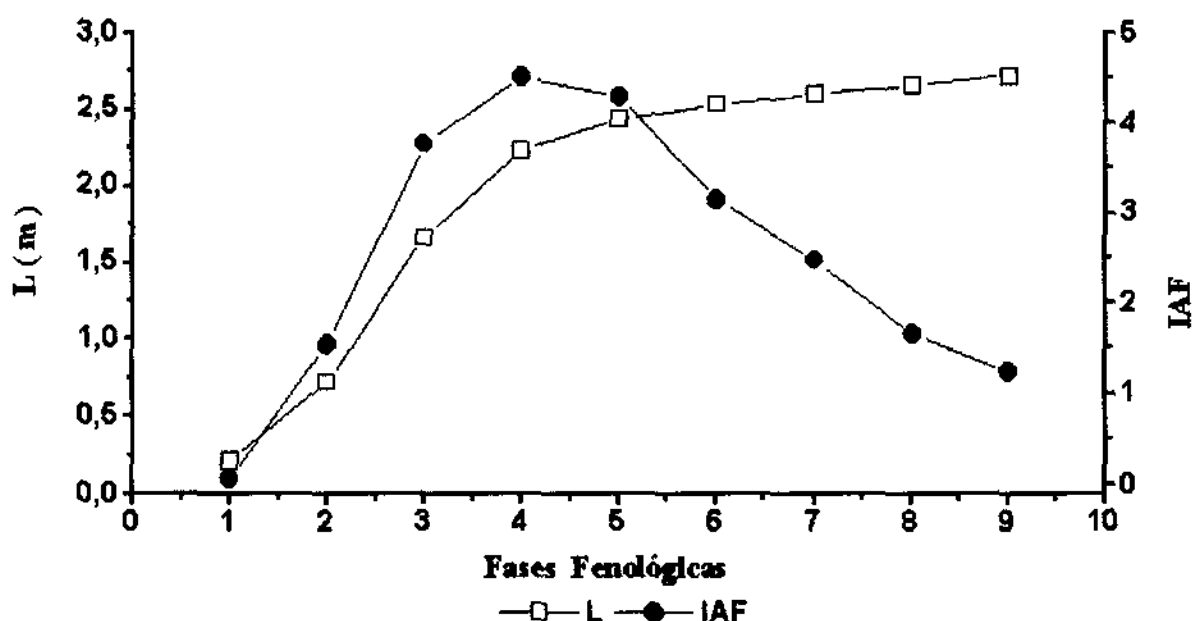


Figura 19 - Variações da altura média das plantas (L) e do índice de área foliar (IAF), nas fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo-AL, cultivado no período de janeiro a abril de 2002.

4.2.4 – Matéria seca (MS)

A Figura 20 mostra as curva da matéria seca total da parte aérea das plantas e a altura das mesmas nas fases fenológicas da cultura do milho. Observa-se que a MS total aumenta linearmente com a altura das plantas até atingir um valor máximo de 226,0 g/planta na fase de grãos duro (penúltima fase do ciclo produtivo). Para uma população de 70.000

plantas/hectare, isso corresponde a uma produção de 15.800 kg de matéria seca por hectare. Esse resultado está dentro da faixa encontrada por Eduardo et. al. (2000), de 15.000 a 20.000 Kg de matéria seca por hectare quando fez variar o espaçamento de 1,00m a 0,55m entre linhas Ramos e Mundstock (1986), trabalhando com três híbridos encontraram uma massa seca máxima de 311 g/planta aos 56 dias após o espigamento.

Na Figura 21 são apresentadas as curvas de MS e IAF, ao longo do ciclo da cultura, onde observa-se as relações entre essas curvas são semelhantes as relações entre o IAF e L da Figura 19.

4.3 – Resistências à transferência de vapor d'água para a atmosfera

4.3.1 – Resistência aerodinâmica

A resistência aerodinâmica, estimada pela expressão apresentada por Allen et. al. (1989) em função da altura das plantas e da velocidade do vento (r_{a1}), durante o ciclo total da cultura, variou de 151 s m^{-1} aos 19 dias após a emergência (DAE) a $35,01 \text{ s m}^{-1}$ aos 81 DAE (Figura 22) Nos primeiros 25 DAE, quando as plantas tinham menos de 0,70 m de altura, a r_{a1} ficou na faixa de 80 s m^{-1} (24 DAE) a 151 s m^{-1} (19 DAE), variando em função da velocidade do vento que no dia 24 após a emergência teve uma média de $1,49 \text{ m s}^{-1}$ e aos 19 DAE $0,99 \text{ m s}^{-1}$ (quanto menor o vento maior a resistência aerodinâmica). Com o crescimento da cultura, depois dos 25 DAE, a r_{a1} diminuiu rapidamente para a faixa de 35 s m^{-1} a 71 s m^{-1} nos dias 81 e 85 após a emergência, respectivamente. Essa diminuição no valor da r_{a1} aos 25 DAE é consequência do aumento da altura das plantas. Para cana-de-açúcar, na região de Pilar AL Santos (2001) encontrou uma resistência aerodinâmica (r_a) de $85,5 \text{ s m}^{-1}$ e com o aumento da altura do dossel vegetativo a resistência aerodinâmica caiu para a ordem de 30 s m^{-1} Oke (1978) apud Santos (2001) também encontrou uma r_a média de 30 s m^{-1} para alguns cultivos agrícolas.

A resistência aerodinâmica obtida pela fórmula original de Penman (r_{a2}), ao longo do ciclo da cultura, variou de $117,32 \text{ s m}^{-1}$ aos 29 DAE a $175,62 \text{ s m}^{-1}$ aos 85 DAE. A variação nos valores da r_{a2} seguiram apenas a variação da velocidade do vento por ser o único parâmetro meteorológico utilizado na fórmula em discussão. De modo que, durante o período

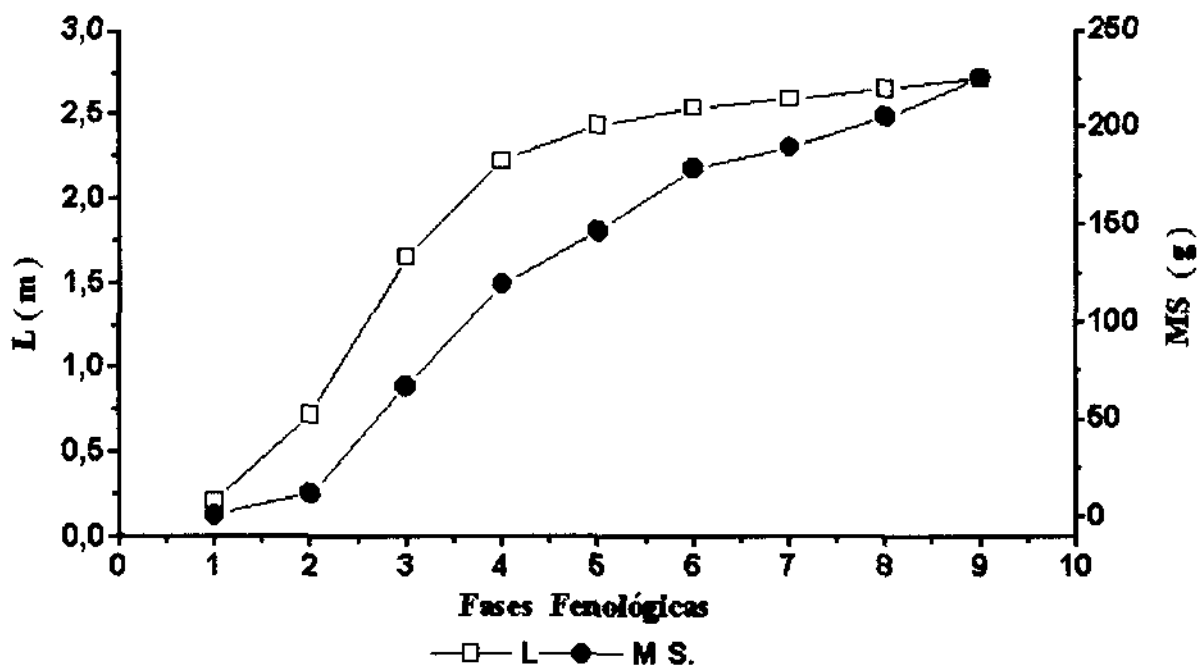


Figura 20 - Variações da matéria seca (MS) na parte aérea e a altura das plantas (L) nas fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo - AL, cultivado no período de janeiro a abril de 2002.

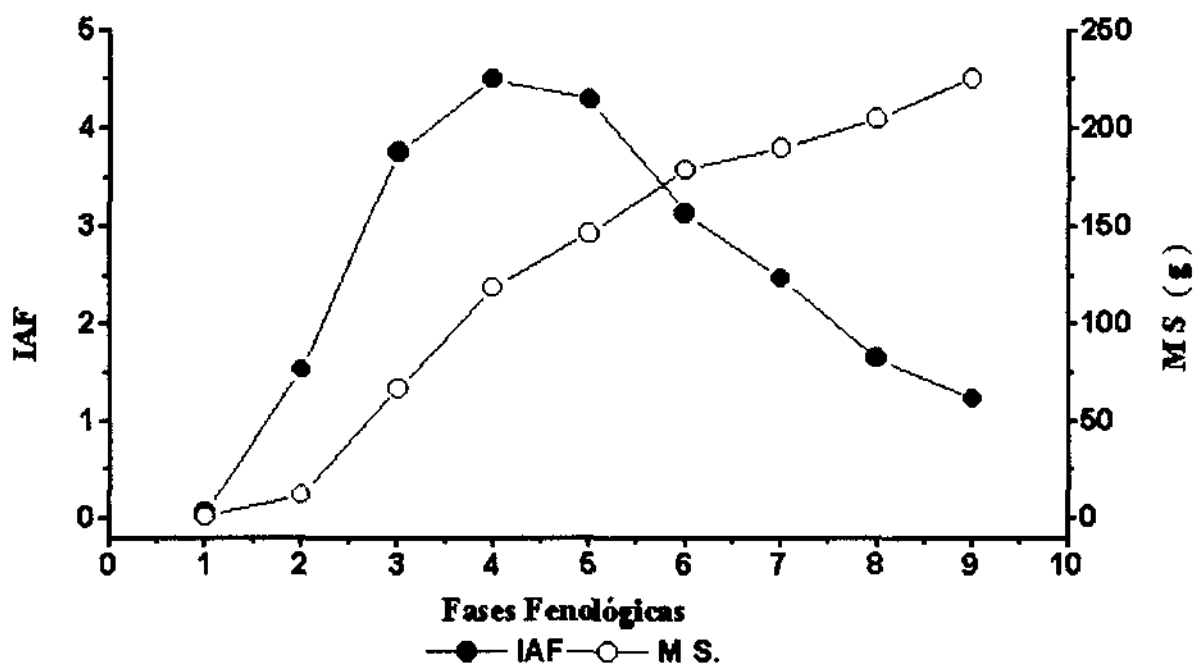


Figura 21 - Variações do índice de área foliar (IAF) e da matéria seca (MS) em função das fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo-AL, cultivado no período de janeiro a abril de 2002.

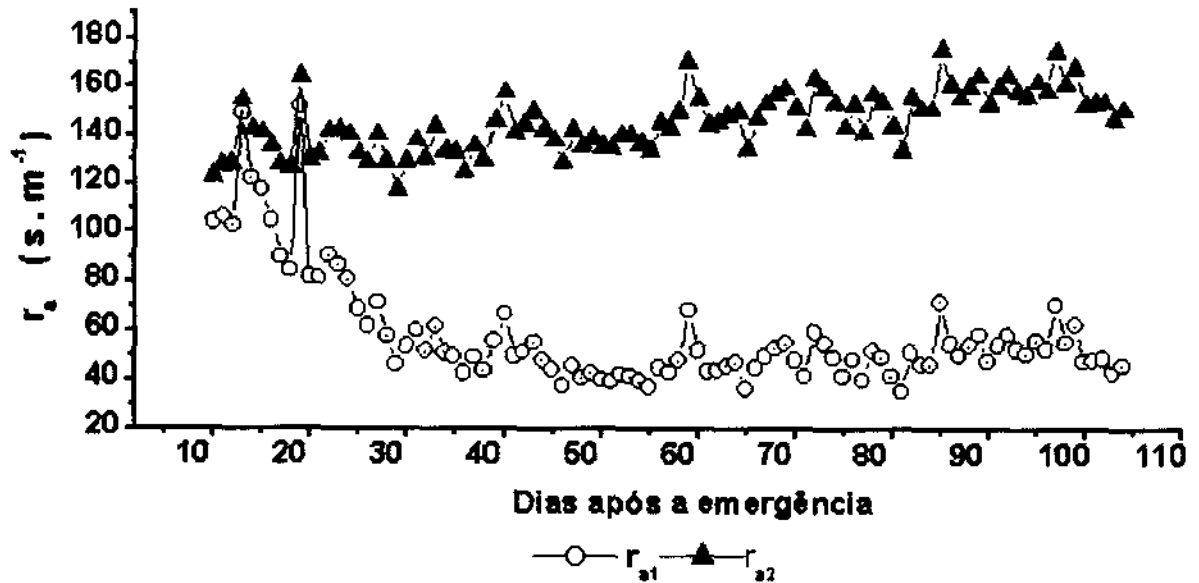


Figura 22 - Variações do índice de área foliar (IAF) e da matéria seca (MS) em função das fases fenológicas da cultura do milho BR 106, na região de Rio Largo-AL, cultivado no período de janeiro a abril de 2002.

de observação, o dia com r_{a2} mínima (29 DAE) foi também o dia com maior a velocidade média do vento ($2,15 \text{ m s}^{-1}$), assim como o dia com r_{a2} máxima (85 DAE) registrou a menor velocidade média do vento, $0,81 \text{ m s}^{-1}$. A fórmula original de Penman mostrou semelhanças com a expressão apresentada por Allen et al. (1989), apenas nos primeiros 20 DAE, quando a altura das plantas ainda estava muito pequena e praticamente não exercia influência sobre a aerodinâmica da atmosfera.

4.3.2 – Resistência da cultura

As curvas da resistência da cultura estimada pela equação apresentada por Allen e Asce (1986), em função do R_n e IAF (r_{e1}) e obtida pela equação descrita por Allen et al. (1989) apenas em função do IAF (r_{e2}) são apresentadas na Figura 23. A resistência da cultura nos primeiros 25 dias após a emergência, pelo primeiro modelo, apresentou valores muito elevados, na faixa de $171,0 \text{ s m}^{-1}$ a $26.847,3 \text{ s m}^{-1}$, respectivamente aos 25 e 10 dias após a emergência. Nesse mesmo período os valores obtidos pelo segundo modelo (Allen et al., 1989), ficaram um pouco mais baixos, na ordem de $166,33$ a $20.000,00 \text{ s m}^{-1}$. Em seguida, com o aumento do IAF, esses valores diminuíram significativamente e a r_{e1} apresentou um

mínimo de $38,5 \text{ s m}^{-1}$ aos 50 DAE e um máximo de $246,2 \text{ s m}^{-1}$ no dia 92 após a emergência, enquanto a r_{c2} variou de $44,34 \text{ s m}^{-1}$ a $160,00 \text{ s m}^{-1}$ nos dias 53 e 92 após a emergência, respectivamente. Os resultados obtidos pelos dois modelos são semelhantes, apenas nos dias com baixos saldos de radiação. A primeira expressão (r_{c1}) apresenta valores mais elevados do que a r_{c2} . As altas resistências da cultura no início do cultivo (aos 10 DAE) ocorreram por conta do baixo valor do IAF, inferior a 1,50. Os menores valores da r_c foram registrados aos 50 e 53 DAE, quando a cultura apresentou o IAF máximo de 4,51. No geral, a resistência da cultura do milho varia de 50 s m^{-1} a 100 s m^{-1} (Meginm e King, apud Santos, 2001).

A cana-de-açúcar na região de Pilar-AL, com um índice de área foliar variando de 1,3 a 7,7 apresentou uma resistência à transferência de vapor d'água para a atmosfera de 151 s m^{-1} a 26 s m^{-1} (Santos, 2001). Shuttleworth e Gurney (1990) afirmaram que a resistência do dossel vegetativo varia em função da umidade, de 0 a 200 s m^{-1} para dosséis secos e úmidos, respectivamente. Os valores da resistência aerodinâmica e da cultura com suas respectivas médias são apresentados na Tabela 3 dos anexos.

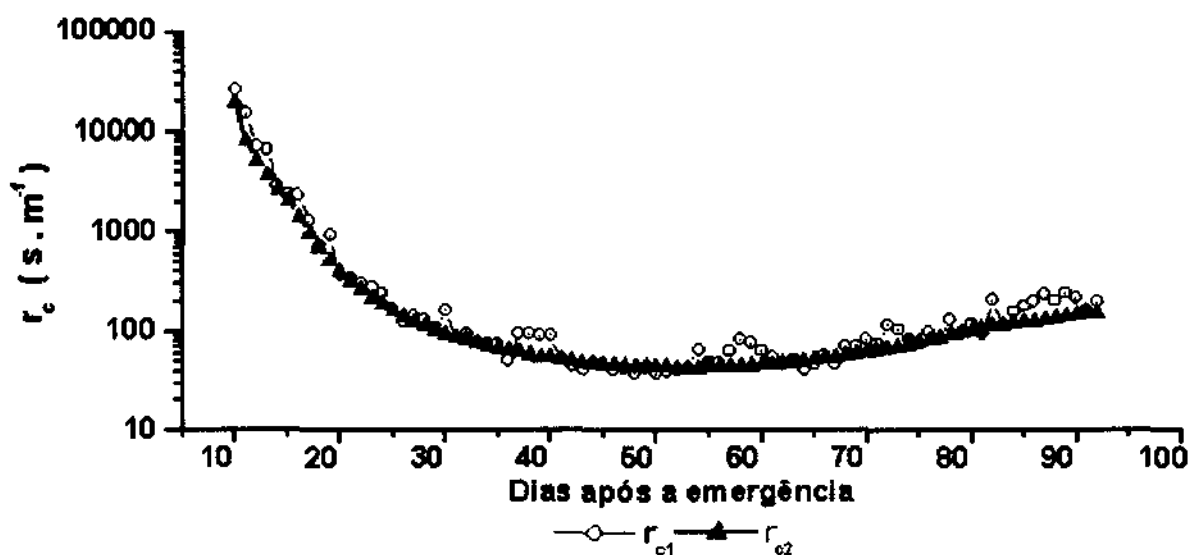


Figura 23 - Variações da resistência da cultura estimada pela equação apresentada por Allen e Asce (1986), em função do R_n e IAF (r_{c1}) e obtida pela equação apresentada por Allen et al. (1989) apenas em função do IAF (r_{c2}), na região de Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002.

4.4 - Balanço de Energia

O balanço de energia na cultura do milho, incluindo as medidas da radiação transmitida para o solo, indica que a variação do calor na superfície é uma fração apreciável da radiação total, cuja magnitude se reduz na fase reprodutiva do milho plantado em altas populações. Por causa dessa variação do calor na superfície relativamente alta, é necessário um entendimento do movimento capilar da água no solo, principalmente se os componentes da evaporação, transpiração e do uso consultivo (evapotranspiração da cultura) estão sendo avaliados em experimentos de milho ou outros plantios que não interceptam completamente a radiação (Tanner, 1960).

A Figura 24 mostra a quantidade de água acumulada (mm) na profundidade de 60 cm e a chuva mais a irrigação (mm) durante o ciclo da cultura, com o respectivo volume de água que o solo pode reter (145 mm), quando encontra-se em capacidade de campo (CC). Observa-se que a água armazenada no solo, durante o experimento, esteve sempre acima da CC, não havendo em momento algum restrição ou deficiência hídrica para a cultura.

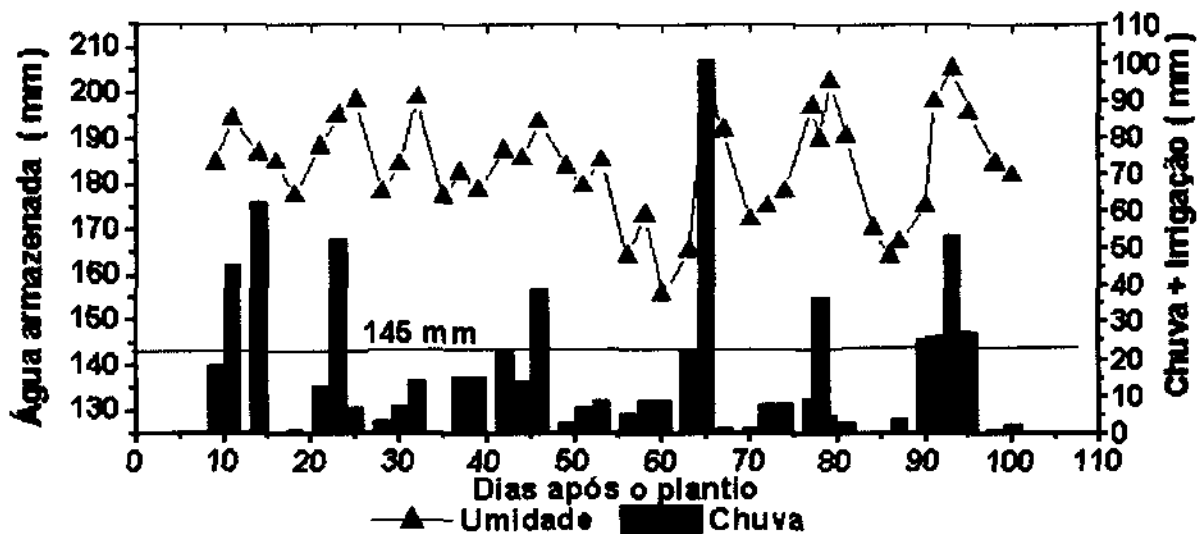


Figura 24 – Quantidade de água armazenada no solo (mm) na profundidade de 60 cm, precipitação pluvial mais a água adicionada pela irrigação (chuva + irrigação) e o volume de água armazenado (145 mm) quando solo está em capacidade de campo, na cultura do milho em Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002.

A variação da umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos horizontes “A” e “AB” com respectivamente, 15 cm e 30 cm de profundidade e suas respectivas CC de $0,210 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e $0,230 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e a precipitação pluviométrica mais a água adicionada pela irrigação, são apresentados na Figura 25. No horizonte “AB” a umidade do solo, durante todo ciclo da cultura, permaneceu sempre acima da CC e no horizonte “A” somente em dois dias (56 e 86 dias após o plantio) caiu para $0,19 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, ficando abaixo da capacidade de campo. Mas o ponto de murcha permanente (PM) desses dois horizontes foram de $0,140$ e $0,164$, respectivamente. Isso mostra que a umidade não caiu para menos de $0,50\%$ da capacidade de água disponível (CAD), que na profundidade de 15 cm é $0,175$ e a 30 cm é $0,197$. Esses resultados, juntamente com os resultados apresentados na Figura 24, mostram que a cultura não sofreu deficiências hídricas e o solo esteve sempre com altos teores de umidade em todo o perfil, de 15 a 60 cm de profundidade, explorado pelo sistema radicular da plantas de milho.

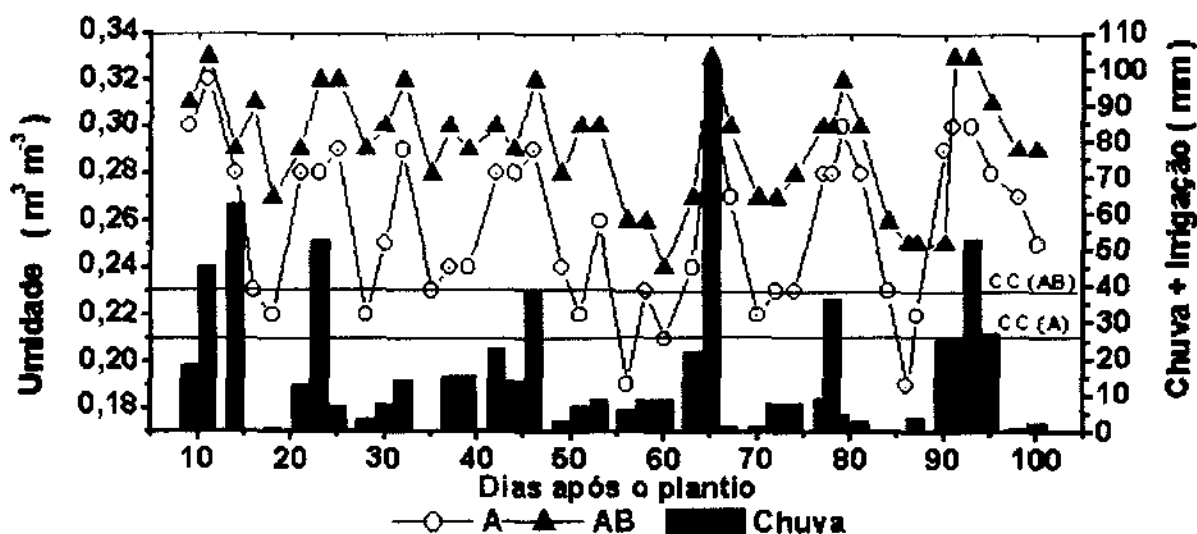


Figura 25 - Variação da umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos horizontes “A” e “AB” com respectivamente, 15 cm e 30 cm de profundidade e suas respectivas capacidade de campo (CC de $0,210 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e $0,230 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$) e a precipitação pluviométrica mais a água adicionada pela irrigação (chuva + irrigação), na cultura do milho BR 106 em Rio Largo - AL, no período de janeiro a abril de 2002.

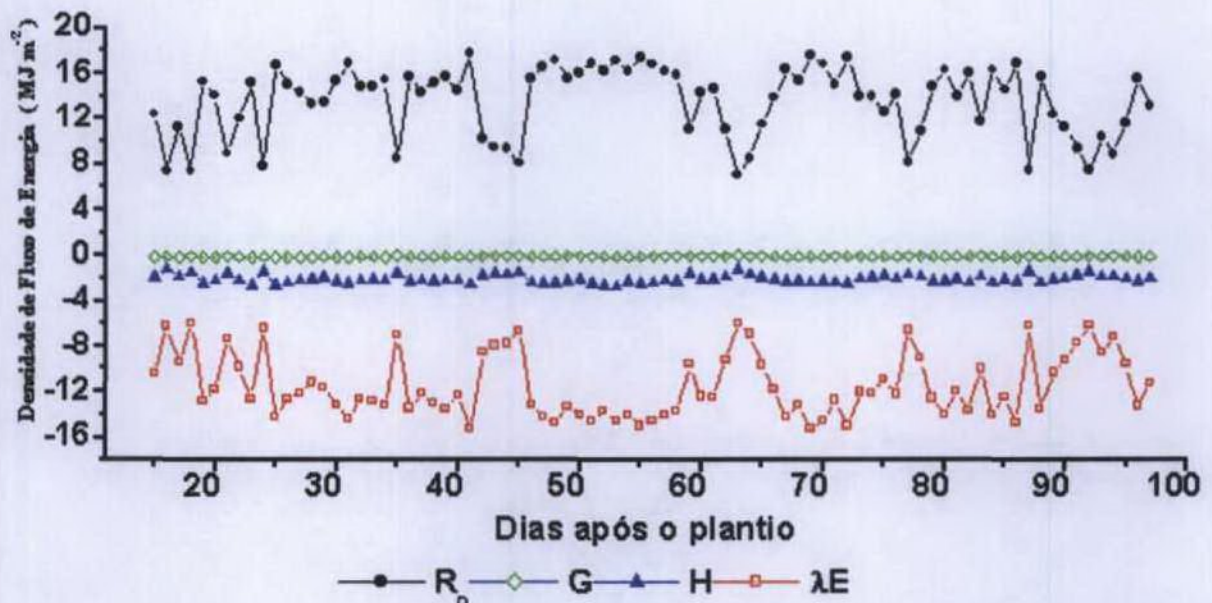
4.4.1 - Balanço de energia ao longo do ciclo da cultura

Os componentes do balanço de energia diurno, durante o ciclo da cultura do milho BR 106 na região de Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002, mostrados respectivamente, nas Figuras 26, 27a e 27b. Eles são representados por medidas do saldo de radiação (R_n) e densidade de fluxo de calor no solo (G), juntamente com os cálculos da densidade de fluxo de calor latente (λE) e densidade de fluxo de calor sensível (H), obtidos pelo balanço energia através da razão de Bowen (BERB) e pelo balanço de energia calculado em função da r_{a1} e da r_{a2} , já discutidas anteriormente.

Os valores do R_n variaram de 7,10 MJ m⁻² no dia 63 após o plantio (DAP), a 17,85 MJ m⁻², aos 41 DAP, com uma média de 13,58 MJ m⁻² dia⁻¹. O baixo valor do saldo de radiação registrado aos 63 DAP ocorreu porque nesse dia choveu 78,23 mm. A precipitação pluviométrica, que durante a pesquisa foi maior do que a normal climatológica, assim como a umidade do ar e a nebulosidade, fizeram com que os valores de R_n diário fossem abaixo. Em cana-de-açúcar, na região de Pilar - AL (a menos de 25 km de Rio Largo -AL), no período seco (janeiro a março) Toledo Filho (2001), encontrou valores de saldo de radiação na faixa de 16,34 MJ m⁻² a 18,38 MJ m⁻².

A densidade de fluxo de calor no solo, em percentagem do R_n , foi máxima (1,02%) aos 27 dias após o plantio e mínimo (0,15 %) aos 35 DAP, por conta de uma chuva de 9,15 mm que ocorreu entre a 4:00 horas e 16:00 horas, com maior intensidade no período das 9:00 horas as 10:00 horas (média de 0,42%). O dia 63 após o plantio foi o único que apresentou um fluxo de calor no solo positivo de 0,01 MJ m⁻², isso por causa da chuva (78,23 mm) que resultou em um R_n muito baixo (7,10 MJ m⁻²). Os valores positivos de G indicam que naquele instante a superfície do solo estava mais fria do que as camadas mais profundas, havendo então uma saída de calor dessas camadas para a superfície e da superfície para a atmosfera, o qual será utilizado como λE e H . Em valores absolutos G variou de 0,01 MJ m⁻² dia⁻¹ aos 35 DAP a 0,13 MJ m⁻² dia⁻¹ nos dias 19, 20, 26 e 30 após o plantio, e a média foi de 0,06 MJ m⁻² dia⁻¹.

A densidade de fluxo de calor latente (Figura 26) estimado pelo BERB variou de 87,10% do saldo de radiação aos 50 DAP a 80,16% aos 77 DAP, com a média de 84,36%, enquanto H/R_n oscilou entre 19,62% a 12,67%, alcançando média de 15,21%. Em termos de transferência, o λE diário ficou na faixa de 5,91 MJ m⁻² a 15,29 MJ m⁻², respectivamente aos



Figuras 26 - Componentes do balanço de energia diurno, durante o ciclo da cultura do milho em Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002, representados pelo saldo de radiação (R_n) medido, fluxo de calor no solo (G) também medido, fluxo de calor latente (λE) e fluxo de calor sensível (H), estimados pela razão de Bowen.

63 e 41 DAP. Os valores de H foram de $1,11 \text{ MJ m}^{-2}$ a $2,62 \text{ MJ m}^{-2}$ nos dias 16 e 53 após o plantio, na mesma ordem. A perda diária média pelo λE e H foi $11,50 \text{ MJ m}^{-2}$ e $2,02 \text{ MJ m}^{-2}$, respectivamente. Os valores diurnos do saldo de radiação, fluxo de calor no solo, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível obtidos pela razão de Bowen estão apresentados na Tabela 4 dos anexos.

Os valores do λE_1 e H_1 estimados pelo balanço de energia em função da r_{a1} (Figura 27a) foram diferentes dos estimados pelo BERB, pois as transferências de λE_1 ficaram entre 3,63% do R_n aos 42 DAP e 85,62% aos 36 DAP, com uma média de apenas 50,62% do R_n . O H_1 variou de 13,70 % (positivo) a 96,19% do R_n , apresentando uma média de 48,94%, Os valores positivos de H indicam que o ar está mais quente do que a superfície, havendo portanto, uma transferência de calor do ar para o solo. Os valores absolutos de λE_1 foram máximo ($13,06 \text{ MJ m}^{-2}$) no dia 25 após o plantio e mínimo ($0,79 \text{ MJ m}^{-2}$) aos 92 DAP, com uma média de $6,80 \text{ MJ m}^{-2}$. A densidade de fluxo de H_1 ficou na faixa de $2,16 \text{ MJ m}^{-2}$ aos 36 DAP a $9,96 \text{ MJ m}^{-2}$ aos 56 DAP, média de $6,72 \text{ MJ m}^{-2}$.

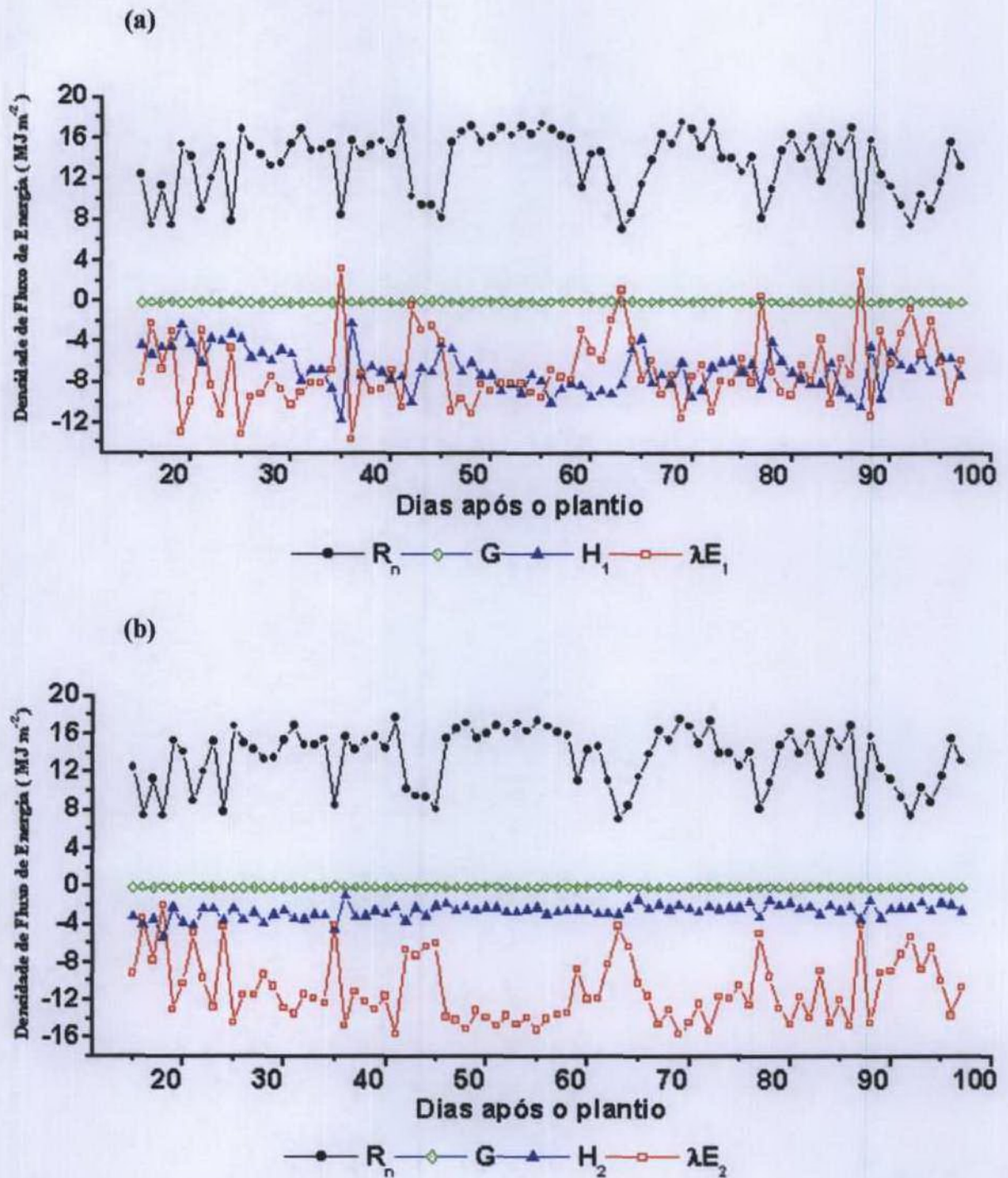
A densidade de fluxo de calor latente determinado pelo Balanço de Energia em função da r_{a2} (λE_2), apesar da maior amplitude nos resultados, apresentou uma variação semelhante àquela observada quando foi utilizado o método da Razão de Bowen, na faixa de 93,22 % a 27,31 % do R_n nos dias 36 e 18 após o plantio respectivamente, com uma média de 78,51 % (Figura 27b). O fluxo de calor sensível foi um pouco mais elevado do que o calculado pelo BERB, variando de 72,20 % a - 6,34 % do R_n , aos 18 e 36 DAP. A média do H_2 foi 21,07 % do R_n . Em termos de energia os valores máximos de λE_2 e H_2 foram 15,26 MJ m⁻² e 4,08 MJ m⁻², respectivamente nos dias 72 e 21 após o plantio. Os mínimos foram 2,03 MJ m⁻² e 1,00 MJ m⁻² aos 18 e 36 DAP e a média diária de 10,93 MJ m⁻² e 2,59 MJ m⁻².

Os máximos e mínimos de λE e H do balanço de energia diurno, em percentagem do saldo de radiação, nem sempre coincidem com os dias dos máximos e mínimos dos valores absolutos (em MJ m⁻² dia⁻¹) porque o máximo em percentagem do R_n (100%) de um desses parâmetros em discussão pode acontecer em um dia com pouco saldo de energia líquida. Dessa forma, em um dia com altos saldos de radiação, 90% desse saldo, em valores absolutos, pode perfeitamente superar os valores absolutos de 100% de um R_n baixo.

Os resultados obtidos pelos balanços de energia da razão de Bowen e em função de r_{a2} mostram que a maior parte do saldo de radiação foi usada na evapotranspiração da cultura. Isso aconteceu porque, como já foi discutido anteriormente, o solo esteve sempre com alto teor de umidade. Por esse motivo, quase toda a energia que chegava a superfície era utilizada na evaporação da água do solo e transpiração das plantas (evapotranspiração).

O λE médio (84,36 %) obtido pelo balanço de energia da Razão de Bowen é semelhante ao encontrado em milho (84 %) por Alfonsi et al. (1986), em Campinas-SP. Em outras culturas como cana-de-açúcar, durante o período chuvoso, o fluxo de calor latente médio é 87 % do saldo de radiação (Toledo Filho, 2001).

O fluxo de calor latente médio (78,51 %) determinado pelo Balanço de Energia em função r_{a2} aproxima-se dos 80 % obtido, sobre a cultura do milho, por Cunha et al. (1996). A Tabela 5 dos anexos mostra os valores diurnos dos componentes do Balanço de Energia durante o ciclo da cultura do milho na região de Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002, representados pelo saldo de radiação (R_n) medido, fluxo de calor no solo (G) também medido, fluxo de calor latente (λE) e fluxo de calor sensível (H), estimados pelo Balanço de Energia calculado em função da r_{a2} e da r_{a1} .



Figuras 27 - Componentes do balanço de energia diurno, durante o ciclo total da cultura do milho na região de Rio Largo-AL, no período de janeiro a abril de 2002, representados pelo saldo de radiação (R_n) medido, fluxo de calor no solo (G) também medido, fluxo de calor latente (λE) e fluxo de calor sensível (H), estimados: a) pelo balanço de energia calculado em função da r_{a1} e b) pelo balanço de energia calculado em função da r_{a2} .

4.4.2 - Balanço de energia diário

Os componentes do balanço de energia horário foram analisados em seis dias de diferentes fases fenológicas da cultura. No dia 15/01 (Tabela 6 dos anexos) o índice de área foliar (IAF) estava ainda muito próximo de zero (menos de 0,07) e o solo quase que totalmente descoberto, com a cultura na fase de desenvolvimento "0" (emergência). Nesse dia, as porcentagens dos fluxos G, λE e H, em relação ao R_n total (11,40 MJ m⁻²), foram 3,76 %, 71,14 % e 25,10 %, respectivamente. A medida em que as plantas foram crescendo e se desenvolvendo, o solo foi ficando sombreado, implicando numa redução de G e H e aumento do λE , de forma que no dia 31/01 (26 dias após a emergência – DAE), quando a cultura estava com IAF em torno de 1,50, chegando a fase fenológica "2" (8 folhas), a porcentagem do fluxo de calor no solo diminuiu para 1%, λE subiu para 76,51% e o calor sensível foi 22,49 % do R_n diário (15,98 MJ m⁻²). O fluxo de calor no solo no dia 17 de fevereiro, 43 DAE (Tabela 7 dos anexos), com um índice de área foliar de 3,70 na 3ª fase de desenvolvimento do milho (12 folhas), G caiu para 0,13% (positivo) do R_n , com perda de calor para a atmosfera e a transferência de vapor d'água pelo λE aumentou para 78,36%, indicando que o solo estava cedendo energia para o fluxo de calor latente de evapotranspiração da cultura, visto que o fluxo de calor sensível também diminuiu para 21,77% do R_n que foi igual a 16,24 MJ m⁻². No dia 1º de março, durante a fase fenológica "4" (emissão do pendão), o λE continuou crescendo (79,94 %) numa relação direta com o IAF (4,30) e G com valor positivo de 0,82% do R_n (13,68 MJ m⁻²dia⁻¹) permaneceu cedendo energia para a evapotranspiração, enquanto H também diminuiu para 20,89 %. Outro fato que favoreceu o aumento do λE nesse período (de 15/01 a 01/03) foi a diminuição nos valores das resistências aerodinâmicas e da cultura, já discutidas no tópico 4.3.

O saldo de radiação, valor diário, no dia 10 de março, foi 16,66 MJ m⁻². Desse valor apenas 0,78% foi utilizado para o fluxo de calor no solo, 80,35 % foi para o λE e 18,86 % para H (Tabela 8 dos anexos). Nesse dia as plantas já se encontravam na fase de polinização e o IAF já havia diminuído para 4,3 deixando o solo um pouco mais descoberto. Desse modo, o G já foi negativo indicando que a superfície estava mais quente do que as camadas mais profundas e que houve um ganhou calor para o solo. Na fase de formação dos dentes o fluxo de calor latente diminuiu para 75,82 % do R_n (14,36 MJ m⁻²), por ser diretamente proporcional IAF que no dia 06 de abril já havia reduzido para 1,66 e o fluxo de calor no solo e sensível que têm relação inversa com esse índice, aumentaram para 2,89 % e

21,28 %, respectivamente. Um resumo do balanço de energia diário em percentagem do saldo de radiação é apresentado na Tabela 8.

As curvas diárias do saldo de radiação e fluxo de calor latente no dia 15 de janeiro mostram que ambos foram máximos, 1,84 e 1,25 MJ m⁻² entre as 11 e 12 horas, respectivamente (Figura 28a). Às 14 horas observa-se uma queda acentuada nos valores de R_n e λE devido a nebulosidade. Nesse dia o fluxo de calor no solo (G) chegou a atingir um valor de 0,27 MJ m⁻² das 12 as 13 horas. Entre as 9 e 10 horas o fluxo de calor sensível apresentou o maior valor 0,35 MJ m⁻². No dia 31 de janeiro os valores máximos de R_n e λE (Figura 28b), ocorridos no período das 11 às 12 horas, foram 2,54 MJ m⁻² e 1,87 MJ m⁻², respectivamente. O H foi máximo (0,57 MJ m⁻²) novamente entre as 9 e 10 horas e o maior valor de G (0,37 MJ m⁻²) foi entre as 12 e 13 horas. Às 11 horas houve uma diminuição do saldo de energia líquida e no fluxo de calor latente devido ao aumento da nebulosidade, porém só choveu a partir das 15 horas (2,54mm).

Tabela 8 - Valores do fluxo de calor latente, fluxo de sensível e fluxo de calor no solo, em percentagem do saldo de radiação, nos seis dias analisados em diferentes fases fenológicas de uma cultura de milho na região de Rio Largo – AL

Data	Fase fenológica	λE (%)	H (%)	G (%)	Total
15/01	1	71,14	25,10	3,76	100,00
31/01	2	76,51	22,49	1,00	100,00
17/02	3	78,36	21,77	-0,13	100,00
01/03	4	79,94	20,89	-0,82	100,00
10/03	5	80,35	18,86	0,78	100,00
06/04	8	75,82	21,28	2,89	100,00

Os valores horários do R_n e λE, no dia 17 de fevereiro (Figura 29a), foram mais elevados entre 11 e 12 horas, 2,64 MJ m⁻² e 2,04 MJ m⁻², respectivamente. O G máximo diminuiu para 0,21 MJ m⁻² pelo fato da cultura já haver sombreado o solo completamente e teve um atraso de uma hora em relação aos outros dias analisados, ocorrendo no intervalo das 13 as 14 horas, por conta do aumento da nebulosidade que provocou uma queda no R_n às 13 horas. O dia 1º de março (Figura 29b), dentre os dias analisados, foi o único em que os valores máximos de R_n (2,19 MJ m⁻² hora⁻¹) λE (1,75 MJ m⁻² hora⁻¹) aconteceram entre as 10

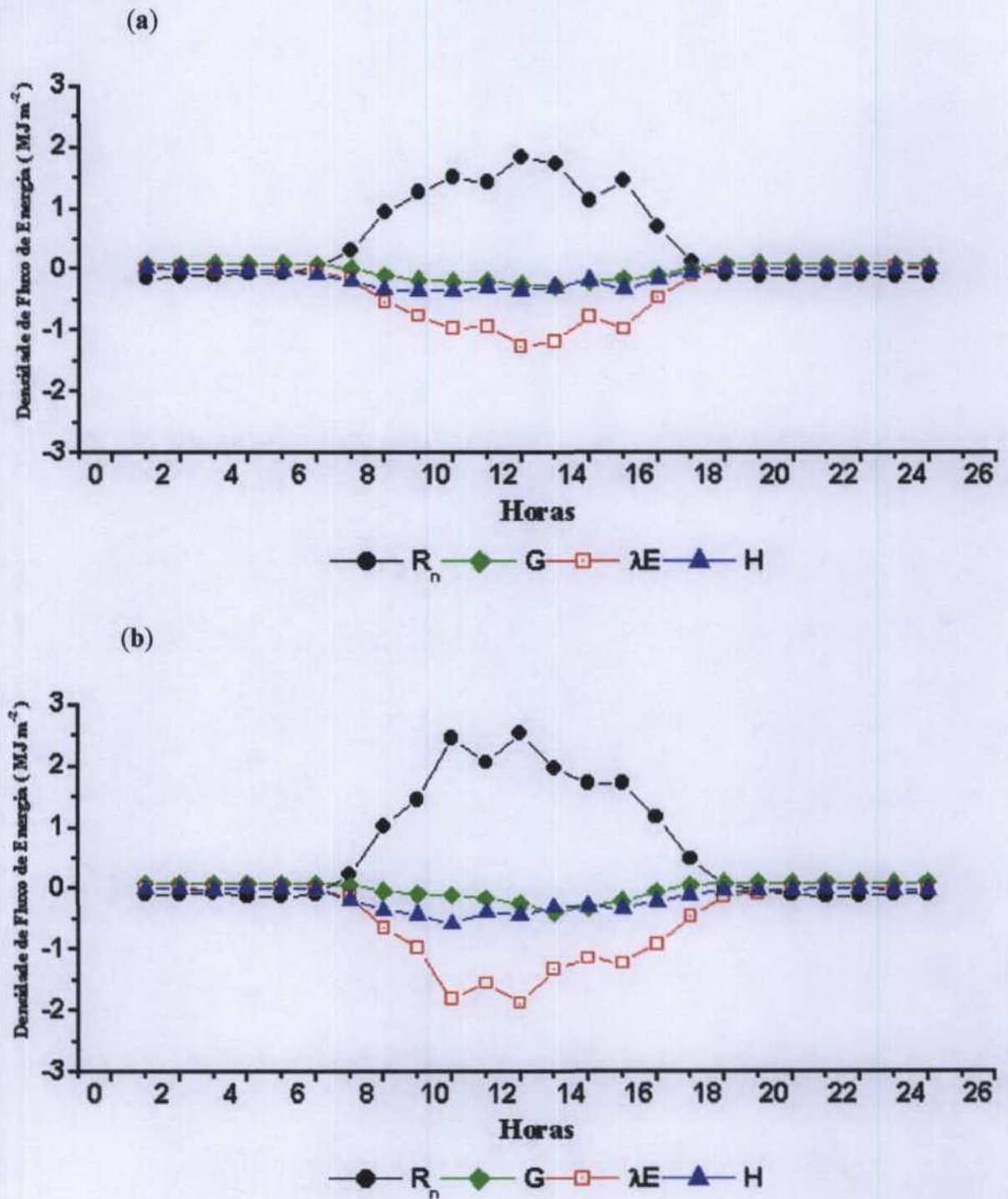


Figura 28 - Variações do saldo de radiação (R_n) e densidades de fluxos de calor no solo (G) medidos, calor latente (λE) e de calor sensível (H) estimados pelo balanço de energia da razão de Bowen, **a)** no dia 15 de janeiro (10 dias após a emergência – DAE) e **b)** no dia 31 de janeiro (26 DAE), numa cultura de milho na região de Rio Largo – AL.

e 11 horas por conta do aumento da nebulosidade a partir do meio dia que culminou com uma chuva de 7,11 mm das 18 as 19 horas. O fluxo de calor no solo máximo $0,15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ foi baixo ainda por conta do alto índice de área foliar permanecer sombreando completamente a

área plantada. O fluxo de calor sensível máximo ($0,45 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$) aconteceu entre 7 e 8 horas.

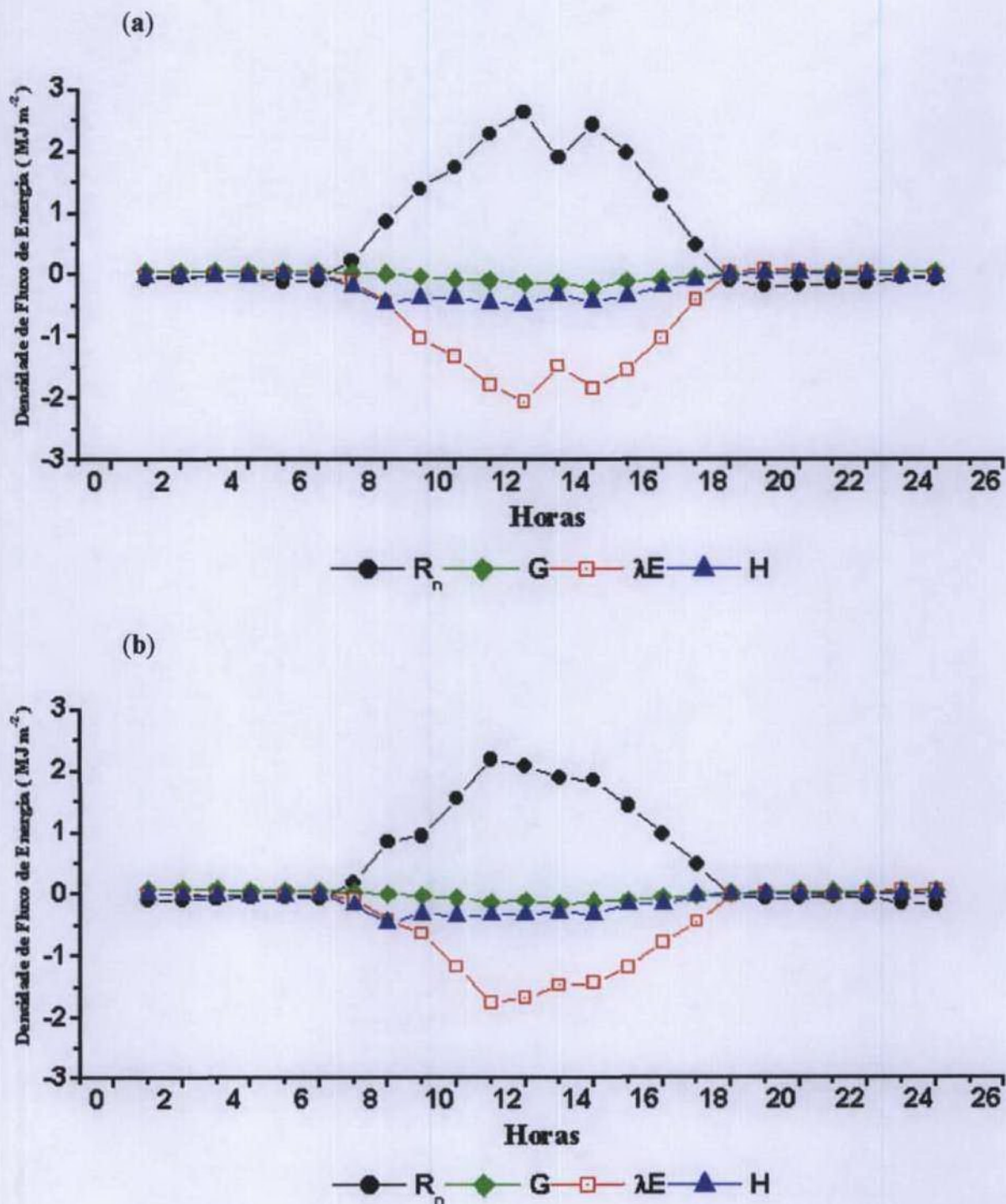


Figura 29 – Variações do saldo de radiação (R_n) e densidades de fluxos de calor no solo (G) medidos, calor latente (λE) e de calor sensível (H) estimados pelo balanço de energia da razão de Bowen: a) no dia 17 de fevereiro (43 DAE) e b) no dia 1º de março (55 DAE), numa cultura de milho na região de Rio Largo – AL.

As Figuras 30a e 30b mostram que os valores do saldo de radiação e fluxo de calor latente máximo nos dias 10 de março e 6 de abril, ocorridos no período das 11 as 12 horas foram $2,74 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ e $2,17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ e $2,77 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ e $2,04 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$, respectivamente. Os valores horários de G, $0,26 \text{ MJ m}^{-2}$ e $0,32 \text{ MJ m}^{-2}$, assim como na maioria dos dias analisados também foram máximos entre as 12 e 13 horas, sendo que nesses dois últimos dias discutidos (10 de março e 6 de abril) percebe-se um aumento em consequência da diminuição do IAF. Esses dois dias em discussão apresentaram fluxo de calor sensível máximo de $0,44 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ e $0,45 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ entre as 11 e 12 horas.

Os valores máximos de R_n e λE nos seis dias analisados ocorreram sempre entre as 11 e 12 horas, exceto no dia 1º de março, quando os maiores valores das variáveis em discussão foram registrados entre as 10 e 11 horas devido ao aumento de nebulosidade ocorrido ao meio dia. Isso aconteceu porque 12 horas (hora legal) na localidade em estudo corresponde a aproximadamente às 12h e 40 minutos do tempo solar verdadeiro (TSV). Pois, a hora legal é baseada no horário de Brasília e Rio Largo - AL por conta da longitude tem um adiantamento no TSV de aproximadamente 40 min. Portanto, considerando o tempo solar verdadeiro, os valores máximos de R_n e λE em dias de céu claro deve ocorrer entre as 12 e 13 horas. A densidade de fluxo de calor sensível foi maior sempre na parte da manhã porque durante a noite e ao amanhecer o gradiente de temperatura entre a superfície ou o dossel vegetativo da cultura e o ar atmosférico é muito pequeno (ambos estão frios). Então, com o nascer do sol, a superfície se aquece primeiro do que o ar, aumentando assim o referido gradiente e consequentemente o H. Em seguida o ar vai sendo aquecido pela emissão de ondas longas e o gradiente de temperatura volta a diminuir, geralmente a partir das 10 horas.

4.5 – Evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho

A evapotranspiração dos cultivos agrícolas é governada pela demanda evaporativa da atmosfera que está relacionada com a variação dos elementos meteorológicos: radiação solar, vento, temperatura e umidade relativa do ar e algumas características da vegetação como o IAF, profundidade do sistema radicular, entre outras. Atualmente, existem diversos métodos e equipamentos para estimar e medir a ET_c . Nessa pesquisa foram analisados os resultados de nove modelos

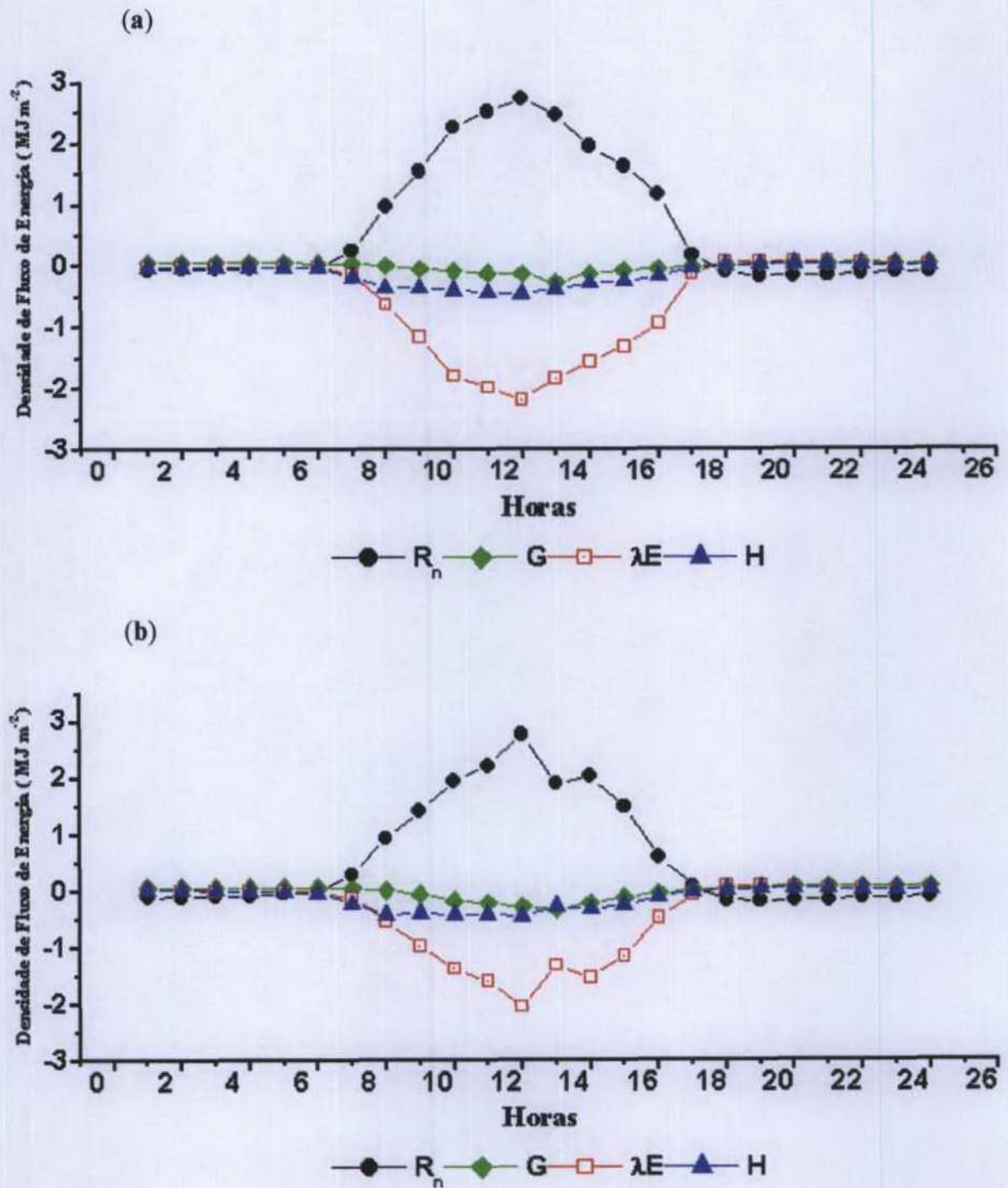


Figura 30 - Variações do saldo de radiação (R_n) e densidades de fluxos de calor no solo (G) medidos, calor latente (λE) e de calor sensível (H) estimados pelo balanço de energia da razão de Bowen, **a)** no dia 10 de março (64 DAE) e **b)** no dia 6 de abril (96 DAE), numa cultura de milho na região de Rio Largo – AL.

4.5.1 – Variação diária

A evapotranspiração média diária obtida pelos 9 métodos utilizados variou de 1,18 mm a 6,37 mm, respectivamente, aos 18 dias após o plantio (DAP) quando o milho estava na fase de desenvolvimento “1” (4 folhas) com IAF de 0,07 e aos 69 DAP na fase de polinização com IAF 4,3. A média foi 4,00 mm.dia⁻¹ e o total acumulado nos 96 dias de observação foi 387,54 mm. Essa perda hídrica mostrou semelhança com as medidas de Radin (1998) que encontrou, através de lisímetro automatizado, numa média de 4 cultivos, uma ET_c de 2,37 mm dia⁻¹ a 6,88 mm dia⁻¹. As diferenças são atribuídas ao fato da ET_c ter correlações negativa com fatores meteorológicos tais como chuva, umidade relativa do ar e velocidade do vento, que no período da pesquisa, foram maiores do que a normal climatológica.

A taxa diária da ET_c, calculada pelo método da razão de Bowen em função da temperatura da superfície e da temperatura do nível 2 (considerado como padrão, nesse estudo), variou de 1,00 mm dia⁻¹ a 6,28 mm dia⁻¹, respectivamente nos dias 11 e 41 após o plantio (Figura 31). A média foi 4,54 mm dia⁻¹ e o total de 440,83 mm em 96 dias. O mínimo ocorreu com a cultura na fase de emergência e o IAF inferior a 0,07 e o máximo aconteceu na 3ª fase de desenvolvimento (12 folhas) e um IAF de 3,77. Mas, o fator determinante para a ocorrência das taxas mínima e máxima foi o R_n que aos 11 e 41 dias após o plantio apresentou os valores diários mínimo (2,88 MJ m⁻²) e máximo (16,86 MJ m⁻²), respectivamente. No 11º DAP a umidade relativa do ar também foi elevada (95 %) por conta da chuva de 50,80 mm ocorrida no período diurno. Os dias 45, 63, 77 e 87 após o plantio também apresentaram baixos valores de ET_c (entre 2,42 mm e 2,71 mm) em virtude da diminuição do R_n (na faixa de 6,55 MJ m⁻² a 7,86 MJ m⁻²). Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Jara et al (1998), em Prosser – Washington – USA, que utilizando a Razão de Bowen estimaram uma ET_c média, em cultivo de milho, de 4,20 mm dia⁻¹ e pelo método do fluxo de seiva, esses mesmos pesquisadores encontraram uma ET_c diária de 1,5 a 6,0 mm

4.5.2 – Comparação entre métodos de ET_c

Para analisar a acurácia dos métodos utilizados nessa pesquisa foi feita uma comparação individual dos resultados obtidos por cada modelo com os obtidos pelo método considerado padrão.

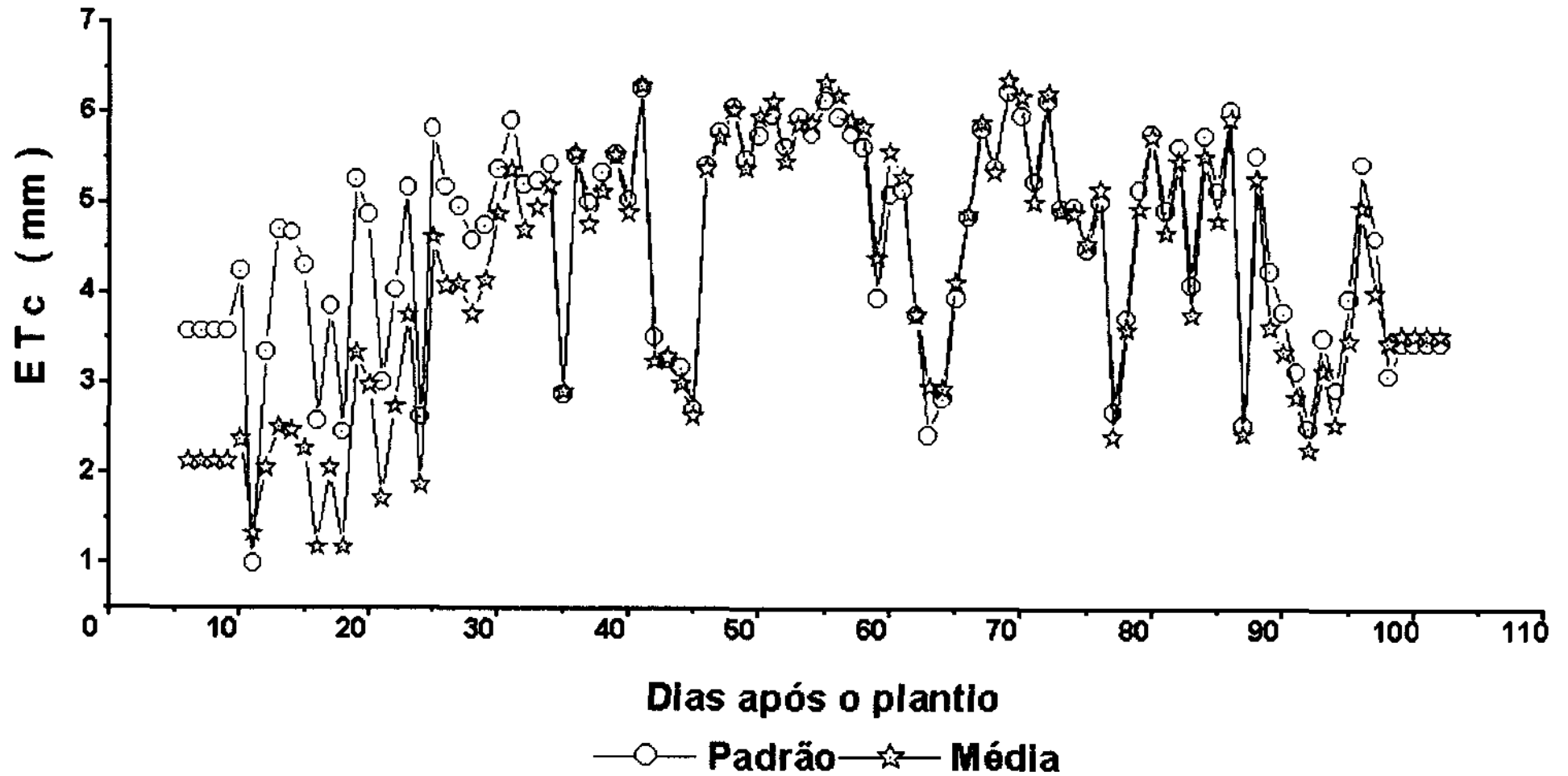


Figura 31 - Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho BR 104, estimada pelo método de Bowen em função da temperatura da superfície e da temperatura do nível 2 (padrão) e a média dos resultados obtidos pelos 9 métodos analisados, na região de Rio Largo – AL, no período de 6 de janeiro a 12 de abril de 2002.

A variação da evapotranspiração diária da cultura obtida pelos métodos RB_1 , RB_2 e padrão está apresentada na Figura 32. Observa-se que os valores da ET_c calculados com o RB_1 não diferenciam dos calculados com o modelo padrão. Isso aconteceu porque as diferenças entre as temperaturas T_1 e T_2 , que fazem parte dos métodos RB_1 e padrão respectivamente, foram insignificantes. O gradiente de temperatura e umidade relativa do ar entre os dois níveis, em regiões úmidas, é muito baixo porque o grande volume de vapor d'água na atmosfera distribui de forma praticamente uniforme a quantidade de energia disponível para aquecer o ar (H). Já os valores da ET_c , determinados pelo modelo RB_2 , apresentou desvios negativos nos dias 52 a 55 e 77 e positivos nos dias 72 e 75. Essas diferenças não estão relacionadas com o R_n que nos dias 52 e 55 após o plantio foi alto (15,39 e 16,16 $MJ\ m^{-2}$) e a ET_c pelo método padrão foi 5,63 mm e 5,97 mm. O método RB_2 teve a menor ET_c diária (4,44 mm e 4,88 mm). Aos 77 DAP, com o R_n baixo (7,76 $MJ\ m^{-2}$), a ET_c que pelo RB_2 (1,48 mm) deveria ser maior do que pelo padrão (2,69 mm), foi menor. As maiores evidências é que a evapotranspiração da cultura determinada pela razão de Bowen, através do gradiente $T_1 - T_2$ (RB_2) difere da ET_c pelo método padrão (com o gradiente $T_0 - T_2$, sendo T_0 determinada em função das ondas longas emitidas pelas folhas do milho e pela superfície do solo, obtidas através de medidas pignométricas) porque o gradiente $T_0 - T_2$ é maior do que o gradiente $T_1 - T_2$ e isso favorece o aumento da razão de Bowen (β).

As ET_c diárias estimadas pelos métodos RB_1 e RB_2 variaram, respectivamente, de 1,00 mm a 6,30 mm (média de 4,56 mm) e de 1,02 mm a 7,83 mm (média de 4,25 mm). A ET_c total acumulada pelos dois métodos em 96 dias foram 442,43 mm e 411,93 mm, praticamente na mesma magnitude.

O modelo de Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração da cultura, nas quatro formas utilizadas nesse estudo, apresentou valores muito baixos nos primeiros trinta dias após o plantio. Isso é condizente com as restrições de Allen et al. (1998) à utilização desse método. Pois, no início dos cultivos, quando o solo ainda encontra-se quase que totalmente descoberto esse modelo tende a subestimar a ET_c .

A ET_c diária obtida pelo equação PMc_1 variou de 0,56 mm a 7,26 mm, nos dias 18 e 70 após o plantio, quando o IAF era de 0,07 e 4,50, respectivamente. A ET_c média foi de 3,69 $mm\ dia^{-1}$ e um acumulado de 358,05 mm, nos 96 dias da pesquisa. Essa evapotranspiração foi baixa por consequência da relação r_{cl}/r_{al} que tem altos valores, principalmente no início do cultivo quando os pequenos valores de IAF elevam a resistência da cultura. Os resultados obtidos pelo modelo PMc_2 só foram muito menores do que o padrão.

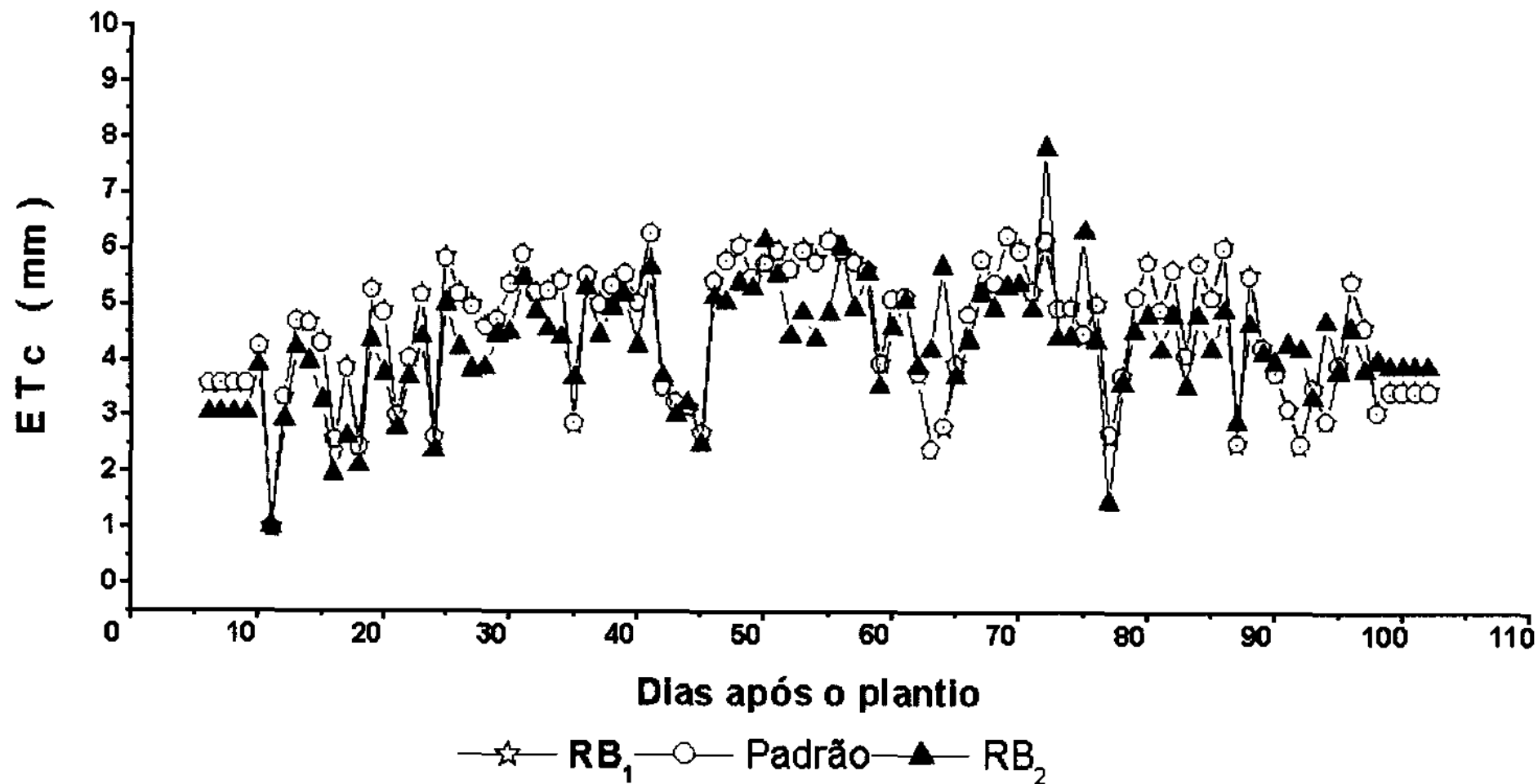


Figura 32.- Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho obtidas pelos métodos: Razão de Bowen (**RB₁**) com a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 1 (T_1), o padrão e a Razão de Bowen (**RB₂**) com a T_1 e temperatura do nível 2 (T_2), na região de Rio Largo - AL, no período de 6 de janeiro a 12 de abril de 2002.

nos primeiros 30 DAP, mas depois desse período inicial os dois modelos em discussão apresentaram valores muito semelhantes. A variação da ET_c estimada pelo PMc_2 foi de 0,15 a 6,58 mm dia⁻¹, respectivamente nos dias 15 e 55 após o plantio, dando uma média diária de 4,02 mm e um total 389 mm, correspondente a 88% do total acumulado pelo método padrão. Os dias em que o modelo PMc_2 estimou os valores de ET_c mínimos e máximos foram os mesmos dias dos modelos PMc_3 e PMc_4 . As curvas da evapotranspiração da cultura obtidas pelos métodos padrão, PMc_1 e PMc_2 são apresentadas na Figura 33.

A Figura 34 mostra as curvas da ET_c calculadas pelos métodos padrão, PMc_3 e PMc_4 . Observa-se que do 31º dia depois do plantio até o final do ciclo de produção do milho, as taxas de ET_c estimadas pelo PMc_3 ficou bem acima das estimadas pelo padrão. Essa superestimativa é consequência da razão r_{e2} / r_{a1} que apresenta os valores mais baixos entre as razões de r_c / r_a . Os resultados diários do PMc_3 foi de 0,14 mm a 9,49 mm, com média de 5,08 mm dia⁻¹ e total de 492,94 mm em 96 dias. Esse foi o método que, dentre os analisados, determinou a maior perda d'água na cultura do milho.

A evapotranspiração estimada pelo modelo PMc_4 a partir do 41º dia após o plantio foi muito próxima da obtida pelo padrão, variando de 0,11 mm a 6,69 mm.dia⁻¹, a média foi 3,97 mm dia⁻¹ e o acumulado nos 96 dias de experimento foi de 384,20 mm. O fato dos valores da ET_c mínimo e máximo obtidos pelos três métodos (PMc_2 , PMc_3 e PMc_4) ocorrerem nos dias 15 e 55 após o plantio, indica que os parâmetros IAF e R_n têm grande influência na estimativa da evapotranspiração porque aos 15 DAP o IAF e o R_n diário foram respectivamente, 0,07 e 11,40 MJ m⁻² (muito baixos), e, no dia 55 após o plantio o IAF e o R_n foram 4,50 e 16,16 MJ m⁻², na mesma ordem.

Os dados da ET_c diária determinados pelo método $B.E_1$ (Figura 35), com valores na faixa de 0,15 a 5,54 mm respectivamente, aos 42 e 36 DAP e média diária de 2,92 mm, foram muito inferiores aos determinados pelo método padrão. Entre os métodos avaliados nessa pesquisa, esse foi o apresentou o menor resultado, acumulando nos 96 dias de cultivo apenas 372,01 mm. Esses baixos valores da ET_c , estimada pelo $B.E_1$, é consequência da baixa resistência aerodinâmica (r_{a1}) que ficou na faixa de 35 a 70 s.m⁻¹ (já discutidos anteriormente). Pois, com pequena r_a , o fluxo de calor sensível é superestimado e subestima o fluxo de calor latente. A ET_c estimada pelo $B.E_2$ apresentou uma variação mais semelhante a variação do modelo padrão, apesar de uma leve tendência de subestimativa. A evapotranspiração

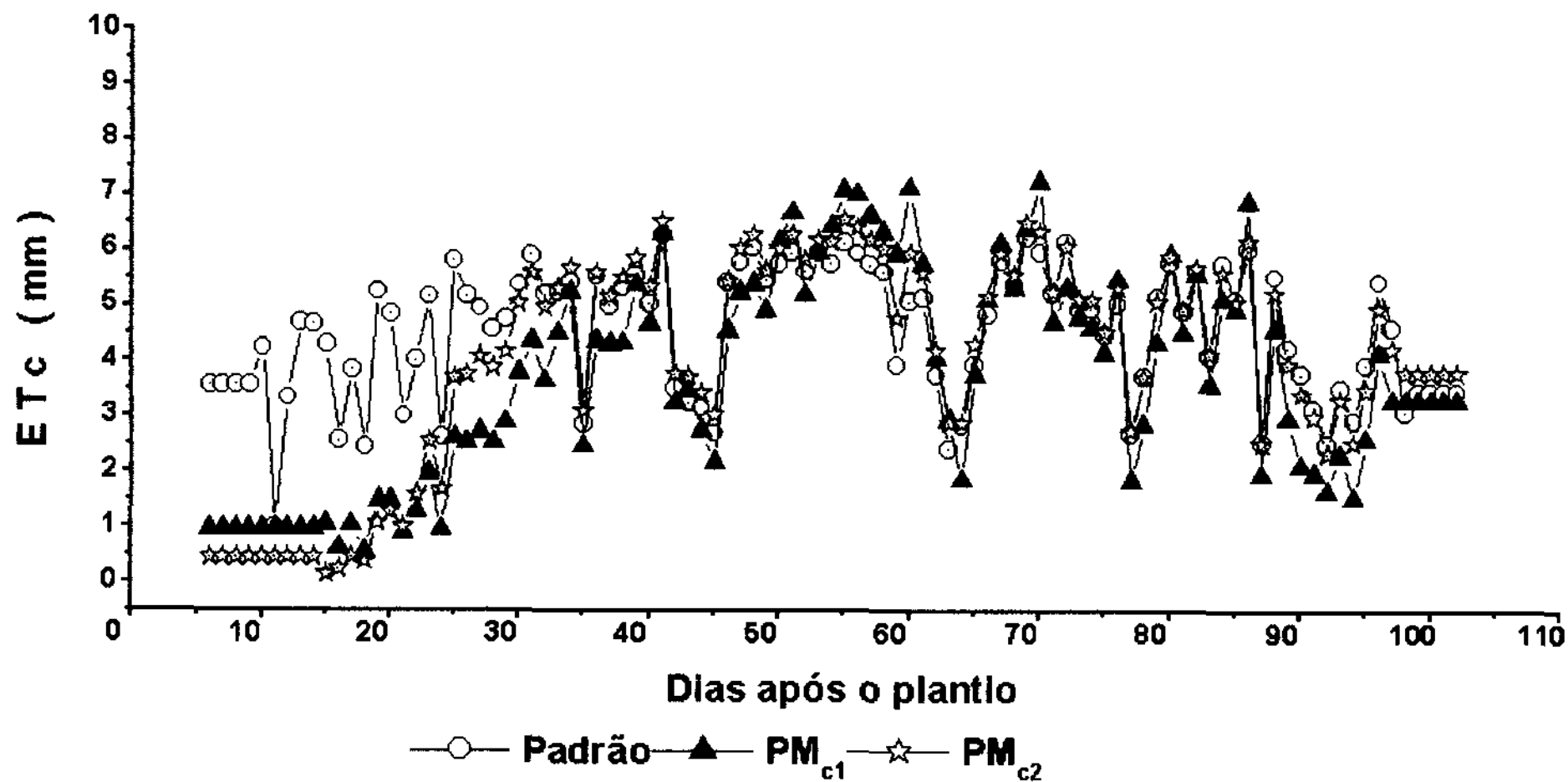


Figura 33 - Evapotranspiração diária da cultura (ET_c) do milho estimadas pelos métodos: padrão, Penman-Monteith (PM_{c1}) utilizando a relação r_{c1}/r_{a1} e Penman-Monteith (PM_{c2}) utilizando a relação r_{c2}/r_{a2} , na região de Rio Largo - AL, no período de 6 de janeiro a 12 de abril de 2002.

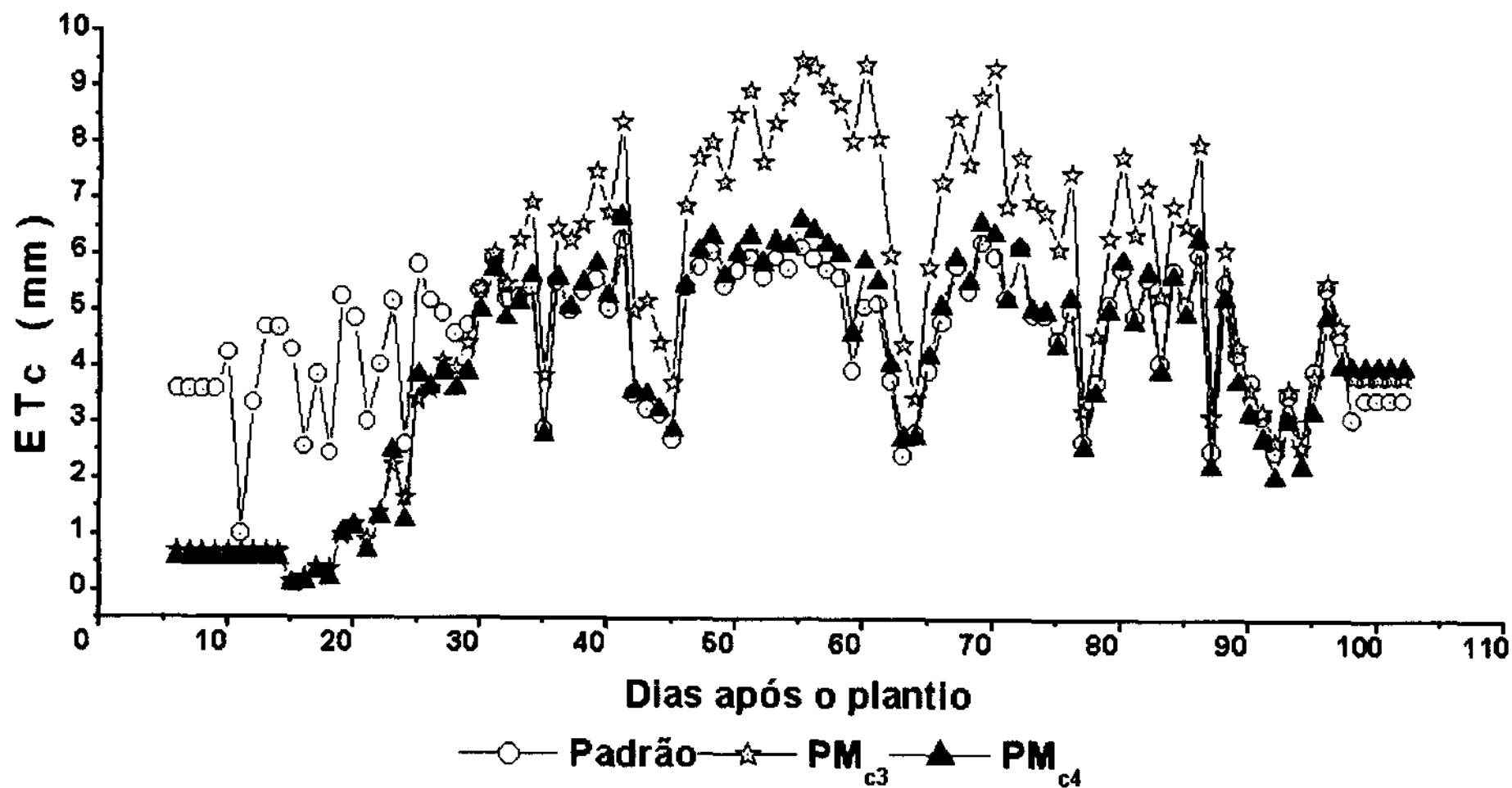


Figura 34 – Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho, calculadas pelos métodos: padrão, Penman-Monteith (PM_{c3}) utilizando a relação r_{c2}/r_{a1} e Penman-Monteith (PM_{c4}) utilizando a relação r_{c1}/r_{a2} , na região de Rio Largo – AL, no período de 6 de janeiro a 12 de abril de 2002.

média diária determinada pelo B.E₂ foi de 4,33 mm, variando de 0,83 a 6,39 mm nos dias 18 e 41 após o plantio e acumulando durante o período de observação 419,87 mm, nos 96 dias do experimento

Os resultados obtidos pelo método B.E₂ são superiores aos determinados pelo método B.E₁ porque a r_{s2} tem valores da ordem de 117 a 175 s.m⁻¹, maiores do que os valores da r_{s1} (de 35,01 a 101,51 s m⁻¹). Cunha (1988) fez o balanço de energia num cultivo de milho híbrido SAVE – 342, na região de Taquari – RS e encontrou uma ET_c mínima de 2,87 e máxima de 6,70 mm.dia⁻¹. O resumo dos valores máximo (Max.) e mínimo (Mín.), dias após o plantio (DAP) da ocorrência do respectivo valor, média e total da evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho, estimada pelos 9 métodos analisados nesse experimento, são apresentados na Tabela 9. A Tabela 9 dos anexos mostra os valores da ET_c diária determinada pelos métodos utilizados nessa pesquisa e a média dos respectivos valores.

4.5.3 – Evapotranspiração decedial da cultura

A evapotranspiração média decedial da cultura do milho BR 106, nesse estudo variou de 21,39 mm a 50,20 mm nos decêndios 2 e 9, respectivamente. Os pequenos valores da ET_c no início do cultivo e consequência do baixo IAF que deixa a superfície do solo praticamente descoberta, fazendo aumentar o fluxo de calor sensível e diminuir o fluxo de calor latente. A Figura 36 mostra as variações da ET_c decedial determinadas pelos diversos modelos utilizados nesse estudo.

A variação da ET_c decedial estimada pelo modelo padrão (Figura 36a) apresenta o valor mínimo de 37,01 mm no 2º decêndio e o máximo de 53,46 mm no 9º decêndio. Entre o quinto e o oitavo decêndio há uma pequena diminuição nos valores da ET_c devido a menor disponibilidade energética, por conta das chuvas que ocorreram nesse período. A variação da evapotranspiração pelo modelo RB₁ tem valores bastante semelhantes aos do método padrão, variando de 37,22 mm a 53,72 mm, respectivamente nos decêndios 2 e 9. As taxas decediais de ET_c obtidas pelo RB₂ só não foram inferiores ao método padrão no sétimo e último decêndios, com uma amplitude maior do que a do modelo padrão, variando de 30,28 mm no início do cultivo a 66,11 mm no 7º decêndio

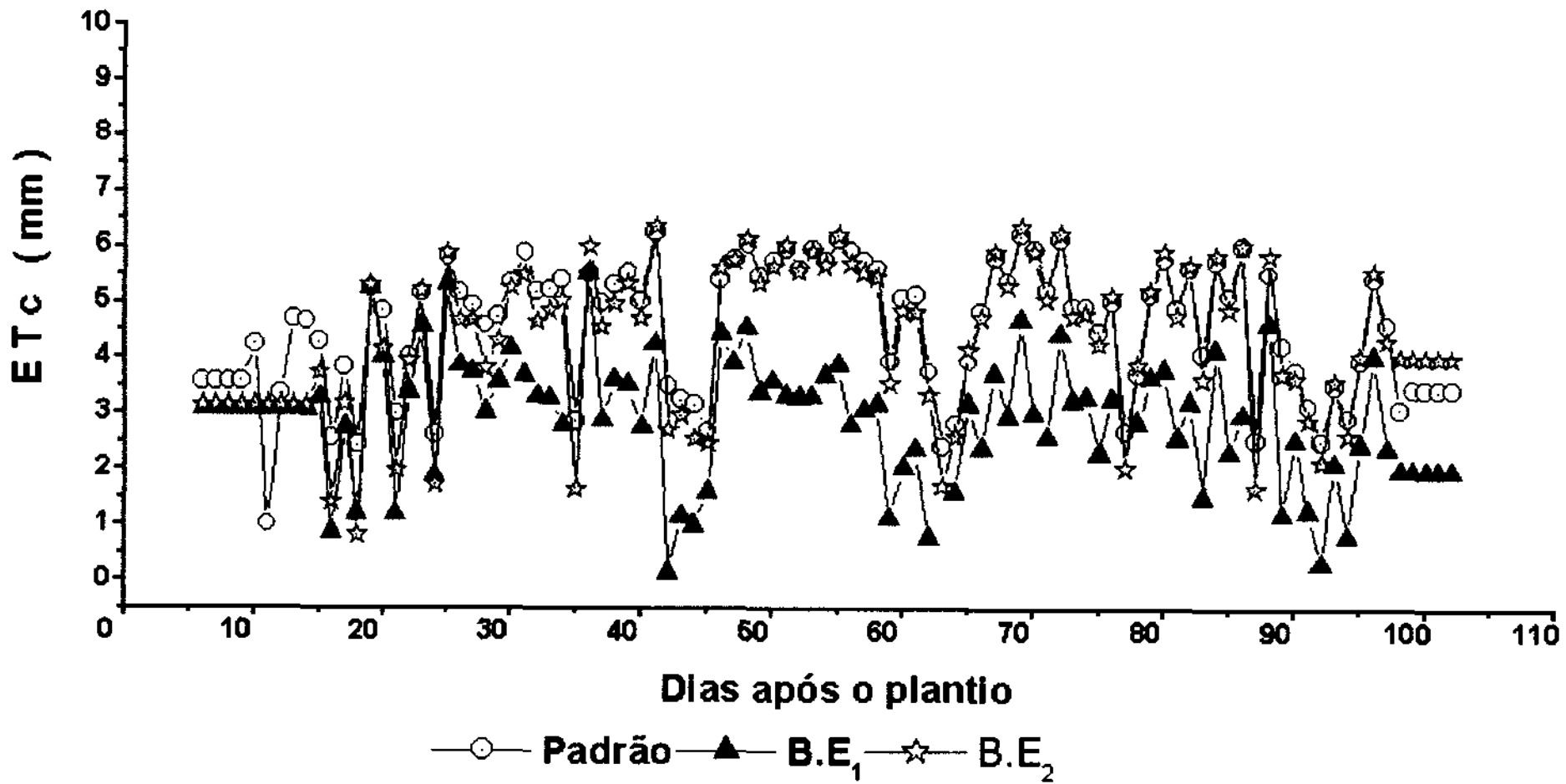


Figura 35 – Evapotranspiração diária da cultura (ETc) do milho, estimadas pelos métodos: padrão, Balanço de Energia, a partir do r_{a1} (B.E₁) e Balanço de Energia a partir da r_{a2} (B.E₂) na região de Rio Largo – AL, no período de 06/01 a 12/04/2002.

Os totais decendiais da EI_c obtidos pelos modelos PMc_1 e PMc_2 são comparados com o método padrão na Figura 36b. Os resultados conseguidos com o PMc_1 ficaram na faixa de 10,12 a 50,70 mm, sendo menores do que os resultados determinados pelo método padrão, com exceção dos decêndios 6 e 7. Mas, a curva do PMc_1 não tem a diminuição (entre o 5º e 8º decêndio) apresentada pela variação do modelo padrão. O modelo PMc_2 , com uma variação de 5,46 a 52,67mm nos decêndios 2 e 9, apresentou resultados semelhantes ao método padrão, exceto nos decêndios 2 e 3.

A Figura 36c mostra a evapotranspiração decendial da cultura, calculada pelas equações PMc_3 e PMc_4 e comparada com a curva padrão. Os valores determinados pela equação PMc_3 foram superiores ao padrão, exceto nos decêndios 2 e 3. O valor mínimo de 6,12mm ocorreu no 2º decêndio e o máximo de 69,69 mm no 6º. Por outro lado a ET_c decendial determinada pela equação PMc_4 , foi semelhante a padrão durante quase todo ciclo da cultura, exceto nos dois primeiros decêndios.

A ET_c estimada pelo método de Penman-Monteith (PMc), nas 4 formas testadas nessa pesquisa, apresentou valores bem menores do que os obtidos pelos demais modelos nos decêndios 2 e 3 porque, na fase inicial de desenvolvimento do milho, a resistência da cultura à transferência de vapor d'água para a atmosfera (r_c) foi muito alta por conta dos baixos valores do IAF. Esse é o único método, dentre os analisados, que inclui a r_c na equação.

As características da evapotranspiração decendial da cultura determinadas pelos modelos BE_1 e BE_2 e a padrão estão na Figura 36d. O modelo BE_1 , nessa escala de tempo também apresentou os menores valores de ET_c , variando de 29,76mm no 2º decêndio a apenas 38,50 no 3º decêndio, de modo que sua curva ficou muito abaixo da curva padrão. Isso aconteceu porque as pequenas diferenças nos valores diários aumentam suas magnitudes quando são integradas em períodos decendiais. A evapotranspiração calculada pelo BE_2 tem uma variação semelhante à padrão, com uma leve tendência de subestimativa, mais acentuada nos 3 primeiros decêndios. Os resultados mínimo e máximo estimados por este modelo foi 31,26 e 51,76mm, respectivamente nos decêndios 2 e 8. A Tabela 10 apresenta os valores decendiais e médios da EI_c do milho BR 106 na região de Rio Largo / AL, no período de janeiro a abril de 2002

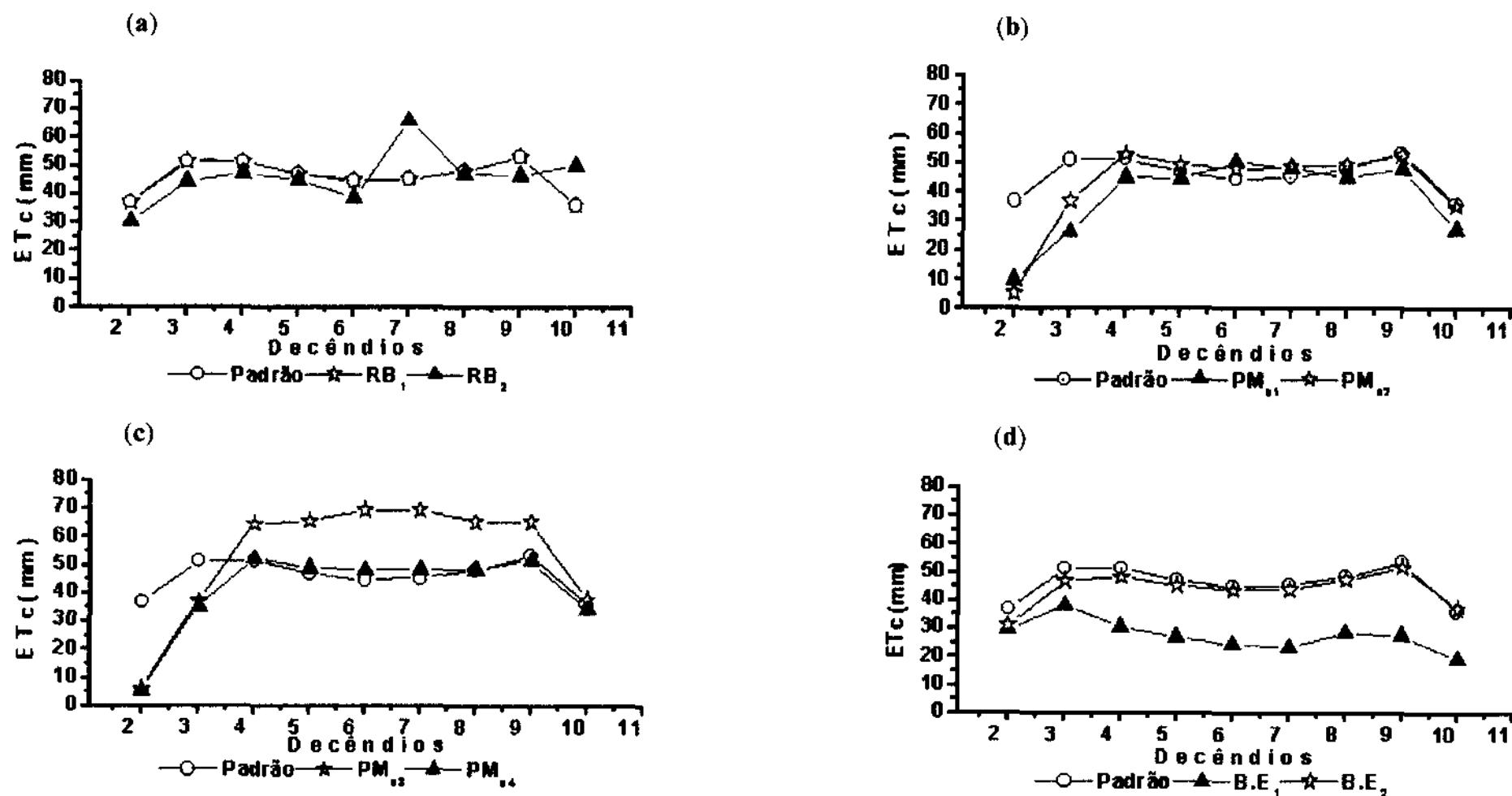


Figura 36 – Características da ET_c decenal do milho, estimadas pelos métodos: a) razão de Bowen com a temperatura da superfície (T_0) e a temperatura do nível 2 (T_2) (Padrão), com T_0 e a temperatura do nível 1 (T_1) (RB_1), e $T_1 - T_2$ (RB_2); b) (Padrão), Penman-Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}) e com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}); c) (Padrão), com r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}) e com r_{c1}/r_{a2} (PM_{c4}) e d) (Padrão), balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 ($B.E_1$) e com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 ($B.E_2$), na região de Rio Largo – AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002.

4.5.4 – Evapotranspiração por fase fenológica da cultura (ET_c)

A Evapotranspiração da cultura, média dos resultados obtidos pelos modelos avaliados nesse estudo (Figura 37a) foi mais alta (64,98 mm) na fase de emissão do pendão. A fase de grão pastoso foi a que registrou o menor valor (21,58 mm). O IAF da 4ª fase fenológica do milho (4,51) foi quem mais contribuiu para a elevação da ET_c, pois teve uma duração de apenas 11 dias. Outras fases tiveram durações de 13 a 14 dias, e, mesmo assim apresentaram uma ET_c menor do que a fase 4. A fase grão pastoso, com apenas 5 dias de duração, teve o tempo como principal fator que contribuiu para a baixa ET_c, pois o IAF dessa fase (2,48) foi maior do que o IAF das fases 1 e 2, respectivamente 0,07 e 1,54. A fase de polinização também teve uma evapotranspiração baixa (32,53 mm) porque só durou 7 dias.

Tabela 9 – Valores máximo (Max.), mínimo (Mín.), número de dias após o plantio (DAP) em que ocorreu o respectivo valor, média e total da evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho, estimada pelos 9 métodos analisados nesse experimento, na região de Rio Largo - AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002.

Métodos	ET _c (mm)					
	Max.	DAP	Mín.	DAP	Média	Total
Padrão	6,28	41	1,00	11	4,54	440,83
RB ₁	6,30	41	1,00	11	4,56	442,43
RB ₂	7,83	72	1,02	11	4,25	411,93
PM _{c1}	7,26	70	0,56	18	3,69	358,05
PM _{c2}	6,58	55	0,15	15	4,02	389,94
PM _{c3}	9,49	55	1,14	15	5,08	492,94
PM _{c4}	6,69	40	0,11	15	3,97	384,78
B.F ₁	5,54	36	0,15	42	2,92	272,01
B.F ₂	6,39	41	0,83	18	4,33	419,87
Média	6,92		0,66		4,15	402,61

Os valores determinados pelo método padrão variou de 22,37 mm a 64,38 mm, nas fases 7 e 3, respectivamente. A evapotranspiração calculada pelo RB₁ é praticamente igual determinada pelo padrão, com um valor mínimo de 22,47 mm na 7ª fase e máxima de 64,67 mm na 4ª fase. O modelo RB₂, com uma ET_c mínima de 18,82 mm e máxima de

Tabela 10 - Valores decendiais da evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho, estimados pelos métodos: razão de Bowen usando a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 1 (T_1) (RB_1), usando a T_o e a temperatura do nível 2 (T_2) (Padrão), usando a T_1 e a T_2 (RB_2), Penman – Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}), com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}); com r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}), com r_{c1}/r_{a2} (PM_{c4}), balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 ($B.E_1$) e com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 ($B.E_2$), na região de Rio Largo – AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002.

Decêndio	RB_1	Padrão	RB_2	PM_{c1}	PM_{c2}	PM_{c3}	PM_{c4}	$B.E_1$	$B.E_2$	Média
1	mm									
2	37,22	37,01	30,28	10,12	5,46	6,12	5,27	29,76	31,26	21,39
3	51,75	51,44	44,64	26,57	37,11	37,09	35,35	38,50	47,07	41,06
4	51,74	51,52	47,38	45,24	53,11	64,56	52,48	30,74	48,29	49,45
5	47,28	47,15	45,07	44,64	49,74	65,83	49,14	27,15	45,41	46,82
6	45,07	44,81	38,65	50,70	48,25	69,63	48,32	24,44	43,71	45,96
7	45,55	45,49	66,11	48,56	49,08	69,55	48,47	23,37	43,92	48,90
8	48,37	48,36	47,32	45,34	49,31	65,57	48,62	28,52	47,40	47,64
9	53,72	53,46	47,02	48,12	52,67	65,53	51,80	27,74	51,76	50,20
10	36,24	36,10	50,34	27,33	35,30	37,86	34,36	19,35	37,27	34,91
Total	416,93	415,35	416,81	346,62	380,02	481,74	373,82	249,56	396,09	386,33

66,27 mm respectivamente, nas fases 7 e 9, em comparação com o método padrão, superestimou a ET_c na 5ª e 9ª fase de desenvolvimento e subestimou-a nas demais.

Os resultados da equação de Penman–Monteith, nas quatro formas testadas nesse experimento, apresentou valores muito baixos, em relação aos apresentados pelo método padrão nas fases 1 e 2, por conta dos baixos valores do IAF e dos altos valores da r_c , característicos do início do desenvolvimento dos cultivos agrícolas. Na comparação entre as curvas da ET_c por fase fenológica do milho estimadas pelas equações PM_{c1} , PM_{c2} e padrão é feita na Figura 37b. Observa-se que a evapotranspiração da cultura determinada pela equação PM_{c1} foi inferior a padrão em todas as fases, exceto nas fases de emissão do pendão e polinização do milho, com valores variando de 13,49 mm a 68,83 mm nas fases 1 e 4, respectivamente. A curva da ET_c determinada pelo modelo PM_{c2} tem resultados semelhantes ao padrão, exceto nas fases 1 e 2. Sendo que na curva obtida pelo PM_{c2} o mínimo de 6,50mm ocorreu na 1ª fase e o máximo de 67,74 mm na emissão do pendão, enquanto que a curva obtida pelo método padrão apresentou os valores mínimo e máximo respectivamente, nas fases 7 e 3.

Os valores da ET_c por fase de desenvolvimento do milho obtidos pelos métodos PM_{c3} e PM_{c4} são comparados com os calculados pelo padrão na Figura 37c. A curva determinada pelo PM_{c3} , com uma variação de 8,45 mm a 93,43 mm respectivamente na 1ª e

4ª fase, apresentou valores bem acima da curva padrão no intervalo da 4ª a 8ª fase fenológica da cultura, e, nas fases 1 e 2 o PM_{c1} subestimou a ET_c , apresentando um valor equivalente ao padrão apenas na fase de grão duro. Por outro lado, a curva construída a partir dos dados estimados pelo modelo PM_{c4} ficou abaixo da padrão durante todo ciclo da cultura, ocorrendo um valor aproximadamente igual ao padrão apenas durante a polinização. A taxa de ET_c obtida pelo PM_{c4} foi mínima 7,04 mm e máxima 68,15 mm nas fases 1 e 4, respectivamente.

A Figura 37d mostra as curvas da evapotranspiração por fase fenológica do milho determinadas pelos modelos BE_1 , BE_2 e a curva padrão. A curva do BE_1 ficou bem abaixo da curva padrão, com um valor mínimo de 10,69mm na 5ª fase e o máximo de 45,45mm na fase de 12 folhas expandidas. Por outro lado, o modelo BE_2 , com exceção das fases 1, 2 e 3, apresentou taxas semelhantes às determinadas pelo padrão. Os valores mínimo e máximo encontrados pelo BE_2 foram 22,24 e 63,71 mm, na 7ª e 4ª fase de desenvolvimento da cultura, respectivamente. A Tabela 11 apresenta os valores da evapotranspiração por fase fenológica do milho, estimada pelos métodos analisados nessa pesquisa e a média dos resultados obtidos pelos referidos métodos.

Tabela 11 - Valores da evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho, por fase fenológica, estimados pelos métodos: razão de Bowen usando a temperatura da superfície (T_0) e a temperatura do nível 1 (T_1) (RB_1), usando a T_0 e a temperatura do nível 2 (T_2) (Padrão), usando a T_1 e a T_2 (RB_2), Penman – Monteith com r_{c1}/r_{n1} (PM_{c1}), com r_{c2}/r_{n2} (PM_{c2}), com r_{c2}/r_{n1} (PM_{c3}), com r_{c1}/r_{n2} (PM_{c4}), balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 (BE_1) e com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 (BE_2), na região de Rio Largo – AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002

Fase fenológica	RB_1	Padrão	RB_2	PM_{c1}	PM_{c2}	PM_{c3}	PM_{c4}	BE_1	BE_2	Média
0	mm									
1	50,82	50,73	42,60	13,49	6,50	8,45	7,04	41,12	42,82	29,29
2	61,87	61,51	53,30	31,69	43,38	43,76	41,36	45,85	55,91	48,74
3	64,61	64,38	60,09	57,80	67,55	84,30	66,26	35,77	60,00	62,31
4	64,67	64,32	57,02	66,83	67,74	93,43	68,15	38,92	63,71	64,98
5	28,80	28,82	51,62	34,10	32,36	48,23	31,69	10,69	26,42	32,53
6	58,05	58,01	56,91	57,61	59,98	82,05	59,67	35,92	57,65	58,43
7	22,47	22,37	18,82	20,43	22,76	29,42	22,31	13,39	22,24	21,58
8	39,85	39,64	34,07	37,11	39,41	49,71	38,92	20,22	38,44	37,49
9	51,28	51,05	66,27	38,98	50,27	53,59	49,38	27,06	52,68	48,95
Total	442,43	440,83	440,69	358,05	389,94	492,94	384,78	268,92	419,87	404,27

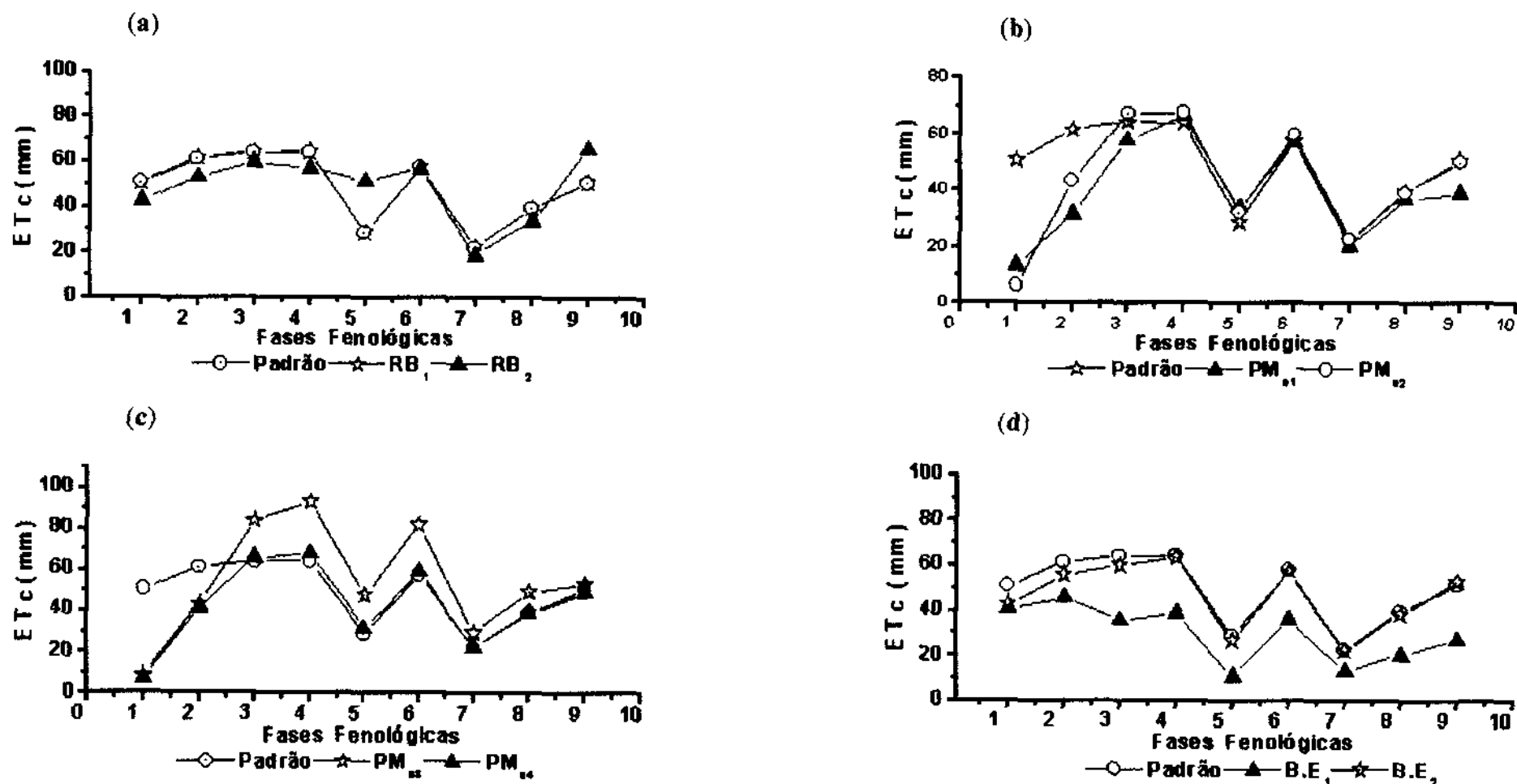


Figura 37 - Evapotranspiração da cultura (ETc) do milho, por fases fenológicas, estimadas pelos métodos: a) razão de Bowen com a temperatura da superfície (To) e a temperatura do nível 2 (T2) (Padrão), com To e a temperatura do nível 1 (T1) (RB₁), e T₁ - T₂ (RB₂); b) (Padrão), Penman-Monteith com r_{c1}/T_{a1} (PM_{c1}) e com r_{c2}/T_{a2} (PM_{c2}); c) (Padrão), com r_{c2}/T_{a1} (PM_{c3}) e com r_{c1}/T_{a2} (PM_{c4}) e d) (Padrão), Balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 (B.E₁) e Balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 (B.E₂), na região de Rio Largo - AL, no período de 1º de janeiro a 12 de abril de 2002.

4.5.5 – Análise de concordância dos resultados da evapotranspiração da cultura

Os resultados da evapotranspiração da cultura, obtidos pelos diferentes métodos utilizados nessa pesquisa e a média foram comparados com os resultados obtidos pelo método padrão. Na Tabela 12 são mostrados os valores da raiz média quadrática das diferenças (rmqd) e “d” resultantes da comparação das taxas de ETc diária, decendial e por fase fenológica do milho.

A melhor concordância foi aferida pelo modelo RB₁, com “d” igual a 1,00, tanto para os resultados diários como para os decendiais e por fase da cultura. Os valores da rmqd foram, na mesma ordem, 0,03 mm, 0,20 mm e 0,22 mm. Em segundo lugar veio o modelo BE₂ que obteve índices “d” de 0,95, 0,94 e 0,98 com rmqd de 0,55 mm, 2,88 mm e 3,70 mm respectivamente, para as ETc diária, decendial e por fase de desenvolvimento do milho.

O modelo BE₁ seguido do PMc₁ foram os que menos concordaram com o padrão. Os valores diários, decendiais e por fase da cultura do “d” e rmqd do BE₁ foram 0,62, 0,36 e 0,69 e 1,99 mm, 19,13 mm e 20,14 mm, respectivamente. O PMc₁ obteve “d” igual a 0,65, 0,47 e 0,62 e rmqd de 1,83 mm, 17,03 mm e 20,36 mm, na mesma ordem para ETc diária, decendial e por fase de desenvolvimento da cultura

4.6 – Coeficiente de cultura (Kc)

A Figura 38 mostra a variação do coeficiente de cultura médio (Kc_m) e da altura (L) das plantas relacionadas com as fases fenológicas e as necessidades térmicas (graus dia – GD) da cultura do milho BR106 na região de Rio Largo–AL. Os valores do Kc_m, determinado através da evapotranspiração da cultura (ETc) média e da evapotranspiração de referência (ET_o) média, foi de 0,59 na fase fenológica 1 (4 folhas), 1,17 na fase de grão leitoso e 0,98 na fase 9 (grão duro). Esses valores são semelhantes aos indicados por Allen et al. (1998), recomendações mais atualizadas da FAO, que varia de 0,5 a 1,15 e 0,5 nas fases de desenvolvimento inicial, intermediária e final da cultura, respectivamente. Cunha (1988), no Rio Grande do Sul, utilizando o balanço de energia e a ET_o padrão da FAO, encontrou um Kc de 0,63 na fase inicial, 1,18 no pendoamento e 0,95 no final do cultivo de milho.

Tabela 12 - Valores diários, decendiais e por fase fenológica da cultura do milho, da raiz média quadrática das diferenças (rmqd) e concordância ("d") de Willmott (1984) dos métodos razão de Bowen com a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 2 (T_2) (Padrão), com T_o e a temperatura do nível 1 (T_1) (RB_1), e $T_1 - T_2$ (RB_2); Penman-Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}), com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}); com r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}), com r_{c1}/r_{a2} (PM_{c4}), balanço de Energia com o fluxo de calor (H) estimado com ra_1 ($B.E_1$) e com o fluxo de calor (H) estimado com ra_2 ($B.E_2$), na região de Rio Largo -AL no período de 01/jan a 12/abr de 2.002.

Métodos de ETC	Concordância (diária)		Concordância (decêndio)		Concordância (fase)	
	Rmqd (mm)	"d"	Rmqd (mm)	"d"	Rmqd (mm)	"d"
Média X Padrão	0,82	0,90	7,16	0,77	9,13	0,90
RB_1 X Padrão	0,0	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
RB_2 X Padrão	0,8	0,9	9,6	0,5	10,6	0,8
$P-Mc_1$ X Padrão	1,5	0,76	13,1	0,5	16,7	0,7
$P-Mc_2$ X Padrão	1,4	0,8	11,7	0,7	16,1	0,8
$P-Mc_3$ X Padrão	2,1	0,7	19,2	0,5	22,3	0,6
$P-Mc_4$ X Padrão	1,4	0,8	12,0	0,6	16,1	0,8
$B.E_1$ X Padrão	2,0	0,6	19,1	0,4	20,1	0,7
$B.E_2$ X Padrão	0,6	1,0	2,9	0,9	3,7	1,0

No Rio Grande do Sul, Aragomês et al (1997) encontraram um K_c de 0,4 no início do desenvolvimento do milho e 1,4 na fase de pendramento. Em Mossoró - RN, o K_c do milho estimado por meio de lisímetros é 0,52 na primeira fase do cultivo, 1,09 no enchimento dos grãos e 0,85 na maturação fisiológica (Espinola Sobrinho et al., 1989). A evapotranspiração da cultura é a soma da evaporação da água do solo (EV) e a transpiração das plantas (T_p) Na fase inicial do desenvolvimento da cultura, com o IAF inferior a 0,5 a maior parte da ETC se dá pela EV e a medida que as plantas se desenvolvem a T_p vai aumentando até se tornar a maior contribuinte da ETC. O método da razão de Bowen (padrão), por ter como base a temperatura da superfície do cultivo e a temperatura do ar, é mais sensível a EV do que o modelo de Penman-Monteith (PMc_2) que se baseia também nas características da vegetação como a resistência da cultura (r_c) que está inversamente relacionada ao IAF e por conta disso, o PMc_2 é mais sensível a T_p . Por esses motivos, o Kc_1 [estimado pela ET_c da razão de Bowen (padrão) e ET_o de Penman-Monteith com R_n medido (padrão da FAO)], nas duas primeiras fases do milho foi bem superior ao Kc_2 [calculado através da ET_c de Penman-Monteith (PMc_2) e da ET_o padrão da FAO] A partir da terceira fase, com o IAF acima de 3,5

a r_c diminui, aumentando assim a ET_c pelo PMc_1 e o Kc_2 ultrapassou o Kc_1 . Da 7ª fase em diante, quando o IAF reduziu para menos de 3,0, os dois Kc foram praticamente iguais. O Kc_1 variou de 1,12 a 1,20 e 1,02, respectivamente nas fases 1, 6 e 9 e o Kc_2 foi de 0,14, 1,30 e 1,00 nas fase 1, 5 e 9, na mesma ordem (Figura 39). Esses resultados foram mais elevados do que os encontrados por Bezerra e Oliveira (1999), em Fortaleza – CE, através da ET_c calculada pelo balanço hídrico e da ET_o de Penman-Monteith (padrão da FAO) que foi de 0,73, 1,11 e 0,64 na fase de desenvolvimento inicial, fase de máximo crescimento das plantas e fase final do ciclo da cultura do milho, respectivamente.

A Figura 40 mostra as variações do coeficiente de cultura do milho na região de Rio Largo – AL, determinados em função da ET_c padrão e da ET_o calculada pelo modelo de Linacre (Kc_3), e, através da ET_c do PMc_2 e da ET_o de linacre (Kc_4). O Kc_3 variou de 0,99 a 1,42 e 0,95 na 1ª, 4ª e 9ª fase fenológica da cultura. Enquanto o Kc_4 na 1ª fase foi 0,13, na 4ª fase 1,49 e 0,93 na fase 9 (grão duro). As diferenças entre esses coeficientes é consequência do fato da ET_c da razão de Bowen nas duas primeiras fases, ser composta em sua maior parte pela evaporação do solo e a ET_c do PMc_2 ser caracterizada pela transpiração das plantas que nesse período ainda encontram-se pouco desenvolvidas. Matzenauer et al. (1983), numa média de 4 cultivos, entre as safras de 1976/77 a 1979/80, através da ET_c de um lisímetro de drenagem e ET_o de Penman-Monteith, encontraram um Kc variando de 0,4 a 1,1 e 0,81 nas fases inicial, pendoamento e maturação fisiológica do milho, respectivamente. Na safra de 1976/77 o Kc , estimado por esses pesquisadores, foi de 0,31 no início do cultivo, 1,24 no pendoamento e 0,78 na maturação fisiológica. A Tabela 13 apresenta os Kc do milho na região de Rio Largo – AL, determinados pelos diversos métodos utilizados nesse estudo com suas respectivas médias. O coeficiente de cultura recomendado pela FAO (Doorenbos e Pruitt, 1979), para o milho, em regiões com umidade relativa do ar superior a 70% e velocidade do vento menor que 5 m s^{-1} , é de 0,3 na fase de desenvolvimento inicial, 1,05 na fase de máximo crescimento da cultura e 0,5 no final do ciclo de cultivo.

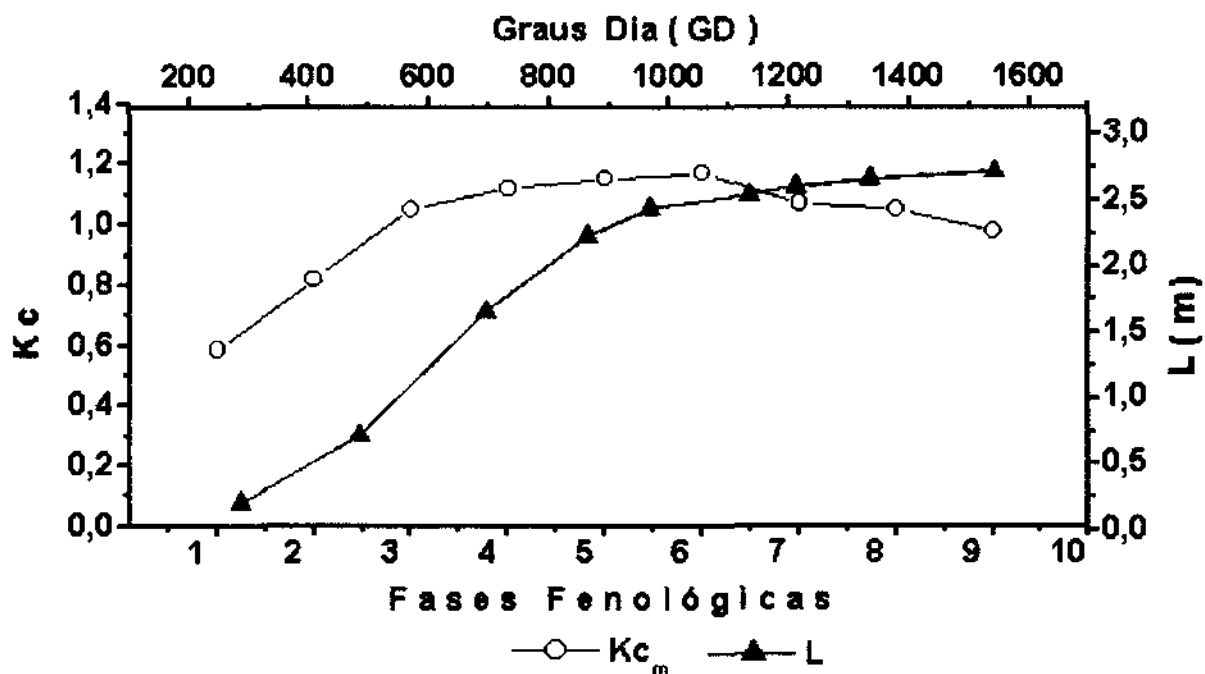


Figura 38 - Variação do coeficiente de cultura obtido a partir da evapotranspiração da cultura (ET_c) média e da evapotranspiração de referência (ET_o) média (Kc_m) e da altura (L) das plantas relacionadas com as fases fenológicas e as necessidades térmicas (graus dia - GD) da cultura do milho na região de Rio Largo - AL.

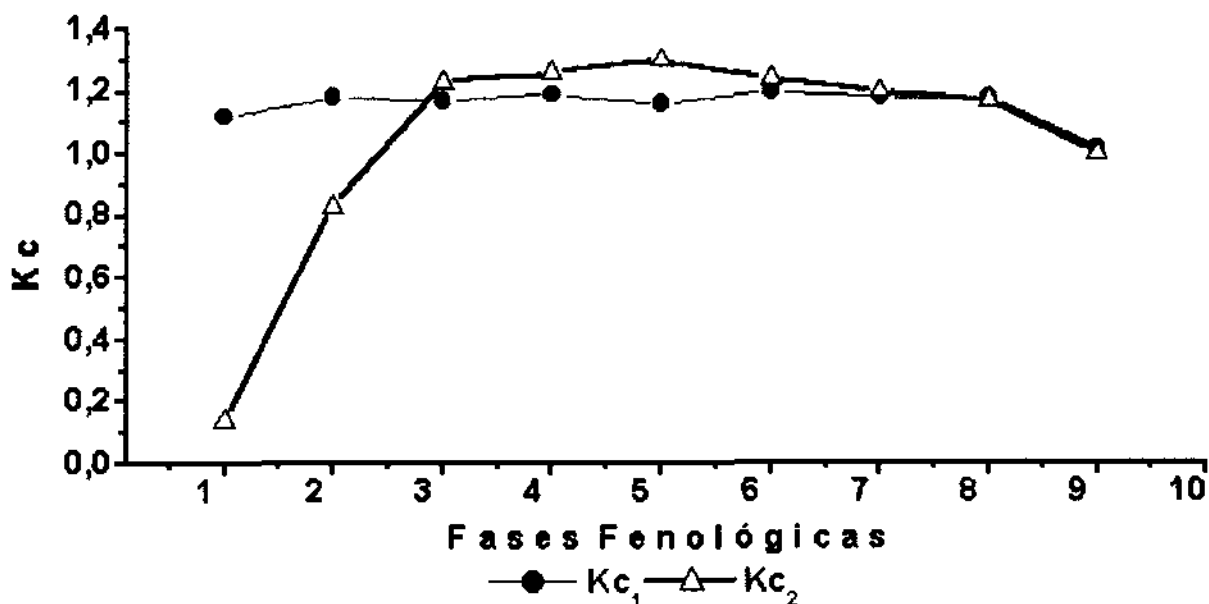


Figura 39 - Variação do coeficiente de cultura, obtido pela ET_c da razão de Bowen (padrão) e ET_o de Penman-Monteith com R_n medido (padrão da FAO) (Kc_1) e do Kc_2 calculado através da ET_c (PMc_2) e da ET_o padrão da FAO, relacionadas com as fases fenológicas da cultura do milho na região de Rio Largo - AL.

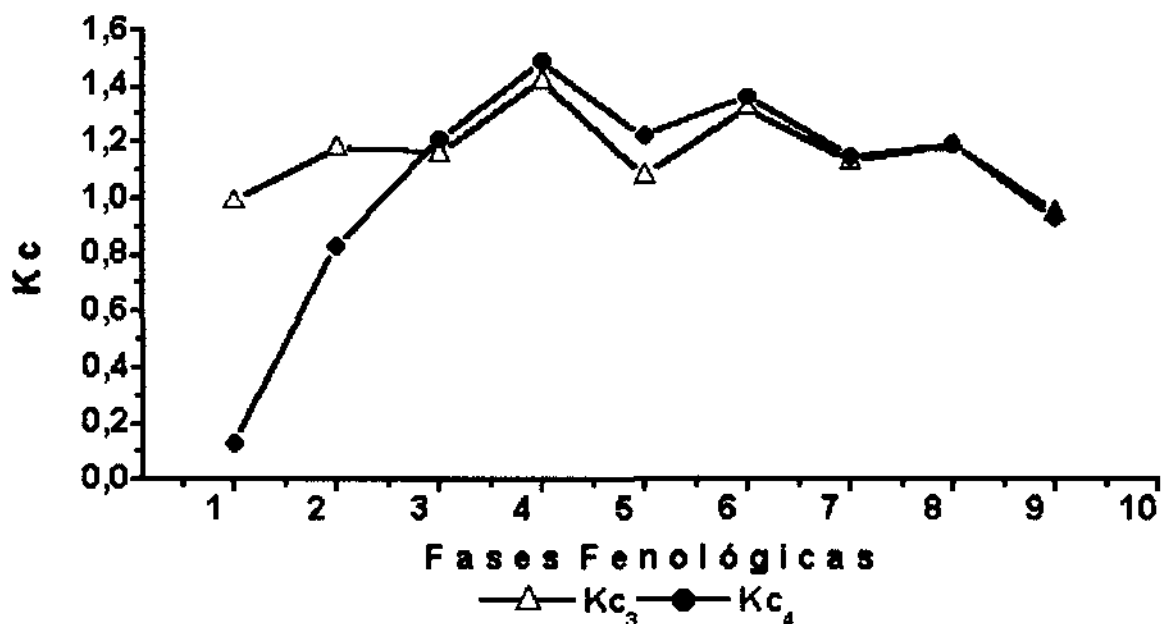


Figura 40 - Variação do coeficiente de cultura do milho na região de Rio Largo - AL, determinados em função da ETc padrão e da ETo calculada pelo modelo de Linacre (Kc₃) e através da ETc do PMc₂ e da ETo de linacre (Kc₄).

Tabela 13 - Coeficientes de cultura do milho na região de Rio Largo - AL, estimados em função de diversos métodos de evapotranspiração da cultura (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo) analisados nessa pesquisa.

Ordem	Métodos ETc / ETo	Fases da cultura								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Kc								
1	Padrão / Padrão	1.12	1.18	1.17	1.19	1.16	1.20	1.18	1.18	1.02
2	PMc2 / Padrão	0.14	0.83	1.23	1.26	1.30	1.24	1.20	1.17	1.00
3	Padrão / Lin.	0.99	1.18	1.16	1.42	1.08	1.32	1.13	1.19	0.95
4	PMc2 / Lin.	0.13	0.83	1.21	1.49	1.22	1.36	1.15	1.19	0.93
5	Padrão / C.A	0.93	0.98	1.08	1.06	0.94	-	-	-	1.23
6	PMc2 / C.A	0.12	0.69	1.14	1.11	1.05	-	-	-	1.21
7	Padrão / Rad _c	1.03	1.03	1.10	1.07	0.98	1.18	1.12	1.14	1.04
8	Padrão / Rad	1.17	1.15	1.18	1.15	1.19	1.19	1.25	1.19	1.26
9	Padrão / B.C.	1.19	1.18	1.28	1.25	1.13	1.33	1.30	1.26	1.18
10	Padrão / Pen.	0.89	0.97	1.01	1.06	0.91	1.11	1.02	1.07	0.93
11	Padrão / Pen _c	1.00	1.05	1.04	1.06	1.04	1.08	1.06	1.06	1.04
12	PMc2 / PMe	0.13	0.77	1.19	1.25	1.15	1.28	1.15	1.19	1.01
13	PMc2 / Pen.	0.11	0.69	1.06	1.11	1.02	1.15	1.04	1.07	0.91
14	PMc2 / Pen _c	0.13	0.74	1.09	1.12	1.16	1.11	1.08	1.05	1.02
15	Padrão / PMe.	1.01	1.10	1.14	1.19	1.02	1.24	1.13	1.20	1.02
16	PMc2 / Rge	0.13	0.73	1.16	1.12	1.10	1.22	1.14	1.14	1.03
17	PMc2 / Rg	0.15	0.81	1.24	1.21	1.34	1.23	1.28	1.19	1.24
18	PMc2 / B.C.	0.15	0.83	1.35	1.32	1.27	1.38	1.32	1.26	1.17
Médio	Média / Média	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Média	Geral	0.58	0.93	1.16	1.19	1.12	1.23	1.16	1.16	1.07

5.0 – CONCLUSÃO

A análise e discussão dos resultados induz às seguintes conclusões:

- A evapotranspiração de referência média foi máxima no mês de fevereiro, variando conforme o método.

- Quando se utiliza o saldo de radiação e radiação solar global medidos nos métodos de Penman (1984) e radiação da FAO, respectivamente, os resultados da evapotranspiração de referência concordam melhor com os resultados de Penman-Monteith da FAO.

- Os métodos de evapotranspiração que melhor concordaram com o padrão da FAO foram o da radiação com a R_g medida, Penman com o saldo de radiação medido e Blaney-Criddle. Os resultados obtidos pela evaporação do Tanque Classe “A” e Linacre tiveram as menores concordâncias.

- No período entre 8 e 12 folhas expandidas, o milho apresentou a maior necessidade térmica e acumulou mais matéria seca

- O índice de área foliar aumenta em fase com a altura das plantas até o dia 52 após a emergência, na fase de emissão do pendão. Em seguida, esse índice diminui devido a senescência das folhas mais velhas

- A resistência aerodinâmica, determinada em função dos parâmetros da cultura, nos primeiros 30 dias após a emergência, apresenta valores bem mais elevados do que no restante do ciclo de desenvolvimento, e, quando calculada apenas em função do vento, mantém-se mais ou menos constante

- A resistência da cultura no período de 0 a 20 dias após a emergência, diminui em ordem logarítmica e no final do ciclo de produção apresenta um leve aumento.

- A maior parte do saldo de radiação sobre a cultura do milho (84%) foi usada como fluxo de calor latente que tem relação direta com o índice de área foliar. O fluxo de calor sensível

foi maior do que o fluxo de energia no solo e os dois diminuem a medida que aumenta o sombreamento da superfície.

- A evapotranspiração da cultura aumentou com o índice de área foliar e foi máxima aos 69 dias após o plantio, na fase de polinização do milho.

- Os resultados diários pelo método do balanço de energia, em função da resistência aerodinâmica, determinada pela fórmula original de Penman, concordaram 100 % com os dados da razão de Bowem. O modelo de Penman-Monteith com a resistência da cultura em função apenas do IAF e resistência aerodinâmica da fórmula original de Penman, dentre as quatro maneiras testadas, foi a que estimou a evapotranspiração da cultura mais semelhante com a calculada pelo método padrão. Os modelos apresentaram melhores concordâncias nos resultados diários e por fase fenológica da cultura.

- O coeficiente de cultura médio apresentou valores semelhantes aos recomendados pela FAO.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P.E.P. **Requerimento da água das culturas para fins de manejo e dimensionamento de sistemas de irrigação localizada**. Sete Lagoas – MG: EMBRAPA/CN, 2000. 54p. (Circular técnica nº 1).

ALFONSI, R.R., SANTOS FILHO, B.G., PEDRRO JUNIOR, M.J., BRUNINI, O., CAMARGO, M.B.P. Balanço de energia em milho. **Pesq. Agropec. Brás.**, Brasília, v.21, n. 12, p.1233-1235, 1986

ALLEN, R. G., PRUITT, W.O. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston - USA, V. 112, n. 2 p. 139 – 163, 1986.

ALLEN, R.G., ASCE, M. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** Reston - USA, V. 112, n. 4 p. 348 - 369, 1986.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements** FAO - Rome, 1998. 280p. (Irrigation and drainage paper 56).

ANYADIKE, R.N.C. The Linacre evaporation formula tested and compared to others in various climates over West África **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam: V. 39, p 111 - 119, 1987

ARAGOMÉS, R.S., BERGAMASCHI, H., RADIN, B. et al. Evapotranspiração do milho relacionada ao crescimento das plantas e à demanda evaporativa atmosférica. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9. Livros de resumos.....Porto Alegre: UFRGS/PROPESQ. P. 104. 1997.

ARAÚJO, S.M.C., OSUNA, J.A, KINOUCI, M.R., BENINCASA, M.M.P. Avaliação do potencial forrageiro de oito cultivares de milho em função da produção de matéria e sua distribuição em diferentes partes da planta. **Científica, São Paulo -SP – revista de Agronomia, Universidade Estadual Paulista / UNESP, v. 20, n. 1, p. 109-127, 1992.**

BARRETO, E.J.S., SOUZA, J.L.; MOURA FILHO, G., CAVALCANTI, E.A.B., SANTOS, E.A, SILVA NETO, J.L. Avaliação térmica de cultivo de milho na Região de Tabuleiro Costeiro de Alagoas, 2000 . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2.001, Fortaleza - CE. Anais. Fortaleza, 2.001.

BERLATO, M.A , MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração.** Porto Alegre: IPAGRO, Secretaria da Agricultura – RS, 1981. 95p. (Boletim técnico, 7).

BEZERRA, F.M.L, OLIVEIRA, C.H.C. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura para o milho em Fortaleza-CE. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal, V. 19, n. 1, p. 1 - 7, 1999**

BRUN, L.J, KANEMASU, T, POWERS, W.L. Estimating transpiration resistance. **Agronomy journal V. 65, p 326 - 328, 1973**

CARDOSO, M.J, ARAUJO JUNIOR, A.S., BASTOS, E.A. Graus-dia na determinação do ciclo de variedades de milho. In CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2.001, Fortaleza - CE. Anais. Fortaleza, 2.001.

CARVALHO, H.W.L., SANTOS, M.X, LEAL, M.L. et al. **Cultivares de milho na região Nordeste Brasileira no ano de 1994.** Aracaju-SE: EMBRAPA / CNPTC, 1996. 35p (Comunicado Técnico nº 8)

CHOUHDURY, B.J., REGINATO, R.J., IDSO, S.B. An analysis of infrared temperature observations over wheat and calculation of latent heat flux. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam: V. 37, p 75 – 88, 1986.

CRUZ, J.C., MONTEIRO, J.A., SANTANA, D.P., GARCIA, J.C., BAHIA, F.G.F.T.C., SANS, L.M.A., PEREIRA FILHO, I.A. **Recomendações Técnicas para o cultivo do milho**. Brasília: EMBRAPA, 1997. 204 p.

CUNHA, A. R. **Determinação da razão entre a evapotranspiração máxima de uma cultura de arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L) e a evapotranspiração potencial**. 1989. 94p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC - Agronomia) – Graduação em Agronomia. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1989.

CUNHA, G. R. **Estudo micrometeorológico da transferência vertical de vapor d'água e energia em milho**. 1988. 142p Dissertação (Mestrado em fitotecnia) – Programa de pós-graduação em Agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

CUNHA, G R , BERGAMASCHI, H , BERLATO, M.A., MATENAUER, R. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, V. 4, n 1. p 1 - 14 1996

DALE, R.F., COELHO, D.T., GALLO, K.P. Prediction of daily green leaf area index for corn. **Agronomy Journal**, Madison, V. 72, p.999 – 1005, 1980.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O., **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome. FAO, 1977. 144p. (Irrigation and drainage, Paper 24).

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O., **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome. FAO, 1979. 197p. (Irrigation and drainage, Paper 33).

EDUARDO R.G., ALEXANDRE S.V., JOSÉ M.R.O.R. et al. Análise de crescimento de milho (*Zea mays* L.) cultivado em diferentes densidades populacionais na região de Governado Valadares. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23, 2000, Uberlândia - MG, CD - ABMS Uberlândia, 2000.

EDY, S.N. **Growing degree-days and crop production in Canadá.** Agrometeorology Research and service Chemistry and Biology Research Institute. 1977, 63p.

ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MEDINA, B. F. & MAIA NETO, J. M. Determinações de campo da evapotranspiração e dos coeficientes de cultivo para caupi e milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió - AL. Anais. Maceió, 1989.

GODOY, R. C. B. Milho, contexto mundial. www.pr.gov.br/seab/deral/cultur14.rtf. Pesquisado na Internet em 2002.

FANCELLI, A.L., DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba - RS: Livraria e editora agropecuária. 2000. 359p.

HANWAY, J.J. Growth stages of corn (*Zea mays* L). **Agronomy journal**, Madison, V. 45, p. 487 - 491, 1963

HARBECK Jr, G.E., NORDENSON, T.J., OMAR, V.A. **Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration.** Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, 1971 122 p. (Nota técnica - 83).

IDSO, S.B., JACKSON, R.D., EHRLER, W.L., MITCHELL, R. A method for determination of infrared emittance of leaves. **Ecology** V. 50, n 5. p 889 - 902, 1969.

JARA, J., STOCKLE, C.O., KJELGAARD, J. Measurements of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mays* L.) field. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam: V 92, p 131 - 145, 1998.

JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants In: Water deficits and plant growth. New York, Academic Press Inc, 22 p., 1968.

LINACRE, E. T. A simple formula for estimating rates in various climates using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, V 18, p 409 – 424, 1977.

MAGALHÃES, P.C., DURÃES, F.O.M., PAIVA, E. **Fisiologia da planta do milho**. Sete Lagoas – MG: EMBRAPA / CN, 1995. 27p. (Circular técnica nº 20).

MARTINS, L.T.G. **Características energéticas em cultivo de milho (*Zea mays* L.) em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas**. 2002. 84p Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de pós-graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2002.

MATZENAUER, R., WESTPHALEN, S.L., BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesq. Agropec. Brás.**, Brasília, 18 (11): 1207 - 1414, nov. 1983.

MCKENNEY, M.S., ROSENBERG, N.J. Sensitivity of some potential evaporation estimation methods to climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam: V 64, p 81 - 110, 1992

MONTEITH, J.I. **Principles of environmental physics**. New York: American elsevier publishing company, 1973 168p

NARWAL, S.S., POONIA, S., SINGH, G., MALIK, D.S. Influence of sowing dates on the growing degree days and phenology of winter maize (*Zea mays* L). **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam V 38, p 47 - 57, 1986.

PENMAN, H.L. Estimating evaporation. **American Geophysical Union**, V. 37, N.1 p. 43 - 50, 1956

PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ (Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queros), 1997. 1863p.

PEREIRA, A.R., ANGELOCCI, L.R., SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba – RS: Livraria e editora agropecuária., 2002. 478p.

PERES, J.G., PEREIRA, A.R., FRIZONE, J.A., VILA NOVA, N.A. Determinação da resistência do dossel da grama para as condições de evapotranspiração potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, V. 4. n. 1. p. 55 – 60 . 1996.

PEREZ, P.J., CASTELVI, F. IBÁÑEZ, M., ROSELL, J.I. Assessment of reliable Bowen ratio method partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam: V 97, p. 141 - 150, 1999.

RADIN, B. **Evapotranspiração máxima do milho medida em lisímetro e estimada pelo modelo Penman – Monteith modificado**. 1998. 95p. Dissertação (Mestrado em fitotecnia) – Programa de pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

RAMOS, L. R. M. & MUNDSTOCK, C. M. Acúmulo de matéria seca em três híbridos de milho no período de formação dos grãos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, V.21, n. 3, p. 265-270, 1986.

SANTIAGO, A.V **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO – 56), nas escalas mensal e decendial**. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de pós-graduação da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SANTOS, A.J.B. **Micrometeorologia de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas**. 2001. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de pós-graduação em meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2001.

SANTOS, A.O., BERGAMASCHI, H., CUNHA, G.R. Avaliação de métodos para a estimativa da evapotranspiração máxima da alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, V. 2, p. 37 – 42, 1994.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, V. 4, n. 1, p. i-xii. 1996.

SEPLAN – AL (Secretaria de Planejamento do Estado de Alagoas) Anuários estatísticos de 2000. www.seplan.al.gov.br , consulta da internet em setembro de 2002.

SHUTTLEWORTH, W.J., GURNEY, R.J. The theoretical relationship between foliage temperature and canopy resistance in sparse crops. **Q. J. R. Meteorology Society**, V. 116 p. 497 – 519, 1990.

SMITH, R.C.G., BARRS, H.D., MEYER, W.S. Evaporation from irrigated wheat estimated using radiative surface temperature: an operational approach. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam: V. 48, p 331 – 344, 1989.

SOUZA, J.L., BARRETO, E.J.S., MOURA FILHO, G., CAVALCANTI, E.A.B., SANTOS, E.A., SILVA NETO, J.L. Relações entre radiação solar global, PAR e saldo de radiação em cultivo de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2001, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBMET, 2001.

STEWART, J.B. A discussion of the relationships between the principal forms of the combination equation for estimating crop evaporation. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam: V. 30, p 111 – 127, 1983.

TANNER, C.C. Energy balance approach to evapotranspiration from crop. **Soil Science society of América**, Madison: V. 24, n. 1, p 1 – 9, 1960.

TOLEDO FILHO, M.R. **Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas**, 2001. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VAREJÃO - SILVA, M A **Meteorologia e climatologia**. Brasília - DF: INEMET. 2000. 532p.

WILLMONTT, C J **On the avaluation of model performance in physical geography**. In:
GAILE, G. L., WILLMONTT, C J. **Spatial statistics and model**. Dordrecht: D. Reidel, 1984. p.
443 - 459.

A N E X O S

Tabela 1– Fator P do método de Bleney-Criddle, em função da latitude e da época do ano.
Adaptado de Doorenbos e Pruitt (1977).

Latitude												
Norte	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Sul	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
60°	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
52	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17
50	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
48	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
46	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
44	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
42	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
30	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
25	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Tabela 2 – Valores diários da evapotranspiração de referência ET_0 (mm), estimados pelos métodos de Linacre (Lin.), Penman-Monteith com R_n estimado (PM_e), Penman-Monteith com R_n medido - padrão da FAO (PM), Penman (1948) com R_n estimado (Pen_e), Penman (1948) com R_n medido (Pen), Tanque classe “A” (C.A), Blaney-Criddle (B-C), Radiação com R_g estimado (Rad_e), com R_g medida (Rad) e média.

Dia	Lin	PM_e	PM	Pen_e	Pen	C.A	B-C	Rad_e	Rad	Média
1	3,19	2,88	1,63	3,26	1,84	3,98	1,96	2,53	1,32	2,51
2	4,16	3,49	3,04	3,87	3,35	3,80	3,12	3,13	2,77	3,41
3	3,96	3,18	2,80	3,58	3,13	2,85	2,50	2,68	2,29	3,00
4	4,06	2,98	2,63	3,33	2,92	2,16	2,34	2,50	2,25	2,80
5	3,85	2,98	2,96	3,36	3,34	2,89	2,24	2,61	2,48	2,97
6	3,51	2,96	2,83	3,37	3,23	2,57	2,32	2,58	2,36	2,86
7	3,38	3,07	2,61	3,43	2,92	3,09	2,33	2,78	2,26	2,87
8	3,76	3,65	3,90	4,14	4,42	2,38	3,16	3,65	3,71	3,64
9	3,71	4,14	4,19	4,66	4,72	4,26	3,74	4,35	3,96	4,19
10	3,29	3,70	3,67	4,21	4,18	4,40	3,07	3,76	3,12	3,71
11	2,65	2,54	0,88	2,81	1,00	4,19	1,47	2,14	0,49	2,02
12	3,34	3,12	2,78	3,53	3,15	5,11	2,36	2,96	2,50	3,21
13	3,93	4,49	4,03	5,05	4,53	2,05	4,24	4,82	3,96	4,12
14	3,84	4,18	3,98	4,73	4,50	4,71	3,79	4,40	4,17	4,26
15	4,52	3,89	3,92	4,37	4,40	4,41	3,47	3,72	4,26	4,11
16	3,96	3,23	2,43	3,62	2,70	4,36	2,57	2,75	2,56	3,13
17	4,06	3,65	3,46	4,10	3,88	3,88	3,22	3,54	3,66	3,72
18	3,09	2,87	2,03	3,23	2,30	4,06	2,07	2,59	1,83	2,67
19	4,09	4,89	4,42	5,48	4,95	5,03	4,73	5,37	4,62	4,84
20	4,21	5,07	4,19	5,68	4,69	4,87	5,01	5,67	4,47	4,87
21	3,38	3,15	2,63	3,57	2,98	3,80	2,46	2,93	2,28	3,02
22	3,41	3,61	3,45	4,11	3,91	2,81	2,99	3,61	3,08	3,45
23	3,83	4,37	4,40	4,95	4,99	6,66	4,12	4,63	4,31	4,69
24	3,46	3,00	2,24	3,33	2,50	5,83	2,26	2,65	1,94	3,02
25	4,19	4,81	4,81	5,46	5,47	3,84	4,65	5,39	5,12	4,86
26	4,25	4,82	4,36	5,14	4,92	5,64	4,56	5,34	4,57	4,88
27	4,25	3,13	4,26	3,48	4,76	4,96	2,55	2,68	4,56	3,85
28	3,98	4,09	3,86	4,55	4,30	4,62	3,65	4,15	3,97	4,13
29	4,17	5,10	3,88	5,73	4,35	4,54	4,99	5,80	4,20	4,75
30	4,17	5,09	4,65	5,78	5,27	4,56	5,25	5,86	4,96	5,09
31	4,25	5,09	5,11	5,73	5,76	4,59	5,48	5,71	5,46	5,24
32	4,19	4,80	4,38	5,37	4,89	6,29	4,38	5,26	4,60	4,90
33	4,14	4,75	4,42	5,36	4,98	5,49	4,58	5,27	4,92	4,88
34	4,92	5,24	4,72	5,98	5,36	5,20	5,29	6,02	5,12	5,31
35	3,50	2,93	2,51	3,27	2,79	5,48	2,10	2,46	2,13	3,02
36	4,45	4,70	4,77	5,23	5,30	2,34	4,61	4,92	4,57	4,54
37	3,98	3,97	4,28	4,46	4,82	4,11	3,35	3,98	4,26	4,14
38	4,21	4,67	4,60	5,21	5,14	4,86	4,35	5,04	4,51	4,74
39	4,33	4,39	4,69	4,96	5,30	5,18	4,17	4,73	4,77	4,72
40	3,98	4,35	4,33	4,91	4,89	5,45	3,92	4,65	4,28	4,53
41	4,12	5,14	5,29	5,84	6,02	4,76	5,11	5,88	5,51	5,30
42	3,19	3,32	2,96	3,76	3,35	6,07	2,62	3,18	2,86	3,51
43	3,67	3,35	2,88	3,78	3,24	2,33	2,60	3,15	2,58	3,06
44	3,47	2,85	2,71	3,19	3,05	3,89	1,89	2,46	2,46	2,89
45	3,55	3,09	2,47	3,42	2,73	1,78	2,17	2,70	1,97	2,65
46	3,92	3,93	4,49	4,41	5,04	2,56	3,35	3,97	4,47	4,02
47	3,95	4,70	4,91	5,27	5,50	4,35	4,40	5,13	4,94	4,79
48	4,25	4,95	5,11	5,51	5,69	5,20	4,58	5,42	5,18	5,10
49	4,11	5,07	4,60	5,67	5,14	4,37	4,66	5,58	4,62	4,87
50	4,04	4,42	4,70	4,98	5,31	6,96	4,31	4,81	5,00	4,95
51	4,09	4,99	4,95	5,67	5,62	5,48	4,85	5,71	5,22	5,17

Continuação da Tabela 2

Dia	Lin	PM	PM	Pen.	Pen	C.A	B-C	Rad.	Rad	Média
52	3,90	4,75	4,75	5,32	5,32	5,91	4,22	5,17	4,77	4,90
53	3,85	5,03	4,99	5,67	5,62	5,03	4,69	5,67	5,14	5,08
54	4,36	5,27	4,83	5,90	5,40	6,31	5,25	5,98	5,09	5,38
55	3,43	5,31	5,17	5,96	5,80	5,58	4,98	6,01	5,54	5,42
56	4,33	4,99	5,02	5,59	5,63	6,08	4,80	5,52	5,23	5,24
57	4,08	4,76	4,83	5,34	5,41	5,69	4,59	5,27	5,07	5,00
58	4,17	4,64	4,72	5,20	5,29	4,91	4,46	5,06	4,79	4,81
59	3,99	4,89	3,43	5,52	3,86	5,99	4,87	5,59	3,47	4,62
60	4,23	4,67	4,49	5,25	5,04	-	4,55	5,09	4,54	4,73
61	3,95	4,72	4,35	5,29	4,88	0,17	4,57	5,23	4,48	4,18
62	3,67	3,35	3,28	3,77	3,69	0,70	2,64	3,17	3,05	3,04
63	3,63	3,30	2,16	3,66	2,39	0,62	2,65	3,00	1,85	2,59
64	2,91	2,63	2,42	2,90	2,68	-	1,69	2,18	2,01	4,20
65	3,83	3,37	3,47	3,75	3,86	1,15	2,61	3,14	3,20	3,15
66	3,88	1,74	4,10	4,20	4,61	0,26	3,13	3,72	4,04	3,52
67	3,98	4,82	4,70	5,41	5,28	0,17	4,80	5,46	5,20	4,42
68	3,94	4,26	4,47	4,75	4,98	0,61	4,02	4,48	4,51	4,00
69	4,18	4,62	5,25	5,16	5,86	-	4,60	5,06	5,40	5,02
70	4,07	4,54	5,00	5,12	5,63	0,42	4,38	4,96	5,29	4,38
71	3,87	4,05	4,32	4,53	4,83	-	3,63	4,21	4,40	4,23
72	3,97	4,61	5,06	5,10	5,60	3,03	4,52	4,92	5,06	4,65
73	4,09	4,13	4,08	4,60	4,54	-	3,78	4,27	4,13	4,20
74	4,14	4,36	4,11	4,82	4,55	-	4,00	4,55	4,07	4,33
75	4,01	4,36	3,66	4,85	4,07	-	4,06	4,59	3,55	4,14
76	4,16	4,63	4,28	5,17	4,78	-	4,44	4,98	4,16	4,61
77	3,20	2,73	2,37	3,00	2,61	2,48	1,84	2,27	1,81	2,48
78	3,75	3,28	3,15	3,64	3,50	4,50	2,50	3,05	2,90	3,36
79	3,94	4,05	4,31	4,51	4,79	2,11	3,52	4,13	4,13	3,94
80	4,50	5,04	4,90	5,61	5,46	0,17	4,90	5,53	4,84	4,55
81	4,24	4,35	4,11	4,85	4,58	-	3,99	4,62	4,08	4,35
82	4,23	4,17	4,83	4,67	5,41	-	3,88	4,34	4,71	4,53
83	3,93	3,60	3,45	4,00	3,84	0,18	3,18	3,51	3,31	3,22
84	4,20	4,60	4,82	5,11	5,34	-	4,50	5,01	4,86	4,81
85	4,48	4,50	4,32	5,10	4,80	-	4,58	4,93	4,38	4,65
86	4,12	4,92	5,25	5,54	5,92	0,17	5,24	5,57	5,41	4,71
87	3,50	2,69	2,15	2,99	2,39	2,98	1,85	2,27	1,83	2,51
88	4,18	4,20	4,68	4,68	5,20	0,97	4,15	4,13	4,66	4,12
89	3,71	3,41	3,62	3,80	4,03	0,62	2,90	3,28	3,27	3,18
90	3,51	3,36	3,19	3,69	3,50	5,93	2,70	3,17	2,76	3,53
91	3,56	2,83	2,79	3,11	3,06	1,51	2,02	2,40	2,23	2,61
92	3,31	2,88	2,11	3,20	2,35	3,24	2,09	2,59	1,77	2,62
93	3,48	3,06	3,09	3,38	3,12	0,72	2,29	2,74	2,49	2,74
94	3,24	2,80	2,44	3,20	2,20	4,21	2,06	2,59	2,07	2,82
95	3,51	3,07	3,26	3,43	3,64	-	2,36	2,86	3,07	3,15
96	4,18	4,54	4,58	5,03	5,07	-	4,56	4,96	4,59	4,69
97	4,15	4,02	3,87	4,46	3,56	5,18	3,78	4,20	3,78	4,11
98	4,14	4,31	4,12	4,77	3,56	3,98	4,09	4,57	2,95	4,06
99	4,53	4,76	3,90	5,27	3,56	4,17	4,86	5,27	2,95	4,36
100	4,31	3,85	4,88	4,24	3,56	4,48	3,43	3,84	2,95	3,95
101	4,21	3,63	4,88	4,04	3,56	3,81	3,24	3,62	2,95	3,77
102	4,12	3,18	4,88	3,54	3,56	3,64	2,74	2,95	2,95	3,51
Total	400,94	410,64	396,66	459,89	436,12	326,64	369,17	423,56	383,19	409,18
Media	3,93	4,03	3,89	4,51	4,28	3,71	3,62	4,15	3,76	3,99

Tabela 3 – Valores da resistência aerodinâmica calculada pela expressão apresentada por Allen et al. (1989) (r_{a1}) e pela fórmula original de Penman (r_{a2}) e resistência da cultura obtida pela equação apresentada por Allen et al. (1986) (r_{c1}) e Allen et al., (1989) (r_{c2}).

data	Dias após a emergência	r_{a1}	r_{a2}	r_{c1}	r_{c2}
12/jan	7	-	140,64	-	-
13/jan	8	-	140,82	-	-
14/jan	9	-	134,30	-	-
15/jan	10	103,95	122,93	26847,3	20000,00
16/jan	11	106,33	127,48	15297,9	8189,69
17/jan	12	102,85	128,19	7345,7	5149,08
18/jan	13	148,84	154,54	6877,2	3754,96
19/jan	14	121,90	142,48	2932,5	2712,77
20/jan	15	117,31	140,89	2428,5	2067,83
21/jan	16	104,51	135,21	2344,1	1422,56
22/jan	17	89,79	127,76	1316,6	982,36
23/jan	18	84,44	126,33	739,1	704,19
24/jan	19	151,47	164,15	936,0	526,02
25/jan	20	81,56	129,61	373,8	407,67
26/jan	21	81,13	132,14	355,4	325,95
27/jan	22	90,42	141,68	310,8	267,49
28/jan	23	86,67	141,84	287,3	224,35
29/jan	24	80,69	140,14	248,0	191,66
30/jan	25	68,26	132,41	171,0	166,33
31/jan	26	61,50	128,46	128,3	146,31
01/fev	27	71,22	140,01	145,5	130,22
02/fev	28	57,36	128,90	133,3	117,11
03/fev	29	45,98	117,32	111,7	106,28
04/fev	30	53,28	128,64	168,5	97,24
05/fev	31	59,68	137,71	88,8	89,63
06/fev	32	51,38	130,32	95,1	83,16
07/fev	33	61,62	143,37	79,2	77,63
08/fev	34	50,90	133,28	74,2	72,87
09/fev	35	49,04	132,58	76,1	68,76
10/fev	36	42,13	124,65	51,4	65,18
11/fev	37	48,88	135,37	96,1	62,06
12/fev	38	43,72	129,80	94,8	59,34
13/fev	39	55,52	145,85	92,1	56,96
14/fev	40	66,57	157,83	93,4	54,87
15/fev	41	49,27	140,88	54,3	53,05
16/fev	42	51,12	144,21	46,3	51,45
17/fev	43	55,05	149,68	42,6	50,06
18/fev	44	47,82	142,06	49,1	48,86
19/fev	45	44,01	137,83	47,6	47,82
20/fev	46	37,28	128,35	41,8	46,94
21/fev	47	45,71	141,77	43,3	46,20
22/fev	48	40,60	135,17	39,0	45,60
23/fev	49	42,55	138,75	43,7	45,12
24/fev	50	39,68	135,05	38,5	44,76
25/fev	51	39,04	134,62	40,4	44,51
26/fev	52	42,09	139,82	42,9	44,37
27/fev	53	41,44	139,80	43,9	44,34

Continuação Da Tabela 3

data	Dias após a emergência	r_{a1}	r_{a2}	r_{c1}	r_{c2}
28/fev	54	39,20	136,58	65,7	44,42
01/mar	55	37,08	133,32	49,6	44,61
02/mar	56	44,71	144,96	50,1	44,90
03/mar	57	42,77	142,84	65,2	45,31
04/mar	58	47,59	149,61	84,1	45,83
05/mar	59	68,05	170,39	77,8	46,46
06/mar	60	51,72	155,05	65,1	47,22
07/mar	61	42,98	144,14	56,8	48,10
08/mar	62	43,70	145,32	48,5	49,12
09/mar	63	45,61	148,07	52,9	50,29
10/mar	64	46,78	149,70	41,7	51,61
11/mar	65	36,38	134,41	48,4	53,09
12/mar	66	44,56	146,95	59,1	54,76
13/mar	67	49,19	152,94	47,9	56,62
14/mar	68	52,67	157,01	70,8	58,68
15/mar	69	54,51	159,04	72,9	60,98
16/mar	70	47,83	151,36	84,6	63,52
17/mar	71	41,17	142,28	76,8	66,33
18/mar	72	59,06	163,57	118,9	69,42
19/mar	73	54,59	159,28	107,2	72,81
20/mar	74	48,81	152,94	84,4	76,52
21/mar	75	41,24	142,98	76,9	80,55
22/mar	76	48,20	152,62	101,7	84,92
23/mar	77	39,69	140,92	85,4	89,60
24/mar	78	51,62	156,76	133,3	94,57
25/mar	79	48,89	153,62	96,0	99,76
26/mar	80	41,33	143,55	120,9	105,08
27/mar	81	35,01	133,36	94,8	110,40
28/mar	82	50,73	156,01	210,1	115,52
29/mar	83	46,36	150,77	119,3	120,20
30/mar	84	46,19	150,64	162,2	124,14
31/mar	85	71,81	175,62	183,3	127,05
01/abr	86	54,91	160,99	204,0	128,62
02/abr	87	49,66	155,24	242,8	133,90
03/abr	88	53,87	160,08	208,0	140,15
04/abr	89	58,21	164,58	246,2	147,03
05/abr	90	47,38	152,66	220,2	153,85
06/abr	91	53,81	160,10	166,7	160,00
07/abr	92	58,21	164,58	202,4	160,00
08/abr	93	52,44	158,62		
09/abr	94	50,57	156,51		
10/abr	95	55,99	162,38		
11/abr	96	52,31	158,47		
12/abr	97	70,29	174,84		
13/abr	98	55,10	161,47		
14/abr	99	62,29	168,35		
15/abr	100	47,46	152,76		
16/abr	101	47,92	153,33		
17/abr	102	48,47	154,01		
18/abr	103	42,90	146,70		
19/abr	104	45,85	150,69		
Média		58,34	145,29	906,21	630,36

Tabela 4 - Balanço de energia ao longo do ciclo da cultura com valores diurnos do saldo de radiação (Rn) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível (H), e fluxo de calor latente estimado pela razão Bowen, com suas respectivas percentagens do Rn.

Dia	Rn (MJ m ⁻²)	G (MJ m ⁻²)	H (MJ m ⁻²)	LE (MJ m ⁻²)	H(%)	LE(%)	G(%)
15	12,44	-0,11	-1,85	-10,48	14,91	84,21	0,89
16	7,43	-0,06	-1,11	-6,25	15,01	84,22	0,77
17	11,32	-0,11	-1,83	-9,38	16,18	82,84	0,98
18	7,43	-0,03	-1,41	-5,99	18,97	80,60	0,44
19	15,35	-0,13	-2,40	-12,82	15,64	83,54	0,82
20	14,13	-0,13	-2,16	-11,83	15,31	83,75	0,94
21	8,96	-0,04	-1,59	-7,34	17,73	81,87	0,39
22	12,06	-0,07	-2,15	-9,83	17,83	81,56	0,61
23	15,21	-0,11	-2,51	-12,59	16,53	82,78	0,70
24	7,84	-0,07	-1,40	-6,38	17,82	81,34	0,84
25	16,83	-0,11	-2,52	-14,20	14,97	84,35	0,67
26	15,09	-0,13	-2,34	-12,61	15,51	83,61	0,88
27	14,39	-0,15	-2,16	-12,08	14,99	83,99	1,02
28	13,31	-0,09	-2,02	-11,20	15,20	84,13	0,67
29	13,52	-0,07	-1,87	-11,58	13,81	85,67	0,51
30	15,46	-0,13	-2,23	-13,10	14,42	84,74	0,83
31	16,91	-0,09	-2,40	-14,41	14,22	85,24	0,54
32	14,86	-0,06	-2,11	-12,69	14,19	85,37	0,44
33	14,88	-0,06	-2,04	-12,78	13,72	85,87	0,42
34	15,47	-0,10	-2,16	-13,21	13,98	85,36	0,67
35	8,53	0,01	-1,49	-7,03	17,45	82,41	0,15
36	15,75	-0,07	-2,23	-13,46	14,14	85,43	0,44
37	14,40	-0,06	-2,14	-12,21	14,84	84,76	0,40
38	15,30	-0,05	-2,23	-13,01	14,59	85,07	0,34
39	15,70	-0,06	-2,12	-13,51	13,51	86,10	0,39
40	14,51	-0,08	-2,14	-12,29	14,73	84,70	0,56
41	17,85	0,08	-2,47	-15,29	13,86	85,68	0,46
42	10,31	-0,02	-1,71	-8,58	16,56	83,26	0,18
43	9,48	-0,02	-1,52	-7,94	16,03	83,81	0,17
44	9,10	-0,02	-1,66	-7,73	17,62	82,21	0,17
45	8,11	0,02	-1,37	-6,62	18,12	81,63	0,24
46	15,60	0,05	-2,35	-13,20	15,05	84,60	0,35
47	16,60	0,06	-2,41	-14,13	14,54	85,12	0,34
48	17,21	0,05	-2,39	-14,77	13,87	85,84	0,29
49	15,63	0,04	-2,25	-13,35	14,39	85,36	0,25
50	16,09	0,03	-2,05	-14,02	12,72	87,10	0,18
51	16,99	0,04	-2,41	-14,55	14,17	85,61	0,22
52	16,30	0,06	-2,52	-13,73	15,43	84,22	0,35
53	17,21	0,05	-2,62	-14,54	15,23	84,47	0,31
54	16,33	0,05	-2,22	-14,06	13,58	86,11	0,31
55	17,43	0,06	-2,41	-14,95	13,85	85,80	0,34
56	16,86	0,04	-2,29	-14,52	13,59	86,15	0,26
57	16,21	0,04	-2,14	-14,03	13,21	86,55	0,24
58	15,90	0,03	-2,18	-13,69	13,73	86,07	0,20
59	11,15	-0,04	-1,50	-9,61	13,41	86,24	0,34
60	14,42	-0,04	-2,00	-12,39	13,84	85,86	0,29
61	14,68	-0,03	-2,10	-12,54	14,33	85,45	0,23
62	11,06	-0,02	-1,84	-9,19	16,65	83,12	0,22
63	7,10	0,01	-1,20	-5,91	16,84	83,33	-0,17
64	8,58	0,02	-1,65	-6,91	19,21	80,53	0,25
65	11,51	-0,04	-1,86	-9,64	16,10	83,52	0,38
66	13,92	-0,05	-2,07	-11,80	14,90	84,75	0,35
67	16,40	-0,05	-2,19	-14,17	13,32	86,37	0,31
68	15,44	-0,05	-2,25	-13,14	14,58	85,12	0,30
69	17,60	0,06	-2,35	-15,20	13,33	86,35	0,32
70	16,87	-0,05	-2,25	-14,57	13,32	86,39	0,28
71	15,08	-0,04	-2,28	-12,76	15,10	84,61	0,29
72	17,45	-0,05	-2,42	-14,98	13,87	85,86	0,28
73	14,04	-0,04	-1,96	-12,04	13,94	85,77	0,30
74	14,02	-0,05	-1,89	-12,08	13,50	86,13	0,37

Continuação da Tabela 4

Dia	Rn (MJ m ⁻²)	G (MJ m ⁻²)	H (MJ m ⁻²)	LE (MJ m ⁻²)	H(%)	LE(%)	G(%)
75	12,65	-0,05	-1,68	-10,95	13,22	86,37	0,41
76	14,22	-0,07	-1,93	-12,22	13,59	85,93	0,49
77	8,18	-0,02	-1,61	-6,56	19,62	80,16	0,22
78	10,97	-0,04	-1,82	-9,10	16,62	83,02	0,36
79	14,86	-0,07	-2,24	-12,55	15,06	84,49	0,46
80	16,35	-0,08	-2,21	-14,06	13,51	86,01	0,49
81	14,03	-0,06	-2,00	-11,97	14,24	85,33	0,43
82	16,07	-0,07	-2,28	-13,72	14,19	85,36	0,45
83	11,85	-0,04	-1,81	-10,00	15,27	84,38	0,35
84	16,38	-0,07	-2,30	-14,00	14,05	85,51	0,44
85	14,64	-0,07	-2,06	-12,51	14,06	85,46	0,48
86	16,98	-0,09	-2,22	-14,67	13,06	86,40	0,54
87	7,53	-0,02	-1,34	-6,18	17,78	82,00	0,21
88	15,82	-0,08	-2,27	-13,48	14,33	85,20	0,47
89	12,44	-0,05	-2,03	-10,36	16,29	83,33	0,38
90	11,27	-0,05	-1,97	-9,25	17,51	82,09	0,40
91	9,40	-0,05	-1,69	-7,66	18,01	81,51	0,48
92	7,48	-0,02	-1,34	-6,13	17,88	81,90	0,22
93	10,44	-0,05	-1,79	-8,60	17,18	82,35	0,47
94	8,94	-0,03	-1,74	-7,17	19,48	80,24	0,29
95	11,63	-0,06	-1,93	-9,63	16,64	82,86	0,50
96	15,58	-0,09	-2,24	-13,25	14,36	85,05	0,59
97	13,25	-0,06	-1,97	-11,23	14,84	84,71	0,45
Media	13,58	-0,06	2,06	11,30	15,73	83,84	0,43

Tabela 5 -Balanço de energia ao longo do ciclo da cultura do milho com valores diurno de saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível estimado em função de r_{a1} (H_1), fluxo de calor latente estimado a partir de H_1 (LE_1), fluxo de calor sensível estimado em função de r_{a2} (H_2) e fluxo de calor latente estimado a partir de H_2 (LE_2), com suas respectivas percentagens do R_n .

Dia	R_n ($MJ m^{-2}$)	G ($MJ m^{-2}$)	H_1 ($MJ m^{-2}$)	LE_1 ($MJ m^{-2}$)	H_1 (%)	LE_1 (%)	G (%)	H_2 ($MJ m^{-2}$)	LE_2 ($MJ m^{-2}$)	H_2 (%)	LE_2 (%)
15	12,44	-0,11	-4,30	-8,03	34,57	64,55	0,89	-3,18	-9,15	25,55	73,57
16	7,43	-0,06	-5,21	-2,16	70,17	29,06	0,77	-3,93	-3,43	52,99	46,25
17	11,32	-0,11	-4,49	-6,72	39,66	59,37	0,98	-3,44	-7,77	30,37	68,65
18	7,43	-0,03	-4,43	-2,96	59,68	39,89	0,44	-5,37	-2,03	72,26	27,31
19	15,35	-0,13	-2,35	-12,87	15,33	83,85	0,82	-2,25	-12,97	14,66	84,52
20	14,13	-0,13	-4,15	-9,85	29,37	69,69	0,94	-3,80	-10,20	26,88	72,18
21	8,96	-0,04	-6,03	-2,90	67,24	32,37	0,39	-4,08	-4,85	45,47	54,14
22	12,06	-0,07	-3,69	-8,30	30,59	68,80	0,61	-2,32	-9,66	19,28	80,11
23	15,21	-0,11	-3,93	-11,17	25,85	73,46	0,70	-2,36	-12,75	15,49	83,81
24	7,84	-0,07	-3,15	-4,63	40,18	58,99	0,84	-3,53	-4,25	45,01	54,16
25	16,83	-0,11	-3,66	-13,06	21,75	77,58	0,67	-2,34	-14,38	13,88	85,45
26	15,09	-0,13	-5,51	-9,44	36,52	62,61	0,88	-3,54	-11,42	23,45	75,67
27	14,39	-0,15	-5,08	-9,16	35,34	63,64	1,02	-2,80	-11,44	19,47	79,51
28	13,31	-0,09	-5,80	-7,42	43,61	55,72	0,67	-3,88	-9,34	29,16	70,17
29	13,52	-0,07	-4,74	-8,71	35,04	64,44	0,51	-2,89	-10,55	21,40	78,09
30	15,46	-0,13	-5,15	-10,19	33,28	65,88	0,83	-2,48	-12,85	16,04	83,13
31	16,91	-0,09	-7,79	-9,03	46,07	53,39	0,54	-3,38	-13,44	19,98	79,48
32	14,86	-0,06	-6,70	-8,10	45,09	54,48	0,44	-3,40	-11,39	22,91	76,65
33	14,88	-0,06	-6,79	-8,03	45,60	53,98	0,42	-2,94	-11,88	19,76	79,83
34	15,47	-0,10	-8,53	-6,84	55,13	44,21	0,67	-3,05	-12,31	19,73	79,60
35	8,53	-0,01	-11,69	3,18	137,11	-37,25	0,15	-4,45	-4,07	52,17	47,68
36	15,75	-0,07	-2,16	-13,53	13,70	85,86	0,44	-1,00	-14,69	6,34	93,22
37	14,40	-0,06	-7,28	-7,07	50,51	49,09	0,40	-3,19	-11,16	22,12	77,47
38	15,30	-0,05	-6,41	-8,84	41,88	57,78	0,34	-3,07	-12,18	20,06	79,60
39	15,70	-0,06	-7,01	-8,62	44,68	54,93	0,39	-2,59	-13,04	16,51	83,09
40	14,51	-0,08	-7,64	-6,79	52,66	46,78	0,56	-2,87	-11,55	19,81	79,62
41	17,85	-0,08	-7,37	-10,40	41,29	58,25	0,46	-2,17	-15,60	12,13	87,41
42	10,31	-0,02	-9,92	-0,37	96,19	3,63	0,18	-3,64	-6,65	15,28	64,54
43	9,48	-0,02	-6,62	-2,84	69,88	29,95	0,17	-2,18	-7,28	23,04	76,79
44	9,40	-0,02	-6,95	-2,44	73,89	25,94	0,17	-3,10	-6,29	32,91	66,92
45	8,11	-0,02	-4,19	-3,90	51,69	48,06	0,24	-2,06	-6,03	25,42	74,34
46	15,60	-0,05	-4,72	-10,83	30,25	69,40	0,35	-1,79	-13,76	11,48	88,17
47	16,60	-0,06	-6,96	-9,59	41,90	57,76	0,34	-2,44	-14,10	14,69	84,97
48	17,21	-0,05	-6,04	-11,12	35,10	64,61	0,29	-2,11	-15,05	12,24	87,47
49	15,63	-0,04	-7,33	-8,26	46,89	52,86	0,25	-2,49	-13,11	15,92	83,83
50	16,09	-0,03	-7,27	-8,80	45,15	54,67	0,18	-2,22	-13,84	13,78	86,04
51	16,99	-0,04	-8,83	-8,13	51,95	47,83	0,22	-2,20	-14,76	12,94	86,84
52	16,30	-0,06	-8,15	-8,09	50,01	49,64	0,35	-2,62	-13,62	16,09	83,56
53	17,21	-0,05	-9,05	-8,12	52,55	47,15	0,31	-2,66	-14,50	15,48	84,22
54	16,33	-0,05	-7,25	-9,03	44,39	55,30	0,31	-2,40	-13,87	14,71	84,97
55	17,43	-0,06	-7,86	-9,51	45,09	54,57	0,34	-2,20	-15,17	12,62	87,04
56	16,86	-0,04	-9,96	-6,85	59,10	40,63	0,26	-2,88	-13,94	17,07	82,67
57	16,21	-0,04	-8,65	-7,51	53,41	46,36	0,24	-2,63	-13,54	16,20	83,56
58	15,90	-0,03	-8,10	-7,77	50,92	48,88	0,20	-2,48	-13,39	15,62	84,17
59	11,15	-0,04	-8,33	-2,78	74,73	24,92	0,34	-2,43	-8,68	21,76	77,89
60	14,42	-0,04	-9,41	-4,98	65,21	34,50	0,29	-2,49	-11,89	17,30	82,41
61	14,68	-0,03	-8,83	-5,81	60,18	39,60	0,23	-2,82	-11,82	19,24	80,53
62	11,06	-0,02	-9,10	-1,93	82,31	17,47	0,22	-2,85	-8,18	25,77	74,00
63	7,10	0,01	-8,17	1,06	115,07	-14,90	-0,17	-2,92	-4,19	41,08	59,09
64	8,58	-0,02	-1,68	-3,88	54,49	45,26	0,25	-2,19	-6,36	25,58	74,16
65	11,54	-0,04	-3,70	-7,79	32,08	67,53	0,38	-1,34	-10,16	11,62	88,00
66	13,92	-0,05	-8,02	-5,85	57,59	42,05	0,35	-2,30	-11,57	16,55	83,10
67	16,40	-0,05	-7,24	-9,12	44,11	55,58	0,31	-1,86	-14,50	11,31	88,38
68	15,44	-0,05	-8,13	-7,26	52,64	47,06	0,30	-2,39	-13,00	15,49	84,21
69	17,60	-0,06	-6,07	-11,48	34,47	65,21	0,32	-1,97	-15,57	11,18	88,49
70	16,87	-0,05	-9,45	-7,37	56,01	43,71	0,28	-2,36	-14,45	14,02	85,70

Continuação da tabela 5

Dia	Rn (MJ m ⁻²)	G (MJ m ⁻²)	HI (MJ m ⁻²)	LE1 (MJ m ⁻²)	HI (%)	LE1 (%)	G (%)	H2 (MJ m ⁻²)	LE2 (MJ m ⁻²)	H2 (%)	LE2 (%)
71	15,08	-0,04	-8,71	-6,32	57,77	41,93	0,29	-2,62	-12,41	17,39	82,32
72	17,45	-0,05	-6,52	-10,88	37,37	62,35	0,28	-2,14	-15,26	12,28	87,44
73	14,04	-0,04	-6,05	-7,94	43,10	56,60	0,30	-2,37	-11,62	16,89	82,81
74	14,02	-0,05	-5,90	-8,07	42,10	57,53	0,37	-2,19	-11,78	15,62	84,01
75	12,67	-0,05	-7,01	-5,61	55,32	44,27	0,41	-2,19	-10,43	17,30	82,29
76	14,22	-0,07	-6,18	-7,97	43,48	56,03	0,49	-1,62	-12,53	11,40	88,11
77	8,18	-0,02	-8,58	0,42	104,89	-5,11	0,22	-3,19	-4,98	38,95	60,83
78	10,97	-0,04	-3,97	-6,96	36,19	63,46	0,36	-1,43	-9,50	13,05	86,59
79	14,86	-0,07	-5,88	-8,91	39,58	59,96	0,46	-2,02	-12,77	13,58	85,96
80	16,35	-0,08	-7,02	-9,25	42,92	56,59	0,49	-1,77	-14,50	10,82	88,69
81	14,03	-0,06	-7,67	-6,29	54,71	44,86	0,43	-2,32	-11,64	16,56	83,01
82	16,07	-0,07	-8,16	-7,84	50,76	48,79	0,45	-2,12	-13,88	13,17	86,37
83	11,85	-0,04	-8,13	-3,68	68,58	31,07	0,35	-2,93	-8,88	24,76	74,89
84	16,38	-0,07	-6,14	-10,17	37,48	62,08	0,44	-1,97	-14,34	12,01	87,55
85	14,64	-0,07	-8,90	-5,67	60,78	38,74	0,48	-2,61	-11,96	17,83	81,69
86	16,98	-0,09	-9,60	-7,29	56,54	42,92	0,54	-2,14	-14,74	12,63	86,83
87	7,53	-0,02	-10,41	2,89	138,21	-38,42	0,21	-3,44	-4,08	45,65	54,14
88	15,82	-0,08	-4,45	-11,29	28,13	71,39	0,47	-1,44	-14,31	9,09	90,44
89	12,44	-0,05	-9,47	-2,92	76,16	23,46	0,38	-3,28	-9,11	26,38	73,24
90	11,27	-0,05	-5,03	-6,20	44,63	54,97	0,40	-2,32	-8,91	20,54	79,06
91	9,40	-0,05	-6,24	-3,11	66,43	33,08	0,48	-2,27	-7,08	24,20	75,32
92	7,48	-0,02	-6,68	-0,79	89,28	10,50	0,22	-2,20	-5,26	29,43	70,35
93	10,44	-0,05	-5,26	-5,13	50,40	49,13	0,47	-1,61	-8,78	15,46	84,07
94	8,94	-0,03	-6,96	-1,96	77,83	21,88	0,29	-2,52	-6,40	28,14	71,57
95	11,63	-0,06	-5,55	-6,02	47,75	51,75	0,50	-1,69	-9,87	14,58	84,92
96	15,58	-0,09	-5,62	-9,87	36,05	63,36	0,59	-1,89	-13,60	12,12	87,29
97	13,25	-0,06	-7,38	-5,81	55,70	43,84	0,45	-2,61	-10,58	19,70	79,85
Média	13,58	-0,06	-6,72	-6,80	52,55	47,03	0,42	-2,59	-10,93	21,07	78,51

Tabela 6 - Balanço de energia diário na cultura do milho com valores horários do saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), estimados pela razão de Bowen, nos dias 15 e 31 de janeiro de 2002, na Região de Rio Largo – AL.

Hora	15 / Jan.				31 / Jan.			
	R_n $MJ m^{-2}$	G $MJ m^{-2}$	LE $MJ m^{-2}$	H $MJ m^{-2}$	R_n $MJ m^{-2}$	G $MJ m^{-2}$	LE $MJ m^{-2}$	H $MJ m^{-2}$
1:00	-0,15	0,09	0,031	0,033	-0,09	0,08	0,003	0,00
2:00	-0,11	0,09	0,010	0,015	-0,09	0,08	0,002	0,00
3:00	-0,09	0,10	-0,003	-0,004	-0,06	0,08	-0,006	-0,01
4:00	-0,07	0,10	-0,010	-0,014	-0,13	0,08	0,021	0,03
5:00	-0,06	0,10	-0,014	-0,024	-0,12	0,09	0,012	0,02
6:00	0,04	0,09	-0,046	-0,083	-0,08	0,09	-0,003	0,00
7:00	0,32	0,02	-0,155	-0,187	0,24	0,06	-0,125	-0,18
8:00	0,94	-0,09	-0,521	-0,330	1,03	-0,03	-0,643	-0,35
9:00	1,27	-0,17	-0,759	-0,338	1,46	-0,08	-0,967	-0,42
10:00	1,51	-0,20	-0,958	-0,349	2,46	-0,09	-1,804	-0,57
11:00	1,43	-0,20	-0,939	-0,284	2,08	-0,15	-1,548	-0,38
12:00	1,84	-0,25	-1,256	-0,335	2,54	-0,24	-1,874	-0,42
13:00	1,73	-0,27	-1,171	-0,287	1,98	-0,37	-1,317	-0,30
14:00	1,14	-0,19	-0,768	-0,181	1,73	-0,29	-1,141	-0,29
15:00	1,46	-0,16	-0,979	-0,317	1,73	-0,20	-1,219	-0,31
16:00	0,71	-0,10	-0,460	-0,157	1,17	-0,04	-0,913	-0,21
17:00	0,13	0,01	-0,103	-0,036	0,50	0,06	-0,455	-0,10
18:00	-0,10	0,08	0,017	0,005	0,05	0,10	-0,117	-0,03
19:00	-0,11	0,10	0,003	0,001	-0,01	0,11	-0,064	-0,03
20:00	-0,10	0,10	0,001	0,001	-0,09	0,10	-0,009	-0,01
21:00	-0,10	0,09	0,004	0,002	-0,13	0,11	0,013	0,01
22:00	-0,09	0,08	0,004	0,002	-0,11	0,10	0,006	0,01
23:00	-0,13	0,08	0,034	0,020	-0,08	0,10	-0,006	-0,01
0:00	-0,13	0,08	0,029	0,020	-0,08	0,11	-0,012	-0,01
Total	11,26	-0,42	-8,01	-2,83	15,90	-0,16	-12,17	-3,58
% do R_n	100,00	-3,76	-71,14	-25,10	100,00	-1,00	-76,51	-22,49

Tabela 7 - Balanço de energia diário na cultura do milho com valores horários do saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), estimados pela razão de Bowen, nos dias 17 de fevereiro e 01 de março de 2002, na Região de Rio Largo - AL.

Hora	17 / Fev.				01 / Mar.			
	R_n $MJ m^{-2}$	G $MJ m^{-2}$	LE $MJ m^{-2}$	H $MJ m^{-2}$	R_n $MJ m^{-2}$	G $MJ m^{-2}$	LE $MJ m^{-2}$	H $MJ m^{-2}$
1:00	-0,06	0,07	-0,005	-0,01	-0,10	0,08	0,013	0,02
2:00	-0,04	0,07	-0,013	-0,02	-0,08	0,08	0,002	0,00
3:00	-0,02	0,06	-0,016	-0,02	-0,07	0,08	-0,003	-0,01
4:00	-0,02	0,06	-0,014	-0,02	-0,04	0,07	-0,009	-0,02
5:00	-0,11	0,06	0,023	0,03	-0,03	0,06	-0,013	-0,02
6:00	-0,08	0,06	0,007	0,01	-0,05	0,06	-0,001	0,00
7:00	0,23	0,05	-0,105	-0,18	0,19	0,05	-0,068	-0,17
8:00	0,87	0,02	-0,438	-0,45	0,85	0,01	-0,414	-0,45
9:00	1,40	-0,02	-1,016	-0,36	0,95	-0,02	-0,621	-0,31
10:00	1,75	-0,06	-1,317	-0,37	1,56	-0,05	-1,169	-0,34
11:00	2,29	-0,08	-1,774	-0,44	2,19	-0,12	-1,750	-0,33
12:00	2,64	-0,12	-2,045	-0,48	2,09	-0,10	-1,674	-0,31
13:00	1,91	-0,13	-1,465	-0,31	1,90	-0,15	-1,463	-0,29
14:00	2,44	-0,21	-1,821	-0,42	1,85	-0,11	-1,436	-0,31
15:00	1,98	-0,10	-1,539	-0,34	1,43	-0,09	-1,172	-0,17
16:00	1,28	-0,06	-1,024	-0,19	0,98	-0,05	-0,774	-0,15
17:00	0,49	-0,02	-0,397	-0,08	0,48	-0,02	-0,437	-0,02
18:00	-0,08	0,02	0,047	0,01	-0,01	0,02	-0,005	0,00
19:00	-0,18	0,04	0,100	0,04	-0,07	0,04	0,013	0,01
20:00	-0,17	0,06	0,070	0,04	-0,06	0,05	0,005	0,00
21:00	-0,13	0,06	0,047	0,03	-0,03	0,05	-0,012	0,00
22:00	-0,12	0,07	0,032	0,02	-0,05	0,05	0,004	0,00
23:00	-0,04	0,06	-0,012	-0,01	-0,15	0,05	0,083	0,02
0:00	-0,05	0,06	-0,006	-0,01	-0,16	0,06	0,069	0,03
Total	16,19	0,02	-12,68	-3,52	13,55	0,11	-10,83	-2,83
% do R_n	100,00	0,13	-78,36	-21,77	100,00	0,82	-79,94	-20,89

Tabela 8 - Balanço de energia diário na cultura do milho com valores horários do saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G) medidos e fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), estimados pela razão de Bowen, nos dias 10 de março e 06 de abril de 2002, na Região de Rio Largo - AL.

Hora	10 / Mar..				06 / Abr..			
	Rn MJ m ⁻²	G MJ m ⁻²	LE MJ m ⁻²	H MJ m ⁻²	Rn MJ m ⁻²	G MJ m ⁻²	LE MJ m ⁻²	H MJ m ⁻²
1:00	-0,05	0,07	-0,006	-0,01	-0,11	0,07	0,017	0,02
2:00	-0,03	0,07	-0,013	-0,02	-0,10	0,07	0,014	0,02
3:00	-0,03	0,06	-0,010	-0,02	-0,09	0,07	0,007	0,01
4:00	-0,03	0,06	-0,010	-0,02	-0,08	0,07	0,000	0,00
5:00	-0,02	0,06	-0,015	-0,02	-0,04	0,07	-0,010	-0,02
6:00	-0,02	0,05	-0,012	-0,02	0,01	0,06	-0,020	-0,04
7:00	0,26	0,04	-0,115	-0,18	0,29	0,04	-0,112	-0,22
8:00	0,97	0,01	-0,627	-0,35	0,93	0,01	-0,530	-0,41
9:00	1,55	-0,04	-1,156	-0,35	1,42	-0,05	-0,969	-0,39
10:00	2,26	-0,08	-1,786	-0,39	1,95	-0,17	-1,368	-0,41
11:00	2,52	-0,11	-1,978	-0,43	2,21	-0,21	-1,588	-0,42
12:00	2,74	-0,12	-2,176	-0,44	2,77	-0,28	-2,043	-0,45
13:00	2,46	-0,26	-1,828	-0,37	1,90	-0,32	-1,311	-0,27
14:00	1,95	-0,12	-1,562	-0,27	2,04	-0,21	-1,524	-0,31
15:00	1,63	-0,07	-1,310	-0,25	1,49	-0,11	-1,141	-0,24
16:00	1,16	-0,04	-0,941	-0,17	0,60	-0,03	-0,472	-0,10
17:00	0,18	-0,01	-0,141	-0,03	0,06	0,02	-0,062	-0,02
18:00	-0,10	0,02	0,061	0,02	-0,16	0,05	0,080	0,03
19:00	-0,16	0,04	0,084	0,03	-0,18	0,07	0,072	0,04
20:00	-0,16	0,05	0,068	0,04	-0,17	0,08	0,058	0,04
21:00	-0,15	0,05	0,058	0,04	-0,16	0,08	0,044	0,04
22:00	-0,13	0,06	0,045	0,03	-0,12	0,08	0,022	0,02
23:00	-0,09	0,05	0,019	0,02	-0,11	0,08	0,014	0,02
0:00	-0,08	0,05	0,018	0,02	-0,10	0,08	0,012	0,02
Total	16,60	-0,13	-13,34	-3,13	14,26	-0,41	-10,81	-3,03
% do Rn	100,00	-0,78	-80,35	-18,86	100,00	-2,89	-75,82	-21,28

Tabela 9 - Valores diários da evapotranspiração da cultura (ET_c) (mm), estimados pelos métodos Razão de Bowen usando a temperatura da superfície (T_o) e a temperatura do nível 1 (T_1) (RB_1), usando a T_o e a temperatura do nível 2 (T_2) (**Padrão**), usando a T_1 e a T_2 (RB_2), Penman-Monteith com r_{c1}/r_{a1} (PM_{c1}), com r_{c2}/r_{a2} (PM_{c2}), r_{c2}/r_{a1} (PM_{c3}), com r_{c1}/r_{a2} e B. Energia com r_{a1} ($B.E_1$) e com r_{a2} ($B.E_2$).

Dia	RB₁	Padrão	RB₂	P-Mc₁	P-Mc₂	P-Mc₃	P-Mc₄	B.E₁	B.E₂	Média
6	3,56	3,58	3,05	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	2,13
7	3,56	3,58	3,05	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	2,13
8	3,56	3,58	3,05	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	2,13
9	3,56	3,58	3,05	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	2,13
10	4,25	4,24	3,90	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	2,37
11	1,00	1,00	1,02	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	1,33
12	3,36	3,35	2,94	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	2,06
13	4,72	4,70	4,23	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	2,51
14	4,69	4,67	3,98	0,97	0,46	0,70	0,48	3,08	3,15	2,47
15	4,34	4,30	3,28	1,06	0,15	0,14	0,11	3,29	3,75	2,27
16	2,58	2,57	1,97	0,62	0,25	0,23	0,14	0,88	1,41	1,18
17	3,88	3,85	2,62	1,04	0,47	0,41	0,34	2,75	3,18	2,06
18	2,46	2,45	2,10	0,56	0,38	0,37	0,22	1,21	0,83	1,18
19	5,30	5,26	4,37	1,49	1,08	0,99	1,01	5,27	5,32	3,34
20	4,90	4,86	3,76	1,48	1,28	1,17	1,13	4,03	4,18	2,98
21	3,01	3,01	2,77	0,89	1,01	0,91	0,69	1,19	1,99	1,72
22	4,04	4,03	3,70	1,29	1,60	1,38	1,31	3,40	3,95	2,74
23	5,20	5,17	4,42	1,97	2,55	2,24	2,48	4,58	5,22	3,78
24	2,62	2,62	2,38	0,95	1,69	1,67	1,26	1,89	1,74	1,87
25	5,87	5,83	5,01	2,62	3,71	3,42	3,85	5,35	5,89	4,62
26	5,23	5,18	4,22	2,53	3,76	3,59	3,63	3,87	4,68	4,08
27	5,02	4,96	3,82	2,73	4,09	4,09	3,89	3,75	4,69	4,11
28	4,63	4,59	3,86	2,54	3,90	3,97	3,61	3,04	3,82	3,77
29	4,77	4,75	4,46	2,89	4,18	4,42	3,89	3,57	4,32	4,14
30	5,41	5,38	4,51	3,79	5,04	5,39	5,01	4,17	5,27	4,88
31	5,94	5,92	5,48	4,37	5,60	6,03	5,75	3,70	5,51	5,37
32	5,22	5,21	4,89	3,65	4,99	5,50	4,88	3,32	4,66	4,70
33	5,27	5,25	4,57	4,50	5,31	6,28	5,17	3,29	4,86	4,95
34	5,47	5,43	4,12	5,26	5,69	6,95	5,64	2,80	5,05	5,19
35	2,86	2,88	3,68	2,47	3,11	3,86	2,79	-	1,66	2,91
36	5,54	5,53	5,29	4,37	5,59	6,48	5,60	5,54	6,02	5,55
37	5,04	5,01	4,47	4,31	5,16	6,27	5,07	2,90	4,57	4,76
38	5,37	5,34	4,95	4,32	5,52	6,55	5,51	3,62	4,99	5,13
39	5,57	5,55	5,17	5,38	5,86	7,50	5,85	3,53	5,34	5,53
40	5,08	5,04	4,27	4,67	5,35	6,77	5,28	2,78	4,73	4,89
41	6,30	6,28	5,66	6,32	6,53	8,40	6,69	4,26	6,39	6,31
42	3,51	3,52	3,71	3,26	3,78	5,01	3,57	0,15	2,72	3,25
43	3,27	3,26	3,01	3,47	3,73	5,19	3,52	1,16	2,98	3,29
44	3,16	3,17	3,23	2,76	3,43	4,44	3,25	1,00	2,57	3,00
45	2,72	2,71	2,50	2,18	3,03	3,72	2,87	1,60	2,47	2,64
46	5,43	5,42	5,15	4,55	5,46	6,89	5,45	4,44	5,64	5,38
47	5,85	5,80	5,06	5,25	6,04	7,75	6,09	3,93	5,78	5,73
48	6,12	6,07	5,10	5,40	6,29	8,04	6,36	4,56	6,17	6,04
49	5,49	5,48	5,30	4,91	5,64	7,31	5,64	3,39	5,37	5,39
50	5,74	5,75	5,17	6,17	6,04	8,53	6,04	3,60	5,67	5,97
51	5,99	5,97	5,54	6,69	6,30	8,96	6,36	3,33	6,04	6,13
52	5,66	5,63	4,44	5,21	5,84	7,68	5,87	3,31	5,58	5,47
53	6,04	5,97	4,88	5,97	6,20	8,38	6,26	3,32	5,94	5,88
54	5,83	5,77	4,39	6,45	6,17	8,85	6,19	3,70	5,68	5,89
55	6,20	6,15	4,85	7,10	6,58	9,49	6,65	3,90	6,22	6,35
56	5,96	5,96	6,04	7,03	6,43	9,39	6,47	2,81	5,71	6,20
57	5,80	5,76	4,95	6,64	6,21	9,05	6,22	3,08	5,55	5,92
58	5,62	5,62	5,57	6,35	6,04	8,73	6,04	3,18	5,48	5,85
59	3,06	3,95	3,54	5,95	4,78	8,07	4,62	1,34	3,56	4,40
60	5,10	5,09	4,60	7,15	5,96	9,42	5,91	2,04	4,87	5,57

Continuação da tabela 9

Dia	RB ₁	Padrão	RB ₂	PMc ₁	PMc ₂	PMc ₃	PMc ₄	B.E ₁	B.E ₂	Média
61	5,15	5,15	5,09	5,77	5,60	8,11	5,55	2,38	4,84	5,29
62	3,77	3,77	3,90	4,05	4,19	6,02	4,06	0,79	3,35	3,77
63	2,41	3,42	4,20	2,95	2,90	4,42	2,74	-	1,72	2,97
64	2,80	2,83	5,70	1,87	2,89	3,46	2,76	1,59	2,60	2,94
65	3,96	3,95	3,71	3,76	4,32	5,82	4,21	3,19	4,16	4,12
66	4,86	4,84	4,37	5,12	5,18	7,33	5,11	2,40	4,74	4,88
67	5,84	5,82	5,22	6,14	5,96	8,47	5,97	3,73	5,94	5,90
68	5,40	5,39	4,95	5,34	5,57	7,65	5,55	2,97	5,32	5,35
69	6,27	6,24	5,34	6,40	6,51	8,85	6,60	4,70	6,38	6,37
70	6,01	5,98	5,39	7,26	6,36	9,37	6,40	3,02	5,92	6,19
71	5,25	5,24	4,93	4,70	5,25	6,90	5,21	2,59	5,08	5,02
72	6,10	6,15	7,83	5,33	6,07	7,76	6,15	4,45	6,25	6,23
73	4,96	4,94	4,41	4,80	5,13	6,98	5,05	3,25	4,76	4,92
74	4,98	4,96	4,43	4,61	5,10	6,79	5,02	3,30	4,82	4,89
75	4,42	4,49	6,33	4,16	4,53	6,13	4,40	2,30	4,27	4,56
76	5,05	5,02	4,37	5,47	5,33	7,48	5,25	3,27	5,14	5,15
77	2,68	2,69	1,48	1,85	2,75	3,25	2,57	-	2,04	2,41
78	3,74	3,73	3,61	2,85	3,72	4,58	3,55	2,85	3,89	3,61
79	5,18	5,15	4,54	4,32	5,07	6,33	5,02	3,65	5,23	4,94
80	5,82	5,78	4,82	5,94	5,89	7,78	5,92	3,79	5,94	5,74
81	4,94	4,92	4,20	4,51	4,94	6,40	4,83	2,58	4,77	4,68
82	5,67	5,63	4,82	5,56	5,68	7,25	5,72	3,21	5,69	5,47
83	4,12	4,10	3,55	3,58	4,15	5,31	3,94	1,51	3,64	3,77
84	5,79	5,75	4,81	5,11	5,61	6,91	5,64	4,16	5,87	5,52
85	5,17	5,14	4,22	4,93	5,09	6,56	4,98	2,32	4,90	4,81
86	6,07	6,03	4,91	6,89	6,18	8,02	6,32	2,99	6,04	5,94
87	2,53	2,51	2,91	1,96	2,53	3,14	2,24	-	1,67	2,44
88	5,57	5,53	4,66	4,57	5,24	6,12	5,25	4,63	5,86	5,27
89	4,25	4,25	4,15	2,96	3,95	4,40	3,76	1,19	3,73	3,63
90	3,79	3,79	3,98	2,11	3,42	3,64	3,20	2,54	3,65	3,35
91	3,13	3,14	4,31	1,97	3,00	3,24	2,74	1,27	2,90	2,85
92	2,48	2,51	4,20	1,65	2,35	2,70	2,05	0,32	2,15	2,27
93	3,51	3,52	3,35	2,30	3,32	3,62	3,06	2,10	3,59	3,16
94	2,93	2,94	4,72	1,52	2,54	2,61	2,25	0,80	2,62	2,55
95	3,95	3,95	3,82	2,59	3,49	3,84	3,21	2,46	4,04	3,48
96	5,17	5,44	4,58	4,14	4,96	5,55	4,92	4,04	5,57	4,96
97	4,63	4,61	3,84	3,29	4,23	4,75	4,03	2,38	4,33	4,01
98	3,12	3,09	4,00	3,29	3,80	3,85	4,03	1,99	4,02	3,47
99	3,50	3,45	3,90	3,29	3,80	3,85	4,03	1,99	4,02	3,54
100	3,50	3,45	3,90	3,29	3,80	3,85	4,03	1,99	4,02	3,54
101	3,50	3,45	3,90	3,29	3,80	3,85	4,03	1,99	4,02	3,54
102	3,50	3,45	3,90	3,29	3,80	3,85	4,03	1,99	4,02	3,54
Total	442,43	440,83	411,93	358,05	389,94	492,94	384,20	272,01	419,87	402,61
Média	4,56	4,54	4,25	3,69	4,02	5,08	3,97	2,92	4,33	4,15