

ALOISIO DE SOUSA OLIVEIRA

**PARAMETRIZAÇÃO, CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO LAPS
PARA POMAR DE MANGUEIRA DO ESTADO DO PARÁ.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

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

T

O48p
2013

Oliveira, Aloisio de Sousa, 1984-

Parametrização, calibração e validação do modelo LAPS
para pomar de mangueira do estado do Pará / Aloisio de Sousa
Oliveira. – Viçosa, MG, 2013.

xv, 62 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Aristides Ribeiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 55-62.

1. Climatologia agrícola. 2. Massa - Transferência.
3. Energia - Transferência. 4. Manga - Cultivo - Modelos
Matemáticos. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

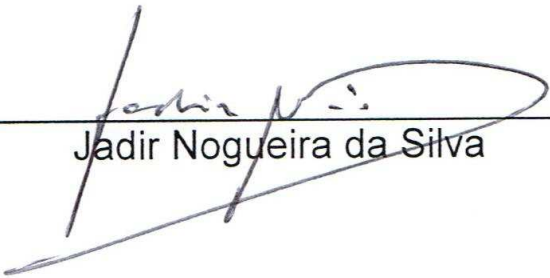
CDD 22. ed. 630.2515

ALOISIO DE SOUSA OLIVEIRA

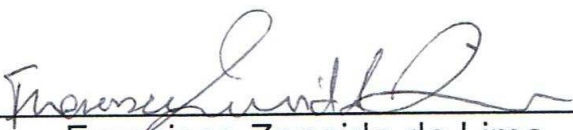
**PARAMETRIZAÇÃO, CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO LAPS
PARA POMAR DE MANGUEIRA DO ESTADO DO PARÁ.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

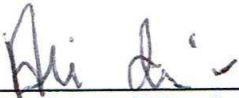
APROVADA: 28 de Julho de 2013.



Jadir Nogueira da Silva



Francisca Zenaide de Lima



Aristides Ribeiro
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Antônio Francisco de Oliveira (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Ao Professor e orientador Aristides Ribeiro, pelo imenso apoio e por todos os ensinamentos durante essa árdua jornada.

Ao Professor e conselheiro José de Paulo Rocha da Costa, pela dedicação e gentileza no atendimento aos meus questionamentos e pela disponibilização dos dados para realização das simulações.

Ao professor Welliam Chaves Monteiro da Silva pelo apoio na elaboração do projeto e na execução do trabalho.

Ao grupo de pesquisa BIOMODEL, por ter me acolhido e possibilitado o aprendizado e envolvimento em diversos trabalhos.

A todos que, de algum modo, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

BIOGRAFIA

ALOISIO DE SOUSA OLIVEIRA, filho de Antônio Francisco de Oliveira e Luzia de Souza Oliveira, nascido em 20 de março de 1984, na cidade de Viçosa-MG.

Ingresso no curso de Física da Universidade Federal de Viçosa-MG, em 2005, concluindo em 2010.

Em agosto de 2011, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da mesma Universidade, nível mestrado, na área de Energia na Agricultura.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIMBOLOS.....	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A Cultura da mangueira	4
2.2. A fruticultura na Amazônia	8
2.3. Balanço de radiação e energia.....	8
2.4. Modelagem e simulação das interações atmosfera-biosfera.	13
2.5. Implicações da mudança do uso da terra	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Localização da área experimental.....	16
3.2. LAND-AIR PARAMETRIZATION SCHEME	18
3.2.1. Parametrização do modelo.....	29
3.2.2. Calibração do Modelo.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Forçantes atmosféricas.....	34
4.1.1. Precipitação Pluviométrica e velocidade do vento.....	34
4.1.2. Temperaturas do ar e do solo.....	35
4.1.3. Perfil da umidade relativa do ar	38
4.1.4. Radiação Solar Global e Saldo de Radiação.....	39
4.1.5. Condições hídricas do solo.....	40
4.2. Fluxo de calor latente observado e simulado.....	40
4.2.1. Simulação dos componentes da evapotranspiração	42
4.2.2. Evapotranspiração estimada e simulada	43
4.3. Fluxo de calor sensível observado e simulado.....	45
4.4. Balanço de energia	46
4.5. Simulação das temperaturas do sistema planta-atmosfera.....	47
4.6. Validação do modelo LAPS.....	49

4.7. Implicações da mudança do uso do solo	52
5. CONCLUSÕES.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura1- Evolução das exportações brasileiras de frutas frescas.....	6
Figura 2- Principais estados produtores de manga no Brasil, em 2010.....	6
Figura 3- Área colhida no Brasil, no período de 1970-2010.....	7
Figura 4- Representação esquemática dos componentes do balanço de energia durante o período diurno (a) e noturno (b).....	12
Figura 5- Vista geral da área experimental.....	16
Figura 6- Torre micrometeorológica e equipamentos.....	17
Figura 7- Esquema para representação dos fluxos de água na superfície e nas três camadas do solo.	20
Figura 8- Esquema das vias de transferência de calor latente e calor sensível.	22
Figura 9- Variação do IAF do pomar de mangueiras.....	29
Figura 10-Totais diários de precipitação na região de estudo.....	34
Figura 11-Velocidade média do vento a 15 metros do solo.....	35
Figura 12- Temperatura média do ar nas alturas de dois e 15 metro.....	35
Figura 13- Temperatura média mensal do ar nas alturas medidas.....	36
Figura 14- Curso diário da temperatura do solo no período chuvoso.....	37
Figura 15- Curso diário da temperatura do solo no período seco.....	38
Figura 16- variação diária da umidade relativa do ar.....	38
Figura 17- Variabilidade do saldo de radiação e da radiação global no período estudado.....	39
Figura 18- Variação diária da umidade volumétrica na primeira camada do solo.....	40

Figura 19- Variação sazonal dos fluxos de calor latente observado e simulado.....	41
Figura 20- Correlação entre os valores do fluxo de calor latente simulados e observados.....	42
Figura 21- Variação diária dos componentes da evapotranspiração no período	43
Figura 22- Curso diário da evapotranspiração observada e simulada no período estudado.	44
Figura 23- Correlação dos valores da evapotranspiração diária observados e simulados.....	45
Figura 24- Variação diária do fluxo de calor sensível observado e simulado.....	46
Figura 25- Correlação dos valores do fluxo de calor sensível observado e simulado.....	46
Figura 26- Componentes do balanço de energia simulados para dias característicos do período chuvoso (a) e não chuvoso (b).....	47
Figura 27- Curso diário das temperaturas do ar a 15 metros, do ar no interior do dossel e da temperatura da superfície foliar em períodos chuvosos (a) e não chuvosos(b).....	49
Figura 28- Variação diária das temperaturas do ar no interior do dossel, do ar a 15 metros e da temperatura da superfície foliar em todo o ciclo sazonal.....	49

Figura 29- Curso diário da evapotranspiração simulada e observada no mês de janeiro de 2013.....	50
Figura 30- Correlação dos valores da evapotranspiração simulados e observados no mês de janeiro.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Produção mundial de manga no ano de 2010.....	4
Tabela 2- Parâmetros físico-hídricos do solo.....	30
Tabela 3- Totais acumulados da evapotranspiração do pomar de mangueira no mês de janeiro de 2013.....	50
Tabela 4- Análise estatística da estimativa da evapotranspiração.....	51
Tabela 5- Impactos nos fluxos de calor latente e sensível no período chuvoso.....	52

LISTA DE SIMBOLOS

CC	Capacidade de campo	m^3m^{-3}
PMP	Ponto de Murcha permanente	m^3m^{-3}
W_s	Umidade volumétrica na saturação	m^3m^{-3}
W_{cc}	Umidade volumétrica na capacidade de campo	m^3m^{-3}
W_{PMP}	Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente	m^3m^{-3}
W_1	Umidade volumétrica na camada 1	m^3m^{-3}
W_2	Umidade volumétrica na camada 2	m^3m^{-3}
W_3	Umidade volumétrica na camada 3	m^3m^{-3}
C_f	Capacidade térmica do dossel	
C_g	Capacidade térmica do solo	
R_{net}	Saldo de radiação	$W m^{-2}$
H	Fluxo de calor sensível	$W m^{-2}$
λE	Fluxo de calor latente	$W m^{-2}$
t	Tempo	S
w_f	Interceptação da precipitação	Mm
P_f	Precipitação retida pelo dossel	Mm
E_{wf}	Evaporação fração molhada do dossel	Mm
P_w	Densidade da água	$g cm^{-3}$
F	Fluxo de água	
K	Condutividade hidráulica	$mm h^{-1}$
K_s	Condutividade hidráulica saturada	$mm h^{-1}$
K_{ef}	Condutividade hidráulica efetiva	$mm h^{-1}$
Ψ	Potencial matricial do solo	
D_1	Espessura da camada 1	M
D_2	Espessura da camada 2	M
D_3	Espessura da camada 3	M
P_1	Precipitação pluviométrica	Mm
$F_{1,2}$	Fluxo de água da camada 1 para a camada 2	ms^{-1}
$F_{2,3}$	Fluxo de água da camada 2 para a camada 3	ms^{-1}
F_3	Drenagem gravitacional de água para as camadas mais profundas	ms^{-1}
$E_{tf,1}$	Contribuição da camada 1 para a Transpiração	Mm
$E_{tf,2}$	Contribuição da camada 2 para a transpiração	Mm

R_1	Escoamento superficial	ms^{-1}
R_2	Escoamento subsuperficial na camada 2	ms^{-1}
R_3	Escoamento subsuperficial na camada 3	ms^{-1}
P_0	Precipitação efetiva na superfície do solo	mm
α_{if}	Constante	
C_p	Calor específico da água a pressão constante	$\text{MJ Kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Γ	Constante psicrométrica	$\text{Kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$
T_g	Temperatura da superfície do solo	$^\circ\text{C}$
T_a	Temperatura do ar no interior do dossel	$^\circ\text{C}$
e_a	Pressão de vapor d'água no interior do dossel	Kpa
r_1	Resistência ao transporte de vapor d'água da superfície do solo nu	s m^{-1}
r_d	Resistência aerodinâmica ao transporte de vapor d'água entre a superfície do solo e a base do dossel.	s m^{-1}
r_b	Resistência ao fluxo de vapor d'água na camada de ar sobre o dossel	s m^{-1}
r_c	Resistência da cultura	s m^{-1}
r_{smin}	Resistência estomática mínima	s m^{-1}
r_s	Resistência estomática	s m^{-1}
r_a	Resistência aerodinâmica ao transporte de calor e umidade entre o dossel e a altura de referencia.	s m^{-1}
A	Parâmetro	
p_1	Constante empírica	
p_2	Constante empírica	
p_3	Constante empírica	
$w_{\Theta s1}$	Potencial matricial saturado na superfície do solo	mm
k	Constante de Von Karman	
U_H	Velocidade do vento no topo do dossel	ms^{-1}
H	Altura do topo do dossel	m
h	Altura da base do dossel	m
α_g	Razão entre as alturas da base e topo do dossel.	
B	Fator de extinção	
Z_0	Comprimento de rugosidade efetivo	m
IAF	Índice de área foliar	m^2m^{-2}
δ_s	Constante	
c_d	Coeficiente de arrasto	

i_w	Intensidade relativa da turbulência	$m\ s^{-1}$
w_d	Largura das folhas ao quadrado	m^2
L_d	Densidade de área foliar	m^2m^{-2}
C_t	Coeficiente de transporte	
P_s	Fator de proteção da folha	
f_r	Fator de ajustamento da resistência estomática	
f_w	Fator de ajustamento da tensão hídrica	
f_T	Fator de ajustamento da temperatura	
T_r	Temperatura do ar no nível de referencia	$^{\circ}C$
f_v	Fator de ajustamento do déficit hídrico	
e_r	Pressão parcial de vapor d'água no nível de referencia	Kpa
Z_r	Altura de referencia	m
U^*	Velocidade de fricção	$m\ s^{-1}$
R_f^s	Radiação de onda curta absorvida pelo dossel	Wm^{-2}
R_g^s	Radiação de onda curta absorvida pela superfície do solo	Wm^{-2}
R_f^l	Radiação de onda longa absorvida pelo dossel	Wm^{-2}
R_g^l	Radiação de onda longa absorvida pela superfície do solo	Wm^{-2}
R_0^s	Radiação de onda curta incidente	Wm^{-2}
α_f	Albedo da folhagem	
α_g	Albedo da superfície do solo	
δ_f	Fração de cobertura da vegetação	
δ_B	Constante de Stefan Boltzman	$Wm^{-2}K^{-4}$
ε_f	Emissividade da folhagem	
ε_g	Emissividade da superfície do solo	
R_0^l	Radiação de onda longa incidente	Wm^{-2}
K_e	Coeficiente de transferência turbulenta de vapor d'água	m^2s^{-1}
K_h	Coeficiente de transferência turbulenta de calor sensível	m^2s^{-1}
Λ	Calor latente de vaporização da água	$MJ\ kg^{-1}$
Q	Umidade especifica do ar	gKg^{-1}
T_1	Temperatura do ar no nível 1	$^{\circ}C$
T_2	Temperatura do ar no nível 2	$^{\circ}C$
q_1	Umidade específica do ar no nível 1	gKg^{-1}
q_2	Umidade específica do ar no nível 2	gKg^{-1}
$e_a(t)$	Pressão parcial de vapor d'água à temperatura t	Kpa
U_r	Umidade relativa do ar	%
e_s	Pressão parcial de vapor d'água na saturação	Kpa

RESUMO

OLIVEIRA, Aloisio de Sousa, M.sc. Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2013. **Parametrização, calibração e validação do modelo LAPS para pomar de mangueira do estado do Pará.** Orientador: Aristides Ribeiro. Coorientador: Welliam Chaves Monteiro da Silva.

O desenvolvimento da tecnologia computacional vem possibilitando a investigação mais precisa dos processos de interação do sistema solo-planta-atmosfera. Esquemas de transferência de massa e energia sofisticados, cuja estrutura incorpora os aspectos morfológicos e fisiológicos do dossel vegetativo, parâmetros físico-hídricos do solo e variáveis atmosféricas, constituem uma ferramenta imprescindível para melhor compreender e descrever os complexos processos biofísicos que governam o desenvolvimento dos vegetais. Land-Air Parametrization Schemes (LAPS) é um modelo SVAT que incorpora em sua estrutura três camadas de solo para representar o transporte vertical de água e uma camada de dossel, que é tratada como um bloco poroso de densidade constante contornado pela atmosfera. Neste trabalho, o modelo LAPS foi calibrado e validado para simular os processos de transferência de energia entre a atmosfera e a superfície, em pomar de mangueira não irrigado, na localidade de Cuiarana, estado do Pará. O método da razão de Bowen foi utilizado no processo de calibração dos fluxos de calor sensível e latente. O balanço de energia simplificado foi efetuado para todo um ciclo sazonal, correspondendo ao período de janeiro de 2012 a janeiro de 2013. A validação do modelo foi efetuada através dos seguintes índices estatísticos: MAE, MBE, RMSE, EF, D, r^2 e t. Os resultados mostraram boa confiabilidade do modelo na representação dos fluxos de energia na superfície. Uma breve comparação dos fluxos de energia entre os biomas fruticultura, floresta amazônica e campo agrícola evidenciou que, além dos benefícios sociais da implementação da fruticultura manga rosa na região, os impactos da mudança do uso do solo são mais brandos, quando comparados com a transição de floresta para campo agrícola.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Aloisio de Sousa, M.sc. Universidade Federal de Viçosa, July of 2013. **Parameterization, calibration and validation of LAPS model for mango orchard in the state of Pará.** Adviser: Aristides Ribeiro. Co-Adviser: Welliam Chaves Monteiro da Silva.

The development of computational technology has been making a more precise investigation of the soil-plant-atmosphere system interaction processes possible. Sophisticated mass and energy transference layouts, whose structure incorporates the morphological and physiological aspects of the canopy, soil-water parameters and atmospheric variables, constitutes as a indispensable tool to better understand and describe the complex biophysical processes that govern vegetative development. Land-Air Parametrization Schemes (LAPS) is a SVAT model that incorporates in its structure three soil layers to represent the vertical transport of water and a canopy layer, which is treated as a porous block with constant density circumvented by atmosphere. In this project, the LAPS model was calibrated and validated to simulate the energy transference processes between the atmosphere and the surface, in a non-irrigated *Mangifera* orchard, located in Cuiarana, Pará. The Bowen ratio was utilized in the sensible heat and latent heat flux calibration process. A simplified energy balance was made for the entire periodicity, corresponding to the period between January 2012 and January 2013. The validation of the model occurred through the following statistical indices: MAE, MBE, RMSE, EF, D, r^2 e t. The results, in relation to the model, demonstrated high reliability when it was used for representing the surface energy fluxes. A brief energy flux comparison between the fruit growing, Amazon rainforest and the field biomes revealed that, other than the social benefit brought by the implementation of the mango "Rosa" fruit culture in the region, the impacts considering the change in the use of the soil are milder, when comparing the transition from forest to field agriculture

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas tropicais, com uma produção anual que supera os 40 milhões de toneladas, sendo responsável por apenas 5,7% da produção total em 2010, ficando atrás da China e Índia, cujas produções em 2010 foram de 190,2 e 86,0 milhões de toneladas, correspondendo a 26,1% e 11,8% do volume colhido, respectivamente (FAO). A fruticultura brasileira ocupa cerca de 2,9 milhões de hectares, gerando milhões de empregos diretos. Segundo o IBRAF- Instituto Brasileiro de frutas, as exportações de frutas frescas contabilizaram 759,4 mil toneladas e gerou um rendimento de US\$ 609,6 milhões de dólares. As principais frutas exportadas foram melão, uva, manga, maçã, limão e banana.

A produção expressiva de frutas no Brasil se deve a sua favorável posição geográfica, extenso território com propícias condições do clima e do solo para implementação da fruticultura. Os países em desenvolvimento respondem por cerca de 90% da produção mundial de frutas, voltada principalmente para o mercado interno (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2012). A prática tem contribuído para a geração de empregos, aumento da renda dos agricultores e redução dos níveis de pobreza.

A manga é uma das principais frutas tropicais produzidas no mundo e vem apresentando as maiores taxas de crescimento entre as frutas exportadas pelo Brasil (IBRAF, 2009). A mangicultura representa uma excelente alternativa comercial para algumas regiões do País e sua boa aceitação no mercado internacional tem motivado os produtores a investir em técnicas sofisticadas de manejo e pós colheita para melhorar a produção e a qualidade das frutas. Privilegiado pelos incentivos empresariais com a implementação de grandes projetos de irrigação e pesquisa, o Vale do São Francisco é responsável por mais de 93 % das exportações nacionais de manga (SIQUEIRA, 2003)

A capital do Estado do Pará é conhecida como a cidade das mangueiras, no entanto sua produção é pouco expressiva em relação aos municípios da região nordeste. A região Amazônica possui uma série de características que a tornam habilitada para investir no agronegócio da fruticultura (SOUSA et al, 2011). Trata-se da maior região do País com crescente área desmatada, apresentando recursos hídricos em abundância e solos propícios para a produção de frutas tropicais, podendo se constituir uma boa alternativa para geração de renda para a agricultura familiar.

A compreensão dos complexos mecanismos envolvidos nos processos de interação solo-planta-atmosfera tem sido melhorada com o desenvolvimento da tecnologia computacional, especialmente com o surgimento de modelos de transferência de massa e energia conhecida como SVATs- Soil Vegetation Atmosphere Transfer. Dentre estes, pode-se destacar o LAPS- Land-Air Parametrization scheme pela simplicidade dos algoritmos e da parametrização na simulação dos processos, com destaque para a boa acurácia reportadas em estudos de diferentes biomas (COSTA et al, 2008; MIHAILOVIC et al, 1999) . Outra vantagem é apresentar código aberto, permitindo melhorar ou adequar os módulos e equações que simulam os processos biofísicos. Esta ferramenta permite ampliar os conhecimentos sobre a dinâmica da água no perfil do solo e possíveis implicações dos extremos climáticos das variações na disponibilidade hídricas nos diferentes biomas. Permite também investigar alterações no balanço de energia e sua partição em calor sensível e latente em mudanças de uso do solo. Qualquer mudança da cobertura do solo implicam em mudanças nos padrões das trocas de energia, massa e momentum em microescala. Alterações expressivas do uso da terra podem promover alterações no clima regional e global, principalmente quando ocorrem em regiões tropicais, por serem áreas com maior disponibilidade de irradiância solar e água. Analisar o impacto nos fluxos de massa e energia, resultantes da expansão do desmatamento ou da monocultura em áreas de floresta nativa tem sido um desafio para os pesquisadores atuais. A região Nordeste do estado do Pará se caracteriza como área de expansão da fronteira agrícola na Amazônia e a fruticultura tem alto potencial do ponto de vista sócio-econômico. Dentre as fruteiras, o plantio de mangueira se destaca

pela capacidade de adaptabilidade. Desta forma, este trabalho teve como objetivo geral calibrar e validar o modelo LAPS para pomar de mangueira para a localidade de Cuiarana-Pará.

Especificamente, objetivou-se:

- ✓ Simular os componentes do balanço de energia e analisar as magnitudes da partição do saldo de radiação em calor sensível e latente nos períodos chuvosos e não chuvosos.
- ✓ Analisar a variabilidade sazonal da temperatura do dossel e da temperatura foliar, simuladas pelo LAPS.
- ✓ Analisar o desempenho do modelo na simulação dos componentes do balanço de energia em diferentes cenários, visando estudar possíveis impactos nos processos climáticos e características hidrológicas, em função da mudança do uso do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cultura da mangueira

A mangueira é nativa do continente Asiático e foi introduzida no Brasil pelos Portugueses, por volta de 1700. Atualmente, a manga é considerada uma das mais importantes frutas tropicais produzidas no mundo. Como fonte de vitaminas A e C, é constituinte de vários produtos industrializados.

O Brasil é o sétimo maior produtor mundial de manga, direcionada quase integralmente para o mercado interno. Os Países da Ásia são os grandes produtores mundiais da fruta, como ilustra a tabela 1.

Tabela 1- Produção mundial de manga no ano de 2010.

País	1000 Toneladas
Índia	15.026
China	4.351
Tailândia	2.550
Paquistão	1.845
México	1.632
Indonésia	1.287
Brasil	1.188
Total	33.445

Adaptado de FAO (2012)

A mangueira pertence a família das *Anacardiaceae*, possui porte médio a alto, podendo alcançar até 30 m de altura. A copa é globosa e arredondada e pode ser aberta ou fechada. Suas folhas são lanceoladas medindo de 15 a 40 cm de comprimento e o pecíolo é curto com coloração verde-claro quando jovem e verde-escuro quando maduras (CUNHA et al, 2002). Seu sistema radicular possui uma raiz primária longa podendo alcançar o lençol freático, permitindo uma boa sustentação e sobrevivência da planta em períodos de escassez dos recursos hídricos, e uma densa malha de raízes superficiais absorventes, das quais cerca de 90% encontram-se na profundidade de até 1,5 m de profundidade e 1,5 m de distância do tronco (CUNHA & CASTRO NETO, 2000; SILVA et al., 2000).

As flores se reúnem em panículas terminais e laterais de forma e coloração variadas, o número de panículas por planta varia entre 200 a 3.000 panículas/planta, cada qual apresentando de 100 até 17.000 flores. Embora milhões de flores sejam produzidas durante o estágio de florescimento em mangueiras adultas, uma pequena parcela chega a originar frutos (CUNHA et al., 2002; SILVA et al., 2000). Os frutos são drupas e apresentam características variáveis quanto a forma, peso e coloração.

Segundo CRISÓSTOMO E NAUMOV (2009), a mangueira adapta-se e produz bem em ambientes com temperatura amena (25°C diurno e 15°C noturno), sendo a floração induzida por um período seco. Contudo, quando a temperatura na fase de frutificação é cerca de 30 °C, a produção é pouco afetada desde que o suprimento de água seja adequado (CHACKO, 1986). Temperatura inferior a 15°C ou superior a 30°C pode inibir a germinação do tubo polínico, sem ocorrência da fertilização e aborto do embrião. Nas regiões brasileiras produtoras de manga a incidência de radiação solar é máxima em outubro (528 cal cm⁻² dia⁻¹) e mínima em junho (363 cal cm⁻² dia⁻¹) correspondendo aos períodos de florescimento e frutificação, respectivamente (CRISÓSTOMO E NAUMOV, 2009). Segundo SILVA et al. (2000), a temperatura ideal para o cultivo da mangueira varia entre 21 e 26 °C, e as temperaturas extremas de 42 e 10 °C limitam sobremaneira o crescimento.

De acordo com FAVERO, 2008, apenas 12% da produção são exportadas. No entanto, dados do Instituto Brasileiro de Frutas (IBRAF) apontaram um crescimento de 13,15 % na exportação de manga em 2010, em comparação com o ano de 2009, direcionados principalmente para os países da Europa, Holanda e Estados Unidos. A Figura 1 apresenta a evolução das exportações de mangas frescas no período de 1998-2008, nota-se um significativo crescimento até 2003, seguido de um período de estabilidade e novo crescimento de 2008 a 2010.

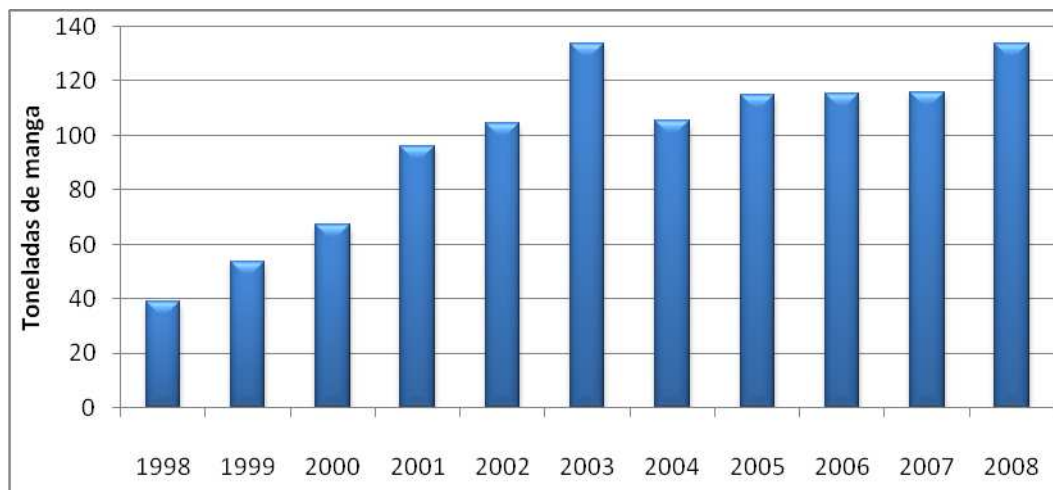


FIGURA 1- Evolução das exportações brasileiras de mangas frescas
Adaptado de IBRAF(2009)

Os estados Brasileiros com maior produção de manga são Bahia, São Paulo e Pernambuco. A expansão das áreas plantadas (FIGURA 2) para a região nordeste do país é expressiva, onde as condições de alta incidência de energia solar, elevada temperatura e baixa umidade relativa são favoráveis.

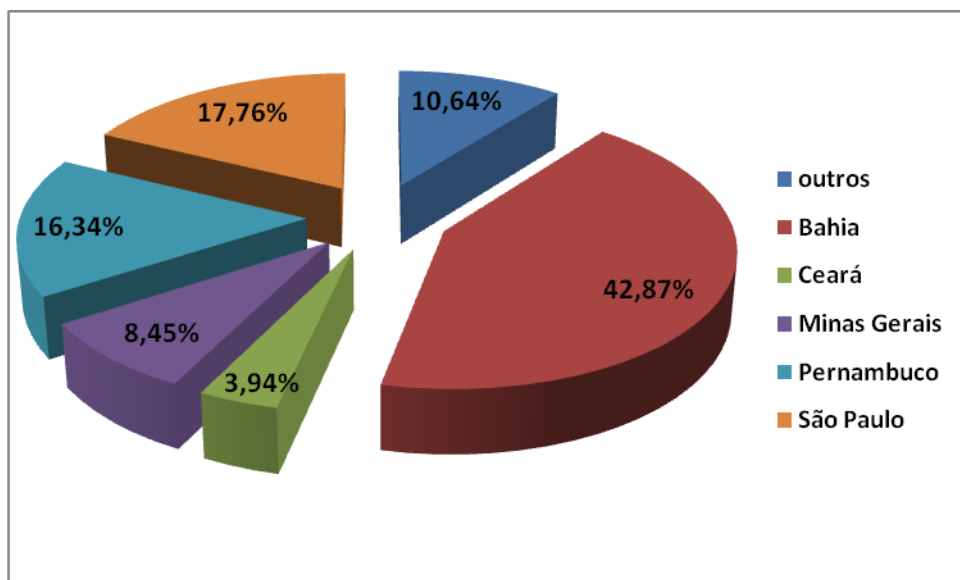


FIGURA 2-Principais estados produtores de manga em 2010
Fonte: IBGE- produção Agrícola Municipal,2010.

A mangicultura tem se tornado um dos agronegócios de destacada importância econômica para o Brasil, com tendência de crescimento e

investimento nos próximos anos. No semiárido, as margens do Vale do Rio São Francisco, são produzidas mais de 90 % de toda manga exportada pelo Brasil, resultante do alto investimento em fruticultura irrigada e tendo como foco o mercado externo. Dados do IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística apontam um crescimento expressivo da área colhida de manga no Brasil, a partir de 1985 (Figura 3).

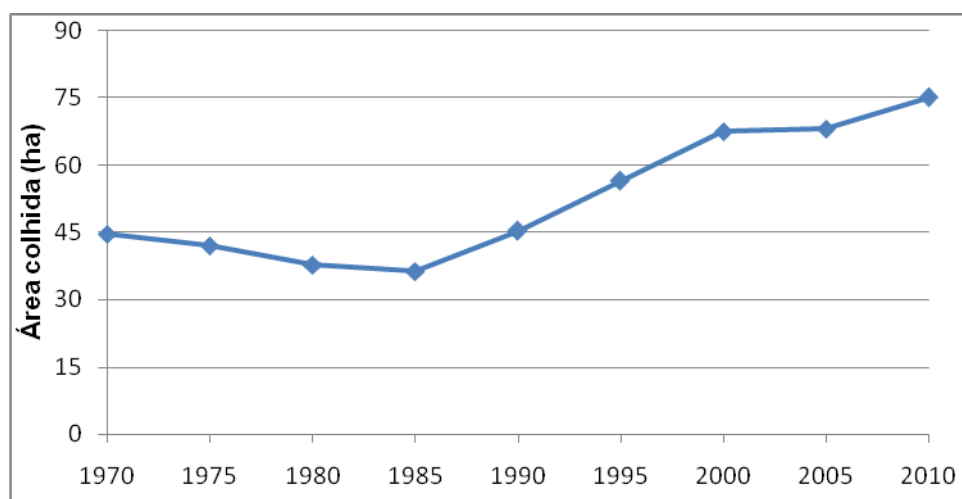


Figura 3-Área colhida no Brasil, no período de 1970- 2010
FONTE: IBGE (2010)- Produção Agrícola Mundial, 2010.

Predomina-se a cultivar Tommy Atkins, por possuir as características demandadas pelo mercado, essa cultivar tornou-se a mais produzida e a mais comercializada no mundo (COSTA e FERNANDES, 2004). Essa cultivar é originária dos Estados Unidos, como resultado de uma progênie da Haden, trata-se de uma árvore densa e arredondada com frutos de coloração laranja entrelaçados com amarelo e vermelho, com médio teor de fibra e muito succulenta. Os frutos permanecem saudáveis por um longo período, favorecendo a sua comercialização. Na década de 90, foram plantados cerca de 1.870 hectares com mangueiras no estado do Piauí, destas, mais de 80% correspondentes à variedade Tommy Atkins. No entanto, algumas dificuldades de adaptação as condições edafoclimáticas, como dificuldade de indução floral, crescimento vegetativo excessivo, falta de manejo nutricional adequado, culminaram em baixas produções de frutos (CAMPBELL e WASIELEWSKY, 2000).

2.2. A fruticultura na Amazônia

A fruticultura vem se tornando uma importante alternativa para o agronegócio na Amazônia. A região apresenta condições edafoclimáticas favoráveis para o cultivo de diversas frutas tropicais nativas e exóticas, possui vários milhões de hectares desmatados e recursos hídricos para a irrigação das fruteiras. Dessa maneira, a fruticultura poderia trazer vários benefícios para os cidadãos, renda para os produtores, emprego, recuperação ambiental através da ocupação de áreas desmatadas. No entanto, mais da metade das frutas consumidas na Amazônia são importadas de outros estados brasileiros (FAO, 2004).

Em alguns estados da Amazônia, esforço vem sendo despendido com o intuito de desenvolver e potencializar a fruticultura. Integrando o cultivo de espécies nativas (frutas exóticas da Amazônia) com as frutas mais importantes do mercado consumidor. Destacam-se as fruteiras como açaí, bacaba, cupuaçu, buriti, taperebá, acerola, tucumã, pupunha, tamarindo, murici, uixibacuri, cubio, araçá-boi, piquiá, maracujá, banana, abacaxi, mamão, laranja, tangerina, uva, melão, melancia, graviola, biribá, mari e tantas outras. Pesquisadores apontam uma grande variedade de frutas nativas com possibilidades de exploração econômica na região Amazônica (CLAY et al, 1999).

O Estado do Pará é o responsável por mais de 80 % de toda fruta produzida na região amazônica. Outros Estados com destaque na produção de frutas são o estado do Amazonas, Rondônia e Amapá (NASCENTE E NETO, 2005).

2.3. Balanço de radiação e energia

A energia proveniente do Sol é a fonte primordial para a vida no planeta Terra. A cada segundo, 700 milhões de toneladas de Hidrogênio são convertidos em 695 milhões de toneladas de Hélio, sendo 5 milhões de toneladas convertidos em energia, equivalentes a $3,8 \times 10^{23}$ W .

Essa energia é emitida pela superfície do sol em todas as direções e transportada no espaço interplanetário por ondas eletromagnéticas, caracterizadas por campos elétrico e magnético oscilando

perpendicularmente um ao outro e à direção de propagação da onda. Grandes esforços intelectuais têm sido despendidos na busca pela compreensão da natureza da radiação eletromagnética, constituindo um marco na história da Física e introduzindo o conceito de dualidade onda-partícula a todos os fenômenos da natureza. A radiação eletromagnética tem um comportamento dual, viaja no espaço com movimento governado pelas leis da ondulatória, caracterizado por uma frequência e um comprimento de onda, mas ao interagir com a matéria, comporta-se como um feixe de partículas desprovidas de massa denominadas fótons, cuja energia é dada pelo produto da constante de Planck pela frequência da onda de matéria que governa o seu movimento (EISBERG e RESNICK, 1978).

Uma “chuva” de fótons de diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético incide no topo da atmosfera terrestre. Cerca de 30% da energia que atinge o topo da atmosfera terrestre é refletida para o espaço. A parcela restante interage com os constituintes atmosféricos, com os vegetais e a superfície da terra, através de complexos processos físicos, como os de absorção e o espalhamento da radiação. Consequentemente, a radiação solar que atinge a superfície terrestre (radiação global) é constituída de duas parcelas: a radiação direta é a parcela que atinge a superfície terrestre sem ser atenuada pelos elementos atmosféricos. A outra parcela é chamada de radiação difusa, constituída pela radiação espalhada em todas as direções do céu pelos elementos atmosféricos.

A energia emitida pelo Sol apresenta um espectro eletromagnético característico da emissão de um corpo negro à mesma temperatura da sua superfície, aproximadamente 5770 K. A energia emitida pela terra, por sua vez, pode ser considerada como a emitida por um corpo negro a 300 K. A radiação vinda do sol é dita radiação de ondas curtas (alta frequência), enquanto a energia emitida pela terra e pelos constituintes atmosféricos é dita radiação de ondas longas. A superfície terrestre continuamente recebe radiação de ondas curtas e emitindo radiação de ondas longas. O balanço de energia em uma determinada superfície consiste na contabilização da energia radiante recebida e perdida pela superfície.

Apenas 5% da energia total que incide na superfície terrestre é aproveitada pelas plantas para formação de carboidratos, o restante é

emitida em comprimentos de ondas maiores, perdida na forma de calor e refletida (TAIZ & ZIEGER, 2004). Sendo assim, verifica-se que 1,3% da radiação incidente ao topo da atmosfera é utilizada pelas plantas para a fotossíntese.

A interação entre a radiação solar e a planta é influenciada por fatores ambientais, morfologia e fisiologia da planta, que condicionam as parcelas refletidas, absorvidas e transmitidas pelo dossel e o microclima interno da cobertura vegetal. A quantidade e qualidade da radiação disponível dentro do dossel afetam os processos fisiológicos das plantas (SOUZA, 2006). De acordo com as leis da radiação e da primeira lei da termodinâmica, o saldo de radiação ou radiação líquida disponível é dado como a energia resultante do balanço da radiação eletromagnética de ondas longas e ondas curtas na superfície do solo. Parte desta energia é utilizada para aquecer o sistema solo-planta-atmosfera através do fluxo de calor sensível, outra parcela é utilizada nos processos de mudança de fase da água através do fluxo de calor latente. O saldo de radiação representa a energia disponível para diversos processos físico-químicos que ocorrem na superfície vegetada e o principal parâmetro utilizado em muitos métodos que estimam a evapotranspiração e fotossíntese em diversas culturas (FACCO et al., 2009). Estudos visando o comportamento térmico e hídrico da camada imediatamente acima da superfície do solo e extremamente influenciada por esta são de grande importância, em virtude de sua aplicabilidade em ciências ambientais e para a circulação geral da atmosfera (ANDRE e VISWANADHAM, 1986).

Avaliar os fluxos radiativos de calor sensível permite obter informações importantes a respeito do conforto térmico do vegetal, do ar e do solo e o conhecimento do fluxo de calor latente permite obter informações a respeito da dinâmica do fluxo de água e do estado hídrico do solo, constituindo uma importante ferramenta no monitoramento dos recursos hídricos. Estes parâmetros contribuem na compreensão do complexo mecanismo que envolve o desenvolvimento e produção das plantas, permitindo o conhecimento básico para tomada de medidas mais eficientes nas práticas de irrigação e manejo.

Existe na literatura, grande numero de estudos que tratam da quantificação e análise da partição da energia solar em superfícies vegetadas (BOWEN, 1926; SILVA, 2007; CARNEIRO et al., 2008; TIBA e LEAL, 2005; ESCOBEDO et al. 1999; INÁCIO, 2009; DRECHMER, 2005; ARRUDA, 2011; VILLA NOVA, 1973; AVILA NETTO et al., 1999; PEZZOPENE e JUNIOR, 2003; AGUIAR, 2005; CUNHA et al., 2002; VELLAME et al., 2009; BIUDES et al., 2009, PEREIRA et al., 2002; SILVA e AZEVEDO., 2006)

As trocas gasosas entre o sistema planta-atmosfera são influenciadas pela irradiância solar, temperatura do ar e pela disponibilidade hídrica do solo (PEREIRA et al., 2002). Essa troca se dá pelos estômatos, que são órgãos localizados no interior das folhas e controlam os fluxos através de variação da turgescência em função de fatores fisiológicos e meteorológicos. O fluxo convectivo de calor latente se dá pela transpiração das folhas através dos estômatos e pela evaporação direta da água da superfície do solo. O nome evapotranspiração refere-se à energia consumida pela água nos processos simultâneo da transpiração foliar e da evaporação na superfície do solo. Trata-se de um importante componente do ciclo hidrológico e o seu conhecimento permite melhorias nas praticas de manejo dos recursos hídricos e na compreensão de fatores importantes relacionados com o desenvolvimento das plantas e a produção de biomassa.

O saldo de radiação (R_n) disponível a superfície é particionado em fluxos de calor sensível no ar (H), no solo (G) e fluxo de calor latente (LE). O método do balanço de energia na superfície é uma aplicação direta da primeira lei da termodinâmica e tem sido largamente empregado na avaliação da partição da energia disponível aos processos físicos e fisiológicos que ocorrem na interface solo-atmosfera. De forma simplificada, o princípio da conservação da energia na superfície pode ser expresso por:

$$R_n = H + LE + G \quad (1)$$

Os componentes do balanço de energia são comumente positivos no período diurno e negativos durante a noite (ARYA, 2001). A Figura 4 ilustra a representação do sentido dos fluxos nos períodos diurno (a) e noturno (b)

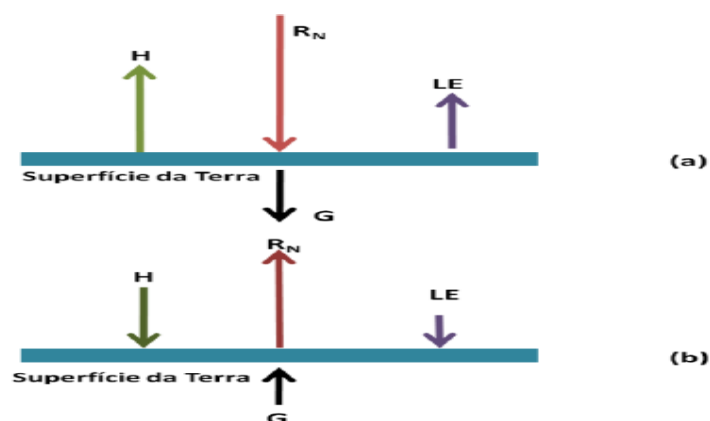


Figura 4- Representação esquemática dos componentes do balanço de energia durante o período diurno (a) e noturno (b).

Outra maneira de avaliar essa partição é através do método da razão de Bowen, que estima a razão entre os fluxos de calor sensível e latente através dos gradientes de temperatura e vapor d'água entre duas alturas específicas, é um método indireto, frequentemente utilizado para quantificar a evapotranspiração de culturas, por se tratar de um método prático e simples de ser utilizado (LIMA et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2008; SILVA et al., 2005; RIGHI et al., 2007).

Pesquisas tem mostrado que a partição da energia em plantio de soja na região Amazônica varia de acordo com a fase fenológica. Na floresta amazônica, a partição do saldo de radiação apresenta menor variabilidade (ZANG et al., 1996). Através da simulação computacional com o modelo LAPS, COSTA (2008) mostrou que a partição do saldo de radiação em plantio de soja na Amazônia foi de 64% em calor latente, e 36% em evapotranspiração. SILVA e AZEVEDO.,2006, estudando a partição sazonal dos componentes de energia em pomar de mangueira no nordeste do Brasil, mostrou que, em média, 77.7% da energia é consumida na evapotranspiração. BORGES, 2006, estudando o efeito do calor armazenado no dossel no cálculo do balanço de energia em pomar de mangueiras irrigadas, encontrou uma partição média de 78,51% em calor latente, 14,20 em calor sensível e 7,46% em calor no solo.

2.4. Modelagem e simulação das interações atmosfera-biosfera.

Nas últimas décadas, pesquisadores de várias áreas do conhecimento tem se deparado com questões de elevada complexidade, constituídas de modelos matemáticos robustos envolvendo um número muito grande de variáveis, equações diferenciais parciais e integrações de difícil solução. Na Engenharia, os problemas podem envolver a interação de diversos domínios da Física, Química e Biologia. A necessidade de obtenção de resultados precisos em curto intervalo de tempo torna tais problemas um grande desafio para a ciência na atualidade. No entanto, o avanço da tecnologia computacional, principalmente a partir da década de 90, proporcionou o surgimento de técnicas de modelagens sofisticadas, permitindo tratar de problemas físicos de extrema complexidade cujas soluções manuais seriam impossíveis.

Com o modelo matemático computacional, os fenômenos são representados e reproduzidos através de simulações matemáticas contendo um conjunto de expressões, muitas vezes trata-se de equações diferenciais parciais com condições de contorno e condições iniciais estabelecidas, cujas soluções possibilitam a investigação e o entendimento do comportamento do sistema real. Tais modelos são baseados em pressuposições e aproximações no intuito de melhor representar o fenômeno em estudo, tratando-se, portanto, de uma abstração matemática de um processo físico real.

Os modelos de simulação computacional fazem parte da rotina de trabalho de pesquisadores de diversas áreas, em especial das engenharias e da micrometeorologia. Esquemas de parametrizações sofisticados com embasamento biofísico, cuja estrutura incorpora aspectos morfológicos e fisiológicos do dossel vegetativo, parâmetros físico-hídricos do solo e forçantes atmosféricas, têm sido desenvolvidos e amplamente explorados nas pesquisas da engenharia e meteorologia agrícola (RIBEIRO NETO, 2006; MIHAILOVIC et al., 1999). Os BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) e SVATs (Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer) surgiram na década de 90 e possibilitaram um grande avanço da pesquisa do sistema solo-planta-atmosfera (MENGELKAMP et al., 1999; FACCHI et al., 2004;

WANG, 2004; SILVA e AZEVEDO, 2006; XUE et al., 1996; KUCHMENT et AL., 2005; WALKO et al., 2000; MASSON et al., 2003)

Os SVATS surgiram da necessidade de representar a fase terrestre do ciclo hidrológico nos Modelos de Circulação Geral e a característica marcante dos SVATS refere-se ao alto nível de complexidade e detalhamento na representação dos processos que ocorrem na superfície e no interior do solo (COSTA, 2008). Land-Air Parametrization Schemes (LAPS) é um modelo SVAT que incorpora em sua estrutura três camadas de solo para representar o transporte vertical de água e uma camada de dossel, tratada como um bloco poroso de densidade constante contornado pela atmosfera.

2.5. Implicações da mudança do uso da terra

Recentemente, pesquisadores de diversas áreas do conhecimento tem se engajado na pesquisa sobre o impacto no clima, provocado pela brusca mudança do uso do solo devido a substituição de extensas áreas de coberturas vegetais nativas por pastagem ou monocultura. Segundo FEARNSIDE (2006), a mudança brusca do uso do solo provoca efeitos significativos na fauna e flora local, perda de ecossistemas naturais, impactos no ciclo hidrológico e na fertilidade do solo. As estimativas % (MANZI e PLANTON, 1996; HENDERSON-SELLERS et al, 1993; COSTA e FOLEY, 2000) indicam aumento significativo da temperatura do ar em torno de 3°C, diminuição da evapotranspiração em torno de 20 a 40% e da precipitação em até 30%.

Importantes resultados foram obtidos por PONGRATZ et al. (2006) através da avaliação de diferentes cenários sobre a complexa interação da morfologia e fisiologia vegetal nos balanços hídrico e de energia. Ao se converter floresta para uma cultura C3, os resultados da simulação indicaram uma brusca diminuição de 21% no fluxo de calor latente e aumento em torno de 0,4°C na temperatura do dossel. As mudanças no uso do solo ocasionam, dessa forma, efeitos no balanço hídrico na superfície e na evapotranspiração, podendo mudar a dinâmica do clima local e até mesmo o clima regional.

O avanço da fronteira agrícola e do desmatamento na região amazônica tem motivado a investigação sobre os efeitos no ciclo hidrológico e de energia resultante do impacto da mudança da cobertura vegetal e do uso do solo. Nesse contexto, analisar a variabilidade dos fluxos radiativos e do balanço de energia, através da modelagem da interação solo-planta-atmosfera, se torna importante para o entender possíveis impactos no clima local em função dos novos padrões de mudança do uso do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental.

O sítio experimental compreende uma área de aproximadamente 22 hectares, situado na localidade de Cuiarana, município de Salinópolis, estado do Pará. A área pertence a Universidade Federal do Pará (UFPA) e está ocupada com pomar de manga rosa da variedade Tommy Atkins desde 1993 (Figura 5) .



Figura 5- Vista geral da área experimental.

O pomar foi plantado em fileiras no sentido leste-oeste, com espaçamento de 10 metros entre fileiras e de 10 metros entre linhas de plantas. Em agosto de 2010 foi instalada uma torre micrometeorológica (FIGURA 3) com 15 metros de altura para dar suporte a pesquisas e atividades de práticas de campo em disciplinas da UFPA. Atualmente, a torre se encontra parcialmente equipada com os sensores de medida das

seguintes variáveis climáticas: Radiação global, saldo de radiação, precipitação pluviométrica, temperaturas do ar e do solo, umidades do ar e do solo, velocidade e direção do vento (Figura 6).



Figura 6- Torre micrometeorológica e equipamentos.

A técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR) foi utilizada para medir o conteúdo de água na camada superficial média de 0,30 m e nas profundidades de 0,50 e 1,0 m. Foi efetuada a avaliação da variação diária, mensal, sazonal e anual de água no perfil do solo. Os dados climáticos e do solo foram coletados a cada 10 segundos, integrados em valores médios com intervalo de 30 minutos e posteriormente, armazenados em um sistema de Datalogger CR 1000. Com frequência quinzenal, os dados do sistema de armazenamento foram retirados para análises de consistência e adicionados ao banco de dados.

Neste trabalho foram utilizados dados climáticos do período de 19/01/2012 a 31/01/2013. O desempenho do modelo LAPS foi avaliado com

os dados de janeiro de 2013, enquanto o restante dos dados foi utilizado no processo de calibração.

3.2. LAND-AIR PARAMETRIZATION SCHEME

O desenvolvimento da tecnologia computacional possibilitou significativa melhora na investigação dos processos de interação entre solo, planta e atmosfera, permitindo a criação de esquemas sofisticados com maior representatividade do sistema físico real, permitindo assim avaliar com mais clareza os diversos mecanismos envolvidos no processo. Land-Air Parametrization Scheme (LAPS) é um modelo de superfície desenvolvido pelo esforço conjunto da Universidade de Novi Sad e Universidade de Belgrado, Sérvia. Trata-se de um código computacional complexo, com ampla fundamentação teórica que engloba os aspectos biofísicos da interação solo-planta-atmosfera, tornando mais representativos os processos de transferência de energia e massa na superfície do solo, através dos aspectos fisiológicos e morfológicos da vegetação, do conteúdo de água e das características físico-hídricas do perfil do solo (COSTA, 2008).

O modelo possui dois módulos de parametrização: o módulo hidrológico e o módulo da partição da energia. A concepção do sistema é baseada em trabalhos de SELLERS et al., (1986); DICKINSON et al., (1986); MIHAİLOVIC (1990); MIHAİLOVIC et al., (1993) e MIHAİLOVIC (1994). O LAPS incorpora um conjunto de parâmetros atmosféricos, parâmetros morfológicos do dossel e características físico-hídricas do solo para simular a contribuição das camadas do solo na transpiração da planta, o conteúdo de água no perfil do solo, a transpiração do dossel, a temperatura foliar, temperatura no interior do dossel, o fluxo de calor no solo, fluxos de calor sensível e latente na superfície.

O modelo possui sete variáveis prognósticas: três variáveis de temperatura (temperatura do dossel, da superfície do solo e do solo profundo), uma variável de armazenamento de água no dossel (w_f) e três variáveis de conteúdo de umidade volumétrica (w_1 , w_2 , w_3). As equações prognósticas para

as temperaturas do dossel (T_f), da superfície do solo (T_g) e a uma profundidade do solo (T_d), segundo MIHAILOVIC (1996), são:

$$C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = R^{net}_f - H_f - \lambda E_f \quad (2)$$

$$C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = R^{net}_g - H_g - \lambda E_g - G \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_d}{\partial t} = 2C_g (R^{net}_g - H_g - \lambda E_g) / \sqrt{365\pi} \quad (4)$$

Em que os índices f e g representam, respectivamente, dossel e solo. C é a capacidade térmica, R^{net} é o saldo de radiação, H é o fluxo de calor sensível, λ é o calor latente de vaporização, E é a taxa de evapotranspiração e G é o fluxo de calor no solo. O fluxo de calor no solo é parametrizado pelo método da “force-restore”. A capacidade de calor do solo, C_g , é parametrizada seguindo ZHANG E ANTHES (1982). A equação prognóstica para armazenamento de água no dossel (w_f) é dada por:

$$\frac{\partial w_f}{\partial t} = P_f - E_{wf} / \rho_w \quad (5)$$

Onde P_f é a quantidade de água retida pelo dossel, ρ_w é a densidade da água e E_{wf} é a evaporação da fração molhada do dossel, avaliada conforme COSTA (2008). O movimento vertical da água nas camadas de solo, conforme a lei de Darcy é descrita por:

$$F = -K(z) \left(\frac{d\psi}{dz} + 1 \right) \quad (6)$$

Em que, F = fluxo de água; K = condutividade hidráulica; ψ = potencial matricial do solo; z = profundidade no solo e $\frac{d\psi}{dz}$ = gradiente hidráulico médio entre as camadas de solo consideradas. A parte do solo, como ilustrado na Figura 7, é baseada na concepção de três camadas, cujas equações utilizadas para descrever o fluxo vertical de água no perfil do solo, segundo MIHAILOVIC (1996), são:

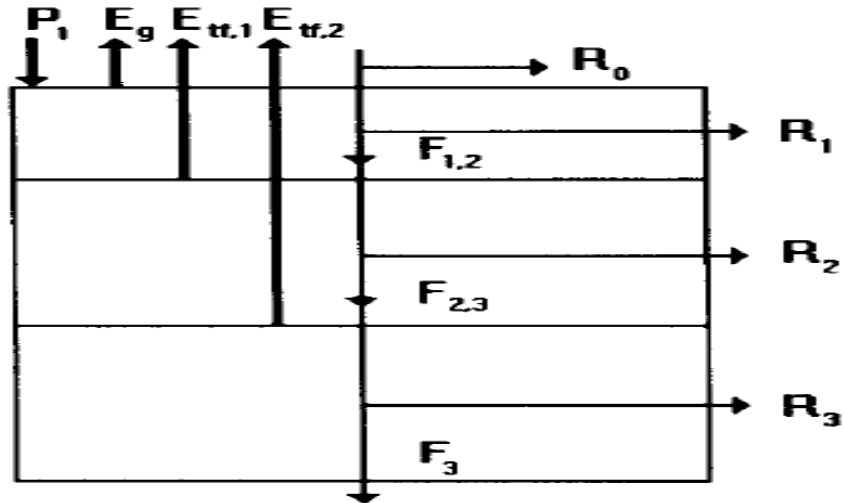


Figura 7- Esquema para representação dos fluxos de água na superfície e nas três camadas do solo.

Fonte: MIHAILOVIC (1996).

$$\frac{\partial w_1}{\partial t} = \frac{1}{D_1} \left\{ P_1 - F_{1,2} - \frac{E_g + E_{tf,1}}{\rho_w} - R_0 - R_1 \right\} \quad (7)$$

$$\frac{\partial w_2}{\partial t} = \frac{1}{D_2} \{ F_{1,2} - F_{2,3} - E_{tf,2} / \rho_w - R_2 \} \quad (8)$$

$$\frac{\partial w_3}{\partial t} = \frac{1}{D_3} \{ F_{2,3} - F_3 - R_3 \} \quad (9)$$

Em que w_i é o conteúdo de umidade volumétrica na camada i , P é a precipitação pluvial, D_i é a espessura da camada i do solo, $F_{i,i+1}$ é o fluxo de água entre a camada i e a camada $i+1$, F_3 é a drenagem gravitacional da água para as camadas mais profundas, $E_{tf,1}$ e $E_{tf,2}$ é a transpiração simulada nas camadas 1 e 2, respectivamente, R_0 é o escoamento superficial e R_i é o escoamento sub-superficial na camada i .

A precipitação que se infiltra no topo da camada do solo é dada por:

$$P_1 = \begin{cases} \min(P_0, Ks) & w_1 < w_g \\ 0 & w_1 = w_g \end{cases} \quad (10)$$

Em que ks é a condutividade hidráulica saturada, w_g é o teor de umidade volumétrica na saturação e P_0 a precipitação efetiva na superfície do solo dada por:

$$P_0 = P - (P_f - D_f), \quad (11)$$

$$P_f = P(1 - \ell^{-\alpha_{if}}) \sigma_f \quad (12)$$

Em que P é a precipitação sobre o dossel, α_{if} é uma constante que depende do índice de área foliar, descrita em (Sellers et al., 1986) e D_f é dado por:

$$D_f = \begin{cases} 0 & w_f < w_{\max} \\ P_f & w_f = w_{\max} \end{cases} \quad (13)$$

A transferência de água entre camadas adjacentes é governada pelas equações:

$$F_{i,i+1} = K_{ef} [2(\psi_i - \psi_{i+1}) / (D_i + D_{i+1}) + 1] \quad (14)$$

Em que K_{ef} é a condutividade hidráulica efetiva entre as camadas de solo, ψ_i é o potencial de umidade na camada i. As expressões para o escoamento superficial e sub-superficiais são:

$$R_0 = P_1 - \min(P_1, K_s) \quad (15)$$

$$R_1 = F_{1,2} - \min(F_{1,2}, K_s) \quad (16)$$

$$R_2 = F_{2,3} - \min(F_{2,3}, K_s) \quad (17)$$

$$R_3 = F_3 - \min(F_3, K_s) \quad (18)$$

A drenagem gravitacional da água para as camadas mais profundas do solo é estimada pela expressão:

$$F_3 = K_{si} (w_i / w_s)^{2B+3} \sin(x) \quad (19)$$

Em que K_{si} é a condutividade hidráulica saturada na camada i, e x é o ângulo de inclinação média (SELLERS et al., 1986).

O tratamento dos fluxos de energia é caracterizado pela representação de resistências, análogo com a lei de Ohm, como esquematizado na Figura 8.

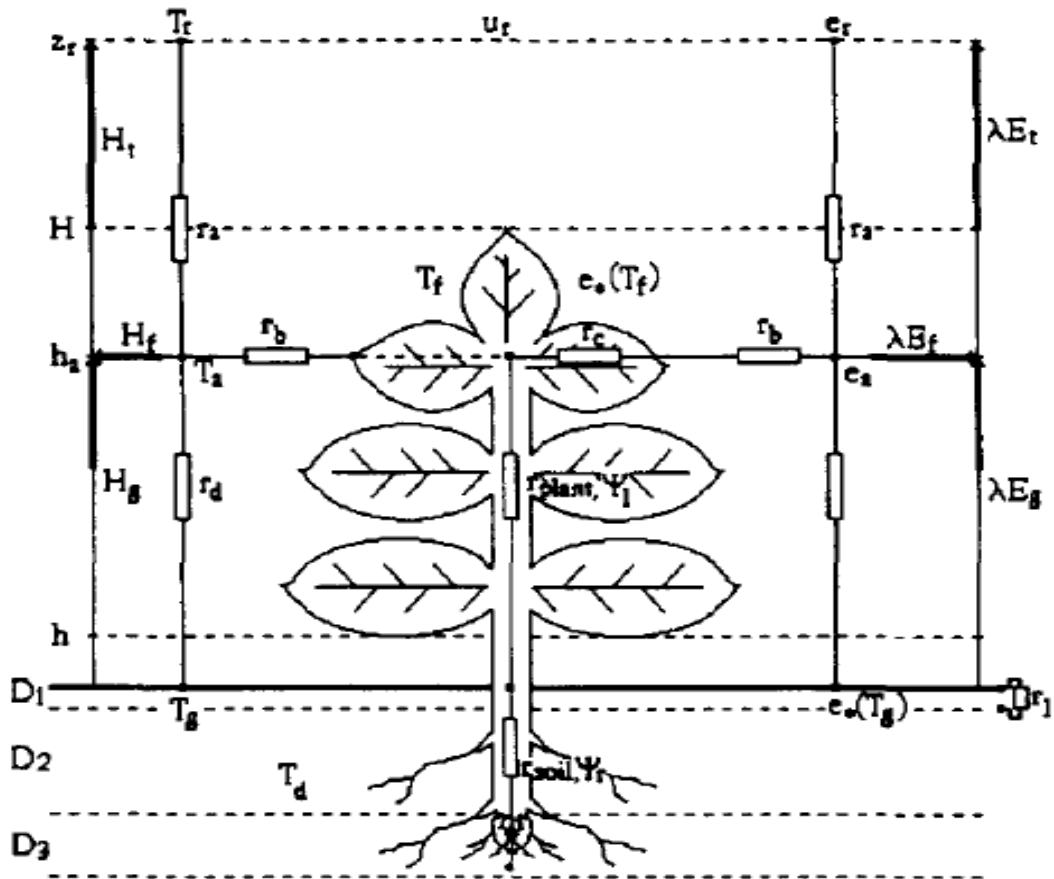


Figura 8- Esquema das vias de transferência de calor latente e calor sensível.

Fonte: MIHAJLOVIC (1996).

Os fluxos de energia da superfície do solo para o espaço aéreo são parametrizados por:

$$\lambda E_g = \frac{\rho c_p}{\gamma} \frac{[\alpha e_s(T_g) - e_a]}{r_1 + r_d} \quad (20)$$

$$H_g = \rho c_p \frac{T_g - T_a}{r_d} \quad (21)$$

Em eu r_1 é a resistência ao transporte de vapor d'água da superfície do solo nu e r_d é a resistência aerodinâmica do ar ao transporte de vapor d'água entre a superfície do solo e a base do dossel, T_g é a temperatura da superfície do solo, T_a e e_a são a temperatura e a pressão de vapor d'água no interior do dossel. O parâmetro α é estimado de acordo com MIHAJLOVIC E RAJKOVI (1993) por:

$$\alpha = \begin{cases} 1 - \left(\frac{w_{fc} - w_1}{w_{fc}} \right)^2 & w_1 \leq w_{fc} \\ 1 & w_1 > w_{fc} \end{cases} \quad (22)$$

em que w_{fc} é a umidade volumétrica na capacidade de campo e w_1 é a umidade volumétrica na superfície do solo.

A resistência ao transporte de vapor pela superfície do solo r_1 será parametrizada conforme MIHAILOVIC (1996):

$$r_1 = p_1 + p_2 \left(\frac{W_{\theta 1}}{W_{\theta s 1}} \right)^{p_3} \quad (23)$$

Em que, p_1 , p_2 , e p_3 , segundo MIHAILOVIC e RUMMLER (1996), são constantes empíricas com valores de 30, 3,5 e 2,3, respectivamente, e $W_{\theta s 1}$ é o potencial matricial saturado no topo da camada do solo.

A resistência aerodinâmica da camada de ar abaixo do dossel r_d é calculada por:

$$r_d = \frac{1}{k^2 u_H} \left[\frac{\sinh(\beta)}{\sinh(\alpha_g \beta)} \right]^{\frac{1}{2}} \ln^2 \left(\frac{h}{z_o} \right) \quad (24)$$

Em que, k é a constante de Von Karman, u_H é a velocidade do vento no topo do dossel, α_g é a razão entre as alturas da base (h) e do topo do dossel (H), z_o é o parâmetro ou comprimento de rugosidade efetivo e β é o fator de extinção, que depende da característica morfológica da cultura, definido por:

$$\beta = \left(\frac{C_d IAF}{2\sigma_s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

Em que, IAF é o índice de área foliar; σ_s uma constante e C_d é o coeficiente de arrasto ou de atrito.

O coeficiente de atrito C_d é calculado por:

$$C_d = \left\{ \frac{k}{\ln[(z-d)/z_o]} \right\}^2 \quad (26)$$

Em que z é a altura considerada sobre a superfície do solo e d é o parâmetro de deslocamento do plano zero.

A constante σ_s é definida, segundo GOUDRIAAN, citado por: MIHAILOVIC e RUMMLER (1996), como:

$$\sigma_s = i_w \left[\frac{4w_d}{\pi.L_d} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

Em que, i_w é a intensidade relativa da turbulência; w_d a largura das folhas ao quadrado e L_d é a densidade de caule e de área foliar, relacionada ao IAF como:

$$IAF = L_d(H-h) \quad (28)$$

Os parâmetros de deslocamento do plano zero e o comprimento de rugosidade são estimados por:

$$d = H - \frac{1}{k} \left(\frac{\sigma_s H}{\beta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

$$z_o = (H-d) \exp \left(-\frac{H}{\beta(H-d)} \right) \quad (30)$$

Os fluxos de energia do dossel da vegetação para o espaço aéreo do dossel são dados por:

$$H_f = 2(T_f - T_a) \frac{\rho c_p}{r_b} \quad (31)$$

$$\lambda E_f = \left[\ell^*(T_f) - \ell_a \right] * \left(\frac{w_w}{r_b} + \frac{1-w_w}{r_b + r_c} \right) \frac{\rho c_p}{\gamma} \quad (32)$$

Em que T_f é a temperatura da superfície foliar, T_a é a temperatura do ar no interior do dossel na altura fonte, e_a é a pressão de vapor d'água no interior do dossel, $e_*(T_f)$ é a pressão de vapor saturado à temperatura foliar do dossel, e_a é a pressão de vapor d'água no interior do dossel, w_w é a fração molhada do dossel, parametrizada de acordo com DEARDORFF (1978) e DICKINSON (1984), r_b é a resistência ao fluxo de vapor na camada de ar sobre o dossel e r_c a resistência da cultura, parametrizadas de acordo com MIHAJLOVIC (1986). c_p é o calor específico a pressão constante e γ a constante psicrométrica.

A resistência à transpiração da camada de ar sobre o dossel será estimada por:

$$r_b = \frac{\frac{1}{(u_H)^{\frac{1}{2}}} P_s C_t \beta \sinh(\beta)^{\frac{1}{4}}}{L_d H \int_{\alpha_w \beta}^{\beta} (\sinh y)^{\frac{1}{4}} dy} \quad (33)$$

Em que, C_t é o coeficiente de transporte, P_s o fator de proteção da folha, α_w é a razão entre as alturas da base e do topo do dossel e y é um parâmetro estimado por:

$$y = \frac{\beta z}{H} \quad (34)$$

A resistência à transpiração pelo dossel é descrito como:

$$r_c = \frac{r_s}{IAF} \quad (35)$$

Em que, r_s é a resistência estomática, dependente de fatores atmosféricos e tensão hídrica, conforme expresso na equação:

$$r_s = r_{s \min} f_R [f_w f_T f_v]^{-1} \quad (36)$$

Em que, $r_{s \min}$ é a resistência estomática mínima; f_R , f_w , f_T e f_v são fatores. Os valores dos fatores f_w , f_T e f_v , variam de 0 a 1 e o produto deles é geralmente chamado fator ajustamento.

O fator f_R expressa a dependência da resistência estomática à radiação solar e conforme DICKINSON (1986) calculado por:

$$f_R = \left(1 + f \left(\frac{f + r_{s \min}}{r_{s \max}} \right)\right)^{-1} \quad (37)$$

Sendo que:

$$f = \frac{1,1 R_O^S}{R_{gl} IAF} \cdot \quad (38)$$

Em que, R_O^S é o total de radiação solar de ondas curtas incidente; R_{gl} é o valor limite da radiação de 30 w/m² para floresta e 100 w/m² para cultura agrícola e $r_{s \max}$ é a resistência estomática máxima.

O fator f_w , leva em consideração o efeito da tensão hídrica na resistência estomática, o qual é parametrizado da seguinte forma:

$$f_w = \begin{cases} 1 & W_{\theta 1} > \theta_{CC} \\ 1 - \left(\frac{\theta_{PMP}}{W_{\theta 1}} \right)^{1,5} & \theta_{PMP} \leq W_{\theta 1} \leq \theta_{CC} \\ 0 & W_{\theta 1} < \theta_{PMP} \end{cases} \quad (39)$$

Em que, $W_{\theta 1}$ = conteúdo volumétrico médio de água na primeira e segunda camada de solo; θ_{PMP} = conteúdo volumétrico de umidade no ponto de murcha permanente.

O fator f_T expressa a dependência da resistência estomática com relação à temperatura do ar. De acordo com DICKINSON et al., (1986), este fator pode ser escrito da seguinte forma:

$$f_T = 1.0 - 0,0016(298 - T_r) \quad (40)$$

O fator f_v mostra a dependência da resistência estomática do efeito do déficit de vapor d água do ar. Proposta por Jarvis em 1976 é parametrizado como (MIHAJLOVIC, et al, 1996; (MIHAJLOVIC, et al, 2000):

$$f_v = 1 - \eta [e_*(T_f) - e_r] \quad (41)$$

Em que, e_r é a pressão de vapor à temperatura do ar no nível de referência considerado e η = tipo de parâmetro empírico definido por:

$$\eta = 0,025 \text{ hPa}^{-1} \quad (42)$$

onde T_a é a temperatura do ar no interior do dossel na altura de referência.

O modelo considera desprezível a capacidade de calor do ar no interior do dossel, dessa forma o fluxo de calor sensível para a atmosfera, na altura de referência, é dado pela soma do fluxo do calor sensível a partir da superfície do solo H_g e do fluxo de calor sensível a partir do dossel H_f :

$$H_t = H_f + H_g = (T_a - T_r) \frac{\rho c_p}{r_a} \quad (43)$$

Onde T_r é a temperatura do ar na altura de referência no interior da camada limite atmosférica, T_a é a temperatura do ar no interior do dossel (estimado na altura fonte), r_a é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor e umidade entre o dossel e a altura de referência, calculada como:

$$r_a = \frac{1}{k u^*} \ln \left(\frac{z_r - d}{H - d} \right) \quad (44)$$

Em que z_r é a altura de referência, d é a altura inferior do dossel, H a altura total da árvore, k é a constante de Von Karman e u^* é a velocidade de fricção.

Analogamente, o fluxo de calor latente do dossel para a altura de referência λE_t é dado pela soma dos fluxos de calor latente do dossel para o espaço aéreo no seu interior, λE_f (transpiração foliar) e o fluxo de calor latente a partir da superfície do solo λE_g (evaporação da água do solo):

$$\lambda E_t = \lambda E_f + \lambda E_g = \frac{(e_a - e_r) \rho c_p}{r_a \gamma} \quad (45)$$

Em que e_r é a pressão de vapor na altura de referência e e_a a pressão de vapor no interior do dossel.

A temperatura do ar T_a e a pressão de vapor e_a no interior do dossel são variáveis diagnósticas, determinadas a partir das equações do balanço de energia mostradas acima, representada pela igualdade entre os fluxos no nível de referência e o somatório dos fluxos correspondentes no solo e no dossel. Dessa maneira, a temperatura no interior do dossel é estimada por (MIHAILOVIC, 1996):

$$T_a = \left(\frac{2T_f}{r_b} + \frac{T_g}{r_d} + \frac{T_r}{r_a} \right) * \left(\frac{2}{r_b} + \frac{1}{r_d} + \frac{1}{r_a} \right) \quad (46)$$

Na ausência de dados do saldo de radiação absorvido pelo dossel e pela superfície do solo, a parametrização se dá pela soma das radiações de onda longa e de onda curta:

$$R_f^{net} = R_f^s + R_f^l \quad (47)$$

$$R_g^{net} = R_g^s + R_g^l$$

A radiação de onda curta absorvida pelo dossel e pela superfície do solo é dada por:

$$R_f^s = R_0^s (\sigma_f - \alpha_f) [1 + (1 - \sigma_f) \alpha_f] \quad (48)$$

$$R_g^s = R_0^s (1 - \sigma_f) [1 - \alpha_g + \alpha_f \alpha_g] \quad (49)$$

Em que R_0^s é o fluxo de radiação de onda curta incidente, α_f e α_g são os albedos da folhagem e da superfície do solo, respectivamente, e σ_f é a fração de cobertura da vegetação. Albedo e umidade do solo são parametrizados de acordo com Idso et al. (1975). A radiação de onda longa absorvida pelo dossel e pela superfície do solo é dada por:

$$R_f^l = R_0^l \sigma_f \varepsilon_f - 2\sigma_f \varepsilon_f \sigma_B T_f^4 + \sigma_f \varepsilon_f [R_0^l (1 - \sigma_f) (1 - \varepsilon_g) + \sigma_f \varepsilon_f (1 - \varepsilon_g) \sigma_B T_f^4 + \varepsilon_g \sigma_B T_g^4]$$

$$R_g^l = \varepsilon_g [R_0^l (1 - \sigma_f) + \varepsilon_f \sigma_f \sigma_B T_f^4 + \sigma_f \varepsilon_g (1 - \varepsilon_f) \sigma_B T_g^4 - \sigma_B T_g^4] \quad (50)$$

Em que σ_B é a constante de Stefan-Boltzman, ε_f e ε_g são as emissividades da folhagem e da superfície do solo, respectivamente, R_0^l é a radiação de onda longa incidente.

3.2.1. Parametrização do modelo

A parametrização do modelo requer dados morfológicos da cultura, características físico-hídricas do solo e forçantes atmosféricas:

- ✓ *Parâmetros ecofisiológicos*: altura da planta, altura do dossel, profundidade da raiz e índice de área foliar.
- ✓ *Parâmetros físico-hídricos do solo*: capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade do solo, conteúdo de água na saturação, conteúdo de água no ponto de murcha permanente, conteúdo de água na capacidade de campo, condutividade hidráulica saturada, teor de argila no solo.
- ✓ *Forçantes atmosféricas*: temperatura, vento e umidade relativa do ar no nível de referência acima do dossel, precipitação, radiação líquida, radiação global, temperatura e umidade da camada superficial do solo.

O índice de área foliar (IAF) representa o aparato fotossintético da planta, apresentando alta correlação com o seu desenvolvimento. A Figura 9 mostra a variação sazonal do índice de área foliar do pomar obtido com o uso de imagens MODIS. Neste trabalho foram utilizados dados variando entre 2 e 6, correspondendo aos períodos não chuvoso e chuvoso, respectivamente.

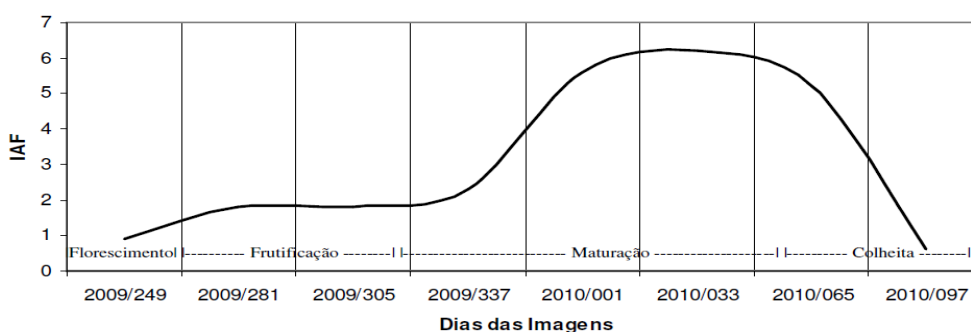


Figura 9- Variação do IAF do pomar de mangueiras.
Fonte: SOUSA et al., 2011.

O pomar de mangueira tem 10 anos de idade e encontrava-se com altura média de 14,0 metros de altura total do dossel e altura inferior do dossel em torno de 1,20 metros.

Os parâmetros físico-hídricos do solo foram determinados no laboratório de física dos solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Amazônia Oriental na Universidade federal do Pará. O solo é classificado como Franco argiloso arenoso, com 66,3% de areia, 21,6% de silte e 12,2% de argila. Os parâmetros físico-hídricos referentes a camada de solo da superfície até 0,80 metros de profundidade são apresentadas na Tabela 2. As forçantes atmosféricas foram obtidas das medidas dos sensores instalados na torre local já descrita.

Tabela 2- parâmetros físico-hídricos do solo Franco Arenoso-Argiloso.

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Capacidade de campo	CC	0,24	m^3m^{-3}
Ponto de Murcha Permanente	PMP	0,075	m^3m^{-3}
Densidade do solo	ρ_s	1630	Kg m^{-3}
Umidade volumétrica na saturação	θ_s	0,41	m^3m^{-3}
Condutividade hidráulica saturada	K_s	1,4	Cm h^{-1}

Dados de profundidade da raiz e índice de área foliar foram obtidos a partir da literatura, em trabalhos realizados no mesmo sítio experimental (SOUSA et al., 2011; LIMA et al., 2012; NETO, 2003; TEIXEIRA et al., 2011; BORGES, 2006; SANTOS et al., 2012).

As principais variáveis de saída do modelo LAPS analisadas neste estudo são:

- ✓ Fluxos de energia da superfície: calor latente, sensível e fluxo de calor no solo;
- ✓ Temperatura da superfície foliar e temperatura do interior do dossel;
- ✓ Conteúdo de umidade do solo nas três camadas;
- ✓ Partição da transpiração do dossel pela contribuição de cada camada de solo, além da transpiração total;

3.2.2. Calibração do Modelo

3.2.2.1. A razão de Bowen

Em 1926, Bowen determinou a razão entre os fluxos convectivos de calor sensível e latente numa superfície de água em evaporação, em função dos gradientes verticais de temperatura e pressão de vapor medido sobre essa superfície. Desde então, muitas pesquisas tem comprovado a eficácia da metodologia na quantificação dos fluxos de calor e evapotranspiração (ÁVILA NETTO et al., 1999; CUNHA, 2001), tornando o método da razão de Bowen uma importante ferramenta da micrometeorologia, devendo grande parte do seu sucesso à facilidade de uso, simples base teórica e instrumentação relativamente modesta.

A razão de Bowen (β) representa uma maneira de avaliar a partição da energia líquida numa superfície vegetada em fluxos de calor sensível (H) e latente (λE), definida da seguinte forma:

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} \quad (51)$$

Calor sensível é a energia em transe da fronteira de um sistema termodinâmico numa dada temperatura a outro sistema numa temperatura inferior, em virtude unicamente dessa diferença de temperatura entre eles. Numa superfície vegetada, solo, planta e o ar atmosférico trocam energia na forma de calor sensível, devido a formação de vórtices caracterizados por massas de ar que se aquecem e expandem alterando bruscamente sua densidade e aumentando a força de empuxo sobre ela. Quanto maior a diferença de temperatura entre as partes, maior é a intensidade dos vórtices e mais rapidamente essa energia é distribuída tendendo ao equilíbrio térmico. O calor latente representa a energia envolvida na alteração do estado de agregação das moléculas constituintes da matéria pelas forças de adesão entre os átomos. Trata-se da energia necessária para romper as forças de ligação entre as moléculas do líquido tornando um gás ou vapor.

A partição do saldo de radiação, mediado pela razão de Bowen, é dependente das condições hídricas da superfície evaporante e pela demanda evaporativa da superfície. O parâmetro β é adimensional e

apresenta valores maiores que a unidade nas condições de temperatura do ar elevada e valores menores que a unidade quase sempre que a superfície encontra-se sem restrição hídrica. Segundo PEREIRA et al., 1997, valores de β menores que a unidade são característicos de regiões com climas temperados e úmidos.

Os fluxos de calor sensível e latente podem ser facilmente estimados a partir do princípio da conservação da energia combinado com a razão de Bowen. Os fluxos são dados pelas expressões:

$$\lambda E = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad \beta \neq -1 \quad (52)$$

$$H = \left(\frac{\beta}{1 + \beta} \right) (R_n - G) \quad (53)$$

Em que R_n é o saldo de radiação e G é o fluxo de calor no solo. Ambos os fluxos em W/m^2 .

A razão de Bowen pode ser determinada com base no método aerodinâmico, segundo o qual os fluxos de calor são dados por:

$$\lambda E = -K_e \rho \lambda \frac{\delta q}{\delta z} \quad (54)$$

$$H = -K_h c_p \frac{\delta T}{\delta z} \quad (55)$$

Onde ρ é a massa específica do ar (kg m^{-3}), λ é o calor latente de vaporização da água ($2,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$), q é a umidade específica do ar (kg kg^{-1}), c_p é o calor específico do ar a pressão constante ($1,013 \text{ MJ Kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), K_e é o coeficiente de transferência turbulenta de vapor d'água e K_h o coeficiente de transferência turbulenta de calor sensível.

Uma premissa básica do método da razão de Bowen é que os coeficientes de transferência turbulenta são idênticos, o que ocorre comumente na ausência de advecção de calor sensível, regional ou local, e em condição de instabilidade atmosférica. Estudos tem demonstrado que tais coeficientes são aproximadamente idênticos acima de florestas

(DENMEAD e BRADLEY,1985). Dessa maneira, a razão de Bowen pode ser determinada por:

$$\beta = \frac{c_p(T_2 - T_1)}{\lambda(q_2 - q_1)} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (56)$$

em que γ é a constante psicrométrica ΔT e Δe são as diferenças entre as temperaturas do ar e a diferença entre as pressão de vapor d'água em dois níveis acima da superfície evaporante, respectivamente.

A pressão de vapor d'água (e_a) em cada nível é estimada pela expressão:

$$e_a = \frac{e_s U_r}{100} \quad (57)$$

Onde U_r é a umidade relativa do ar (%) e e_s é a pressão de vapor na saturação, estimada por:

$$e_s = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T}{T + 237,3} \right] \quad (58)$$

As magnitudes dos fluxos convectivos de calor e evapotranspiração obtidos pelo método da razão de Bowen, nesse estudo designado de valores observados, foram utilizadas para analisar o desempenho do modelo LAPS. Na calibração, foi criada uma rotina computacional em FORTRAN 90 para calcular os fluxos pela razão de Bowen, com base na fundamentação teórica. Após a calibração, os valores dos fluxos foram simulados para todos os dias do ano de 2012.

A faixa de confiabilidade das estimativas da razão de Bowen é, segundo PEREZ et al., 1999, entre -0,5 e 1,3. Neste trabalho, os valores horários da razão de Bowen fora da faixa de confiabilidade foram substituídos pelo valor médio do horário posterior e anterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Forçantes atmosféricas

4.1.1. Precipitação Pluviométrica e velocidade do vento.

A Figura 10 apresenta a variação do total de precipitação diária durante o período estudado. Em 2012, a precipitação total na localização experimental foi de 1500 mm. A distribuição das chuvas evidencia claramente a distinção de períodos chuvosos (Janeiro- Maio) e períodos secos (Outubro- Novembro), característicos da região em questão. Os três meses mais secos no período de estudo ocorreram entre 19/07/2012 e 9/10/2012, no qual não houve registro de precipitação. Os três meses mais chuvosos ocorreram entre 12/02/2012 e 15/05/2012, com totais de precipitação de 880,5 mm. Nota-se a ocorrência de grande volume de chuvas no período correspondente ao final do mês de fevereiro, destacando os valores de 64,9 e 63,9 mm de precipitação nos dias 26 de fevereiro e 19 de março, respectivamente. Ouve ocorrência de precipitação em 152 dias.

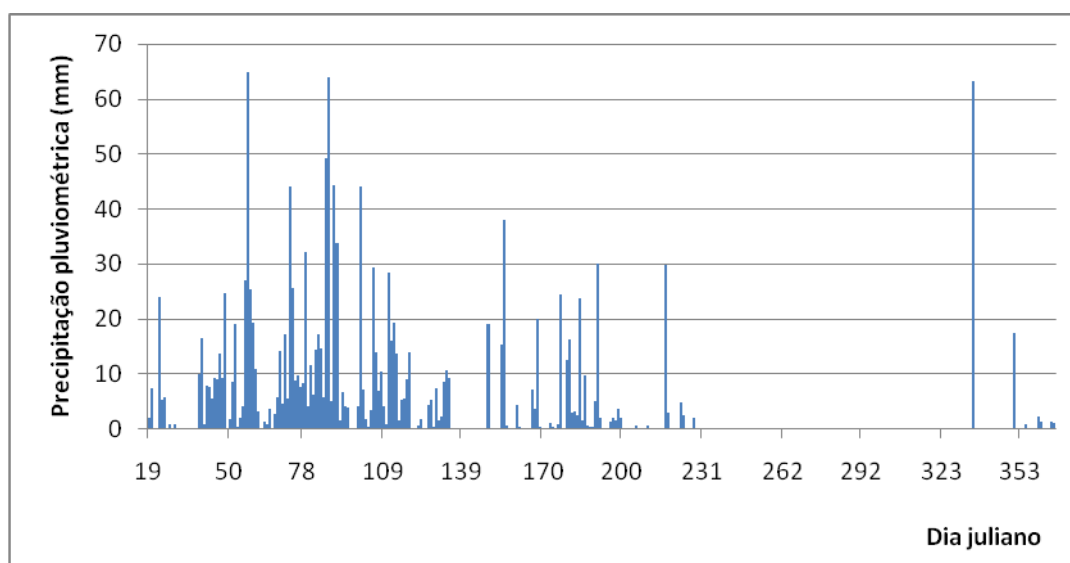


Figura 10- Totais diários da precipitação na região de estudo.

Na região Amazônica, a precipitação é um parâmetro meteorológico cuja magnitude apresenta grande variabilidade temporal, culminando com períodos de grandes cheias e períodos de significativa redução da vazão nos rios da região (COSTA, 2008).

A velocidade média do vento a 15 metros de altura é mostrada na Figura 11. No período chuvoso, a velocidade média do vento foi de 0,70 m/s, enquanto no período seco, seu valor cresceu para 1,06 m/s.

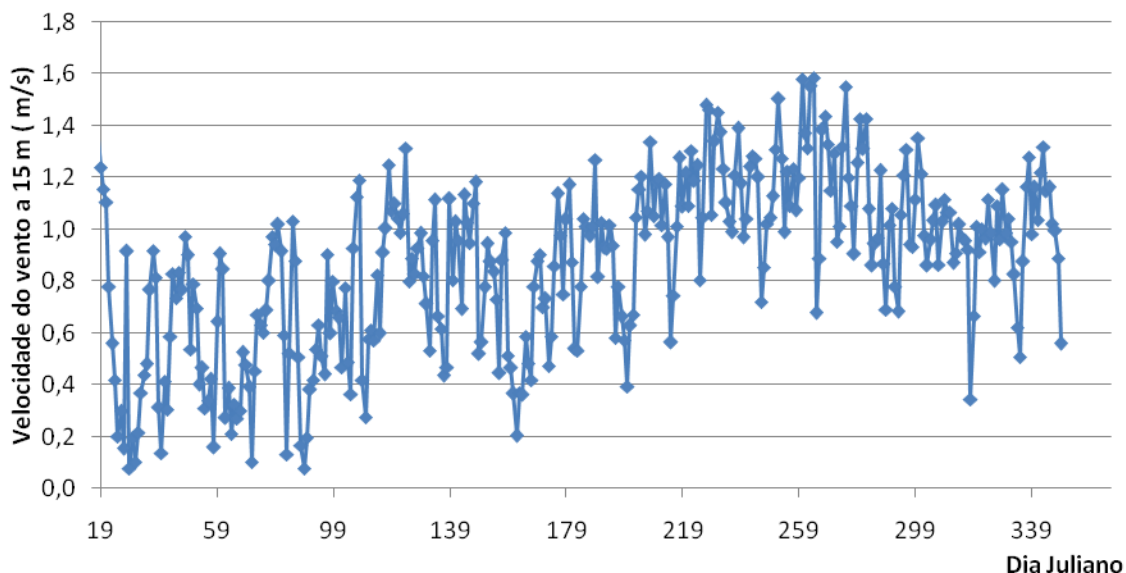


Figura 11- velocidade média do vento a 15 metros do solo.

O vento é um fluxo de massa entre dois pontos da atmosfera, devido ao gradiente térmico entre eles que ocasiona variações de pressão e (expansão adiabática de massa de ar aquecida gerando corrente de convecção na atmosfera). Portanto, o comportamento diário da velocidade do vento está relacionado com as variações do balanço de radiação. Nota-se na Figura 10 que no período seco, no qual os gradientes de temperaturas e conseqüentemente as turbulências da atmosfera são maiores, a velocidade média do vento aumenta.

4.1.2. Temperaturas do ar e do solo

A figura 12 ilustra o perfil da temperatura do ar, medida nas alturas de dois e 15 metros acima da superfície do solo.

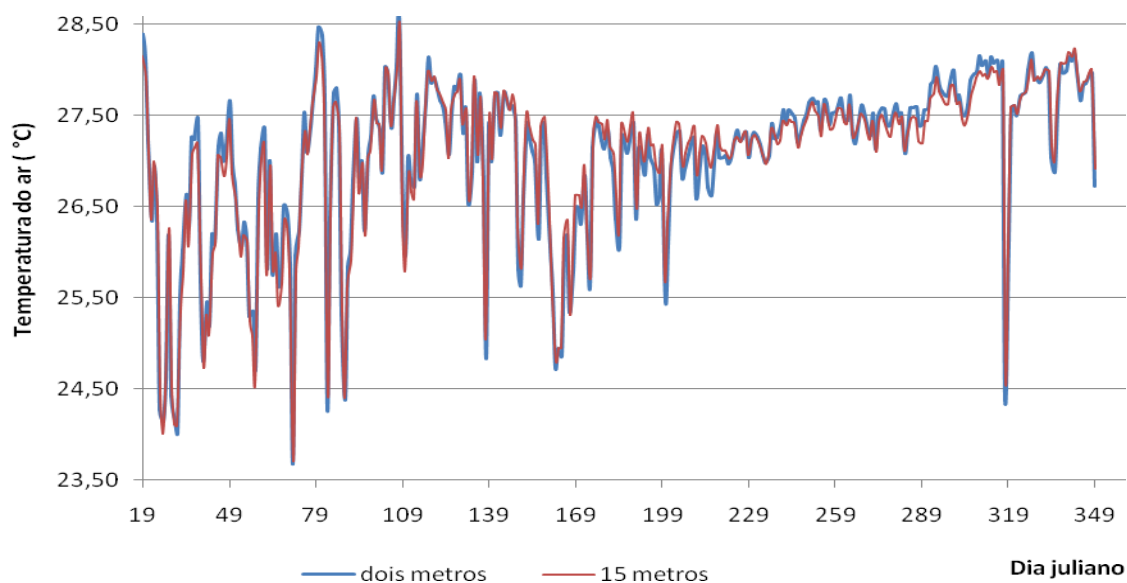


Figura 12- Temperatura média do ar nas alturas de dois e 15 metros.

A Figura 13 mostra os valores médios mensais das temperaturas, nota-se que os maiores valores de temperatura foram registrados no mês de novembro, com valores médios de 27,7 e 27,8 °C nas alturas de 15 e dois metros acima da superfície do solo, respectivamente. Os menores valores foram 26,2 e 26,2 °C e ocorreram no mês de fevereiro.

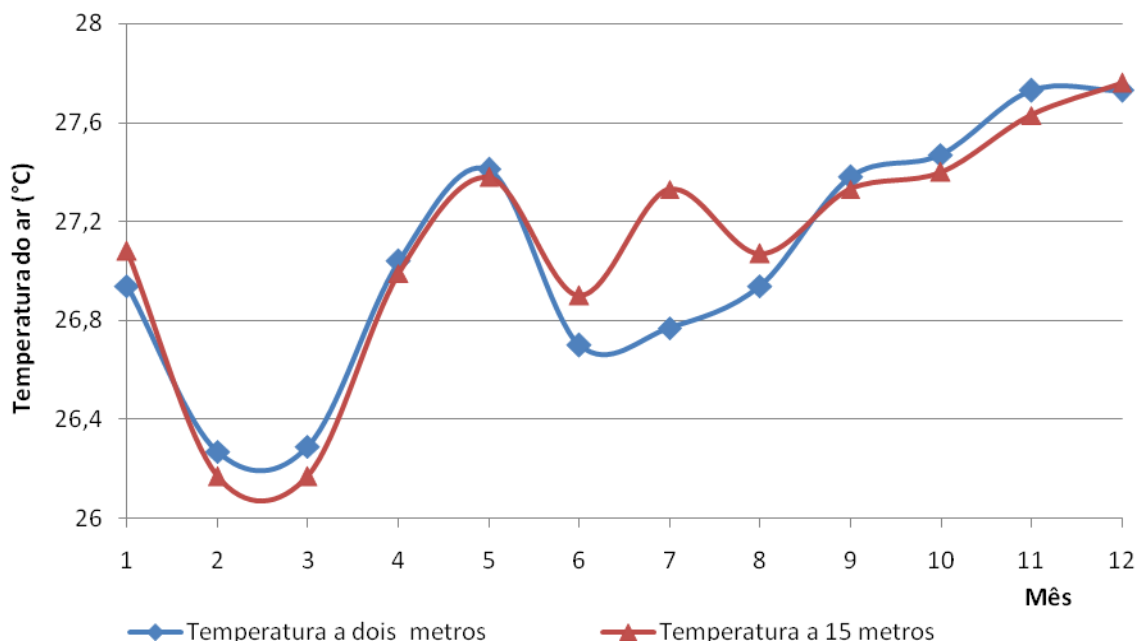


Figura 13- Temperatura média mensal do ar nas alturas medidas.

A temperatura do ar medida na altura de 15 metros apresentou valores maiores do que a temperatura a dois metros, no período de maio a setembro, permanecendo inferior a esta nos demais meses.

A maior incidência de energia solar no período seco tornou os gradientes de temperatura mais acentuados nesse período. Em dias com precipitação ou muita nebulosidade, a temperatura do ar apresentou pouca variação vertical. Verificou-se ainda que a temperatura média diurna foi maior nos nível inferior do dossel, sendo os gradientes de temperatura do ar mais acentuados no período diurno que no período noturno.

A temperatura do solo está intimamente relacionada com a intensidade da energia solar incidente e com a ocorrência de precipitação, que contribui para diminuir a temperatura devido à absorção de energia pelas moléculas d'água. As figuras 14 e 15 expõem o curso diário das temperaturas nas profundidades de dois e 20 centímetros da superfície do solo, no período chuvoso e seco, respectivamente. As variações diárias são mais abrangentes na profundidade de dois centímetros, pois a troca energia e massa ocorre mais rapidamente com a atmosfera.

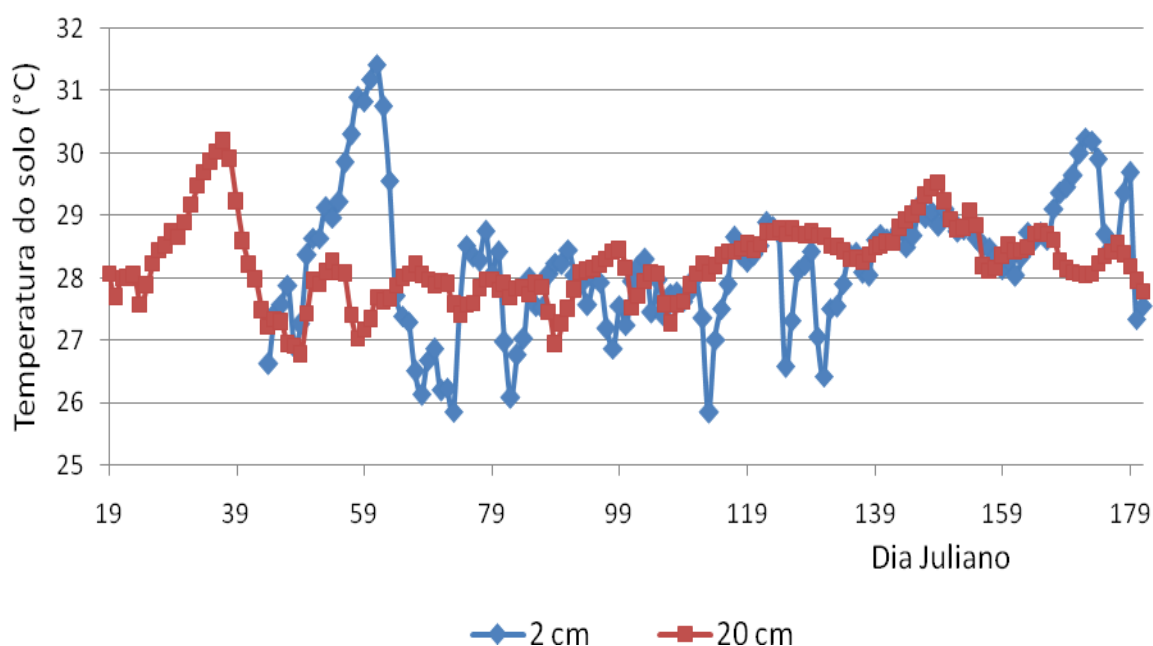


Figura 14- Curso diário da temperatura do solo no período chuvoso

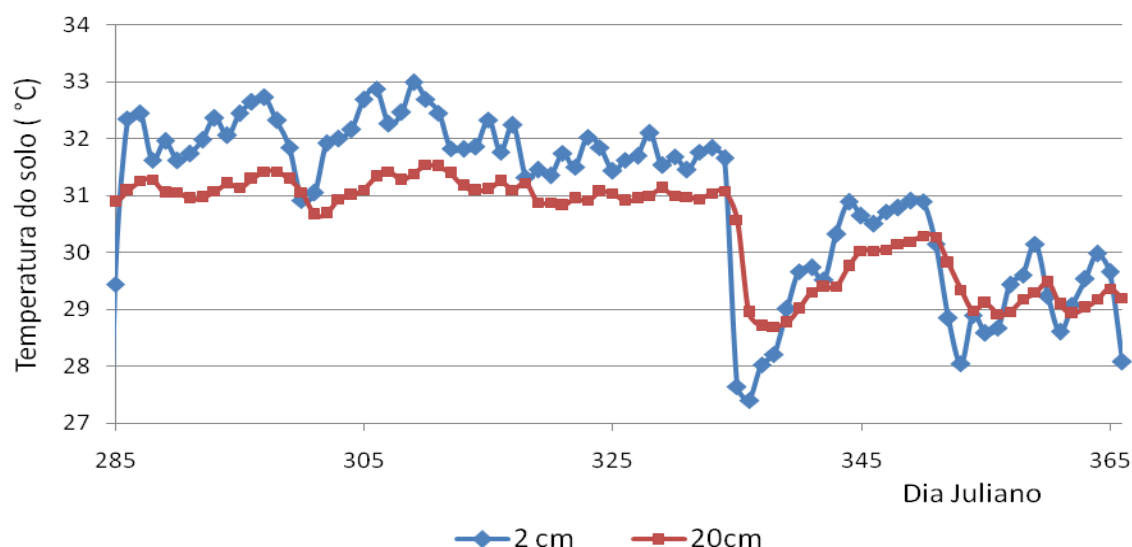


Figura 15- Curso diário da temperatura do solo no período seco.

4.1.3. Perfil da umidade relativa do ar

A variação diária da umidade relativa do ar nas alturas de 2 e 15 metros acima da superfície do solo é apresentada na Figura 16. As dispersões dos valores da umidade relativa estão intimamente ligadas à ocorrência da precipitação, em períodos secos a variabilidade teve pouca amplitude. No período chuvoso, a umidade relativa média foi de 81,49%, enquanto no período seco seu valor caiu para 73,91%.

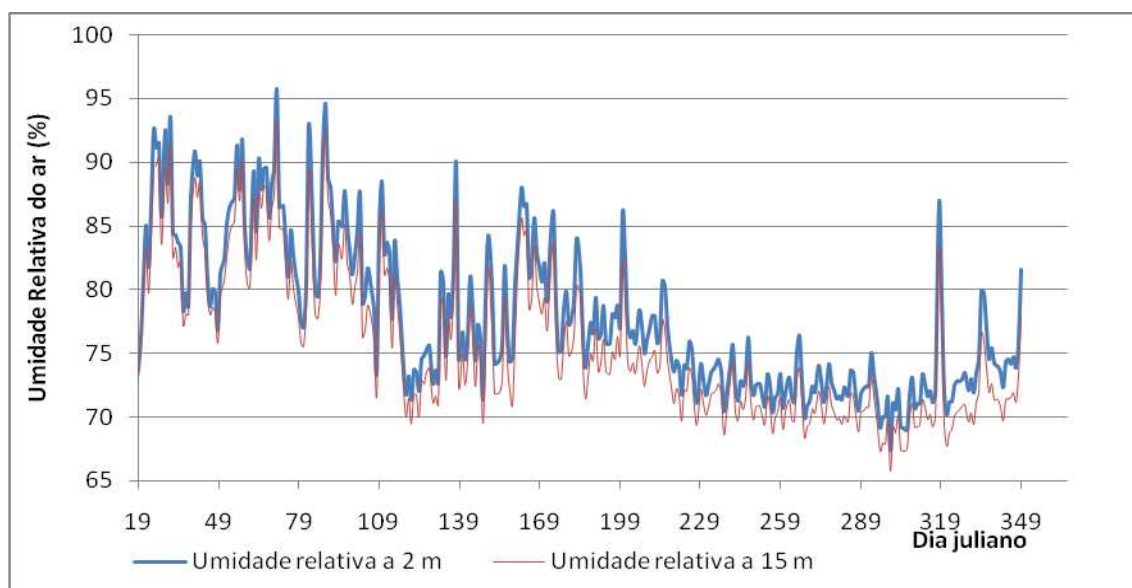


Figura 16- Variação diária da umidade relativa do ar

A umidade relativa representa a quantidade de vapor d'água presente no meio, em relação à máxima quantidade que este meio pode conter, quando saturado. No período seco, devido à ausência de chuvas e aumento da incidência de energia solar, a umidade relativa do ar diminuiu em relação ao período chuvoso.

4.1.4. Radiação Solar Global e Saldo de Radiação

Os valores médios diários da radiação global e do saldo de radiação na superfície são mostrados na Figura 17. Nota-se que a amplitude de variação em ambas as grandezas no período seco tem menor variabilidade. No período úmido a amplitude de variação dos valores é bem maior devido a nebulosidade. A fração da radiação global disponível no sistema solo-planta-atmosfera (saldo de radiação) não sofreu variação significativa ao longo do ciclo sazonal. O saldo de radiação representou 50,54 % da radiação global no período chuvoso e 50,96 % no período seco, com valores médios de 118,94 e 135,39 Wm^{-2} , enquanto a radiação global apresentou valores médios de 225,89 e 264,31 Wm^{-2} , respectivamente.

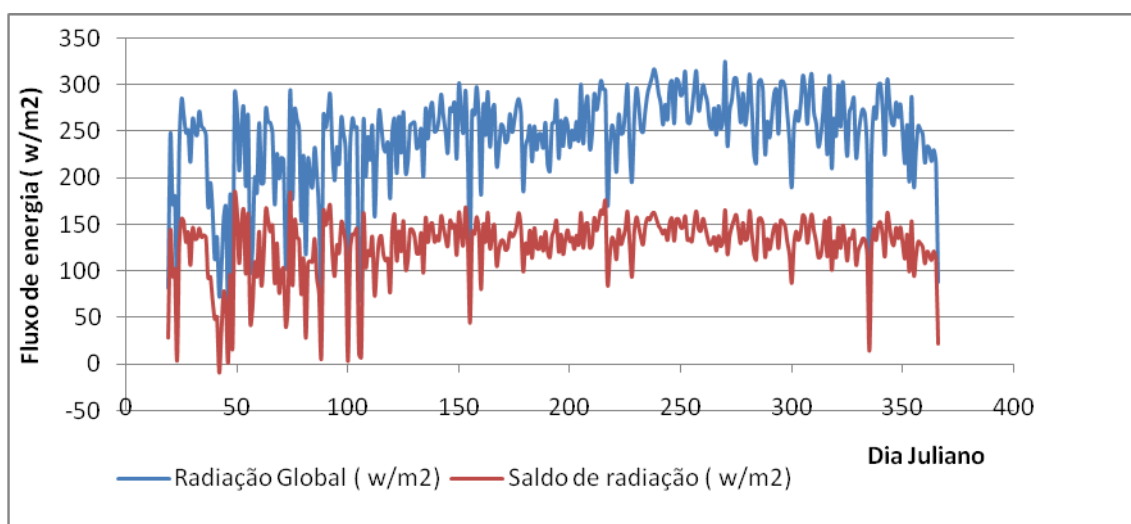


Figura 17- Variabilidade do saldo de radiação e da radiação global no período estudado.

A grande variabilidade da radiação solar e do saldo de radiação no período chuvoso explicada pela nebulosidade proporciona como verificado, valores médios menores que são compostos de picos de máximas e de mínimas disponibilidades de energia para o ambiente. Estes picos não são

verificados no período seco. A biossíntese e demais processos são mais afetados por variações bruscas no saldo de radiação. Isso tem implicações importantes, sendo observada menor disponibilidade de energia nos períodos em que são verificados maior número de eventos de chuvas.

4.1.5. Condições hídricas do solo.

A Figura 18 apresenta a variação dos valores médios diários da umidade volumétrica na camada superficial do solo, juntamente com as propriedades físicas CAD e PMP.

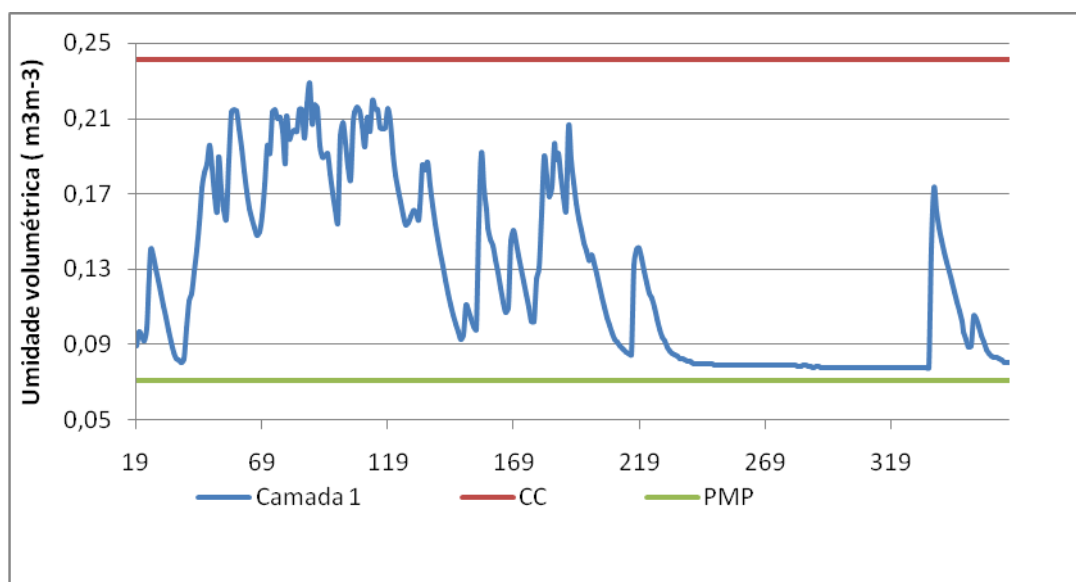


Figura 18- Variação diária da umidade volumétrica na primeira camada do solo

O grande volume de chuvas concentradas nos primeiros quatro meses do ano explica o elevado conteúdo de água na camada das raízes do solo. Embora a área de estudo esteja localizada na Amazônia, nota-se que no período menos chuvoso o conteúdo de água no solo permanece próximo ao ponto de murcha permanente por pelo menos dois meses.

4.2. Fluxo de calor latente observado e simulado.

A Figura 19 mostra a variação diária do fluxo de calor latente observado e simulado pelo modelo LAPS em dias chuvosos (a) e não

chuvosos (b). Nota-se uma boa concordância entre os valores no início do ano, período muito chuvoso. Pequenas superestimações foram observadas durante o período menos chuvoso coincidente com os momentos de maior incidência de radiação solar.

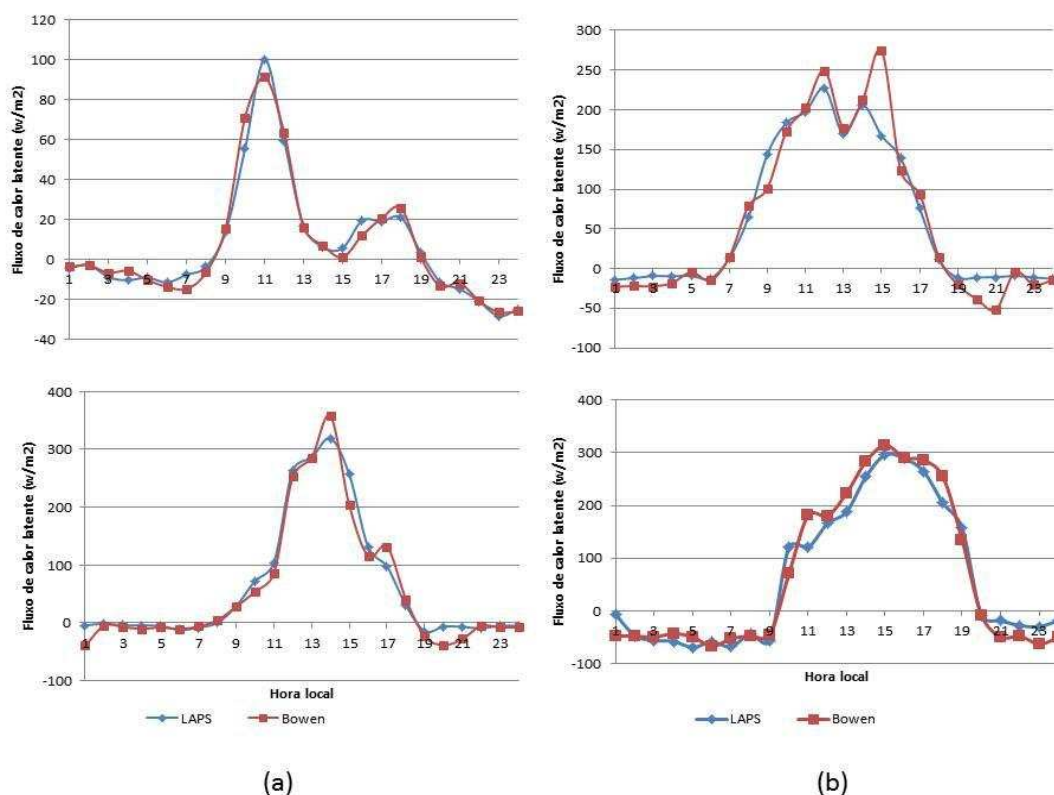


Figura 19- Variação sazonal dos fluxos de calor latente observado e simulado em dias chuvosos (a) e não chuvosos (b).

As condições hídricas do solo e do vegetal influenciam diretamente na partição da energia a superfície. A Figura 19 mostra que o curso diário do fluxo de calor latente acompanha o comportamento da energia disponível, tendo maiores valores nos períodos de maior incidência de energia solar e valores pequenos no período noturno. Dessa maneira, apesar de haver maior incidência de radiação no período seco e portanto maior demanda da atmosfera por vapor d'água, a escassez dos recursos hídricos impediu a perda de água pela planta.

A Figura 20 mostra a correlação entre os valores observados e simulados em dias característicos do período chuvoso (a) e não chuvoso (b).

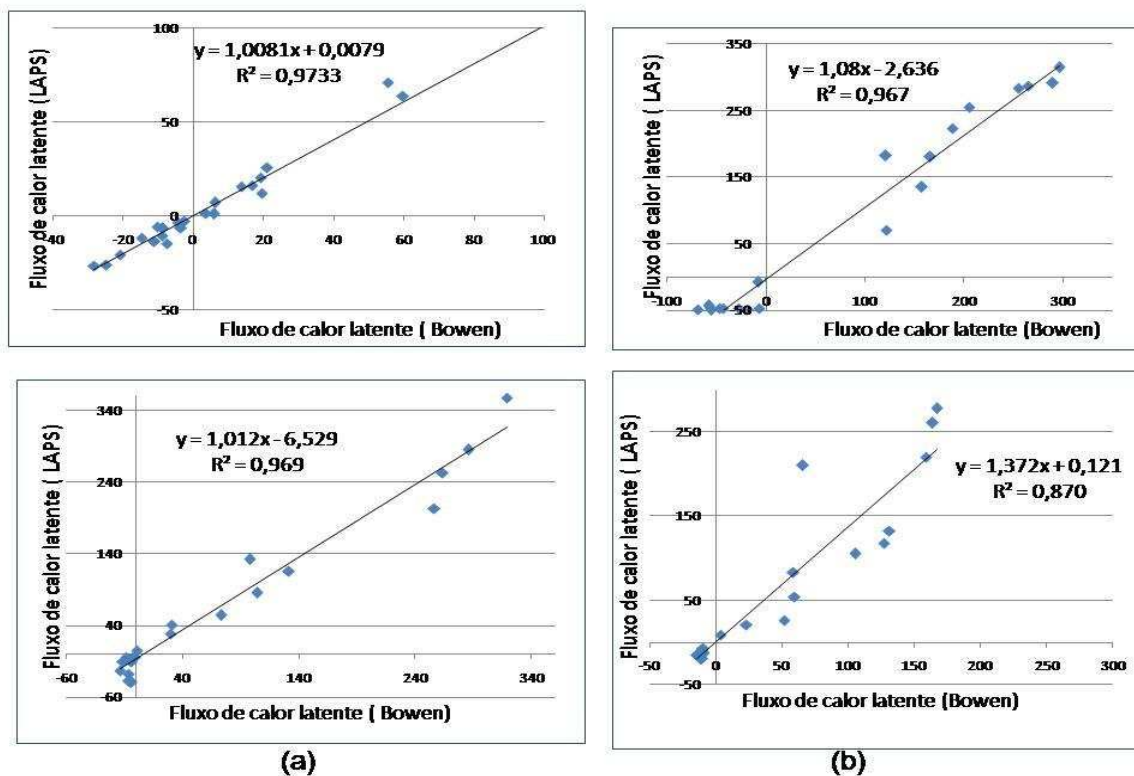


Figura 20- Correlação entre os valores do fluxo de calor latentes simulados e observados

Os valores do fluxo de calor latente foram mais consistentes no período chuvoso, como evidencia o coeficiente de correlação mostrado na Figura 20.

4.2.1. Simulação dos componentes da evapotranspiração

A evapotranspiração representa o processo simultâneo de transferência de calor latente entre a superfície vegetada e a atmosfera. A Figura 21 apresenta a variação dos componentes da evapotranspiração em escala diária, simulados pelo modelo LAPS. Nota-se que a evaporação conjunta do solo e da serapilheira apresentou valores negativos no período de maior incidência de chuvas, justificados pela ocorrência de condensação do vapor d'água da atmosfera na superfície do dossel. A transpiração do dossel representou 74,1% da evapotranspiração no período chuvoso e 77,6% no período menos chuvoso.

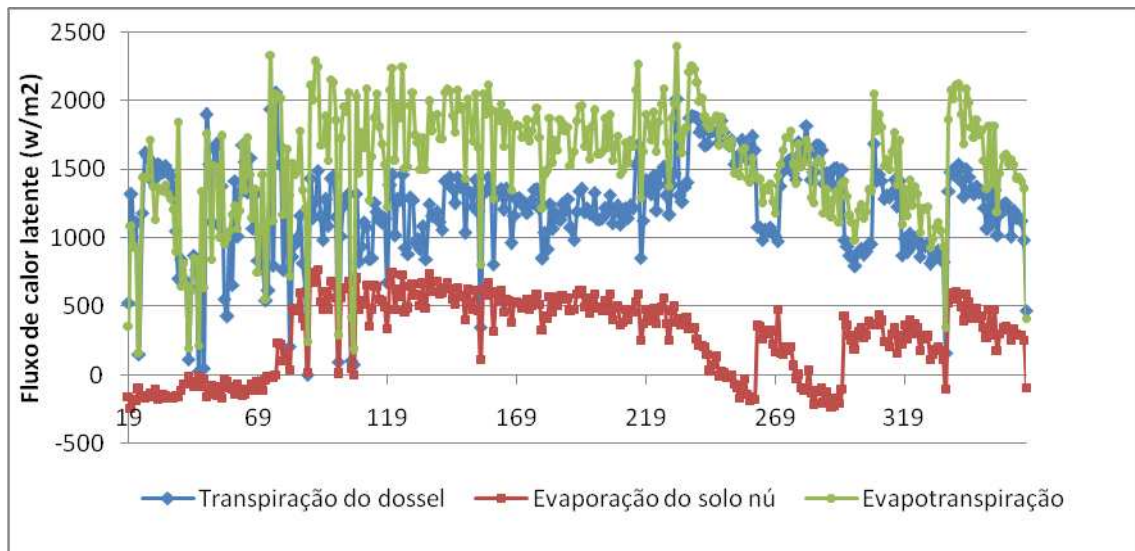


Figura 21- Variação diária dos componentes da evapotranspiração no período do estudo.

No período seco, nas horas de maior incidência de energia solar, as folhas se aquecem mais que o ar atmosférico em seu entorno. A transpiração constitui um importante mecanismo de controle da temperatura que as plantas utilizam, assim como os seres humanos. A queda da evaporação do solo reflete a grande escassez de água que caracterizou o período.

4.2.2. Evapotranspiração estimada e simulada

O curso diário da evapotranspiração das mangueiras, estimado e observado em todo o período do experimento é apresentado na Figura 22.

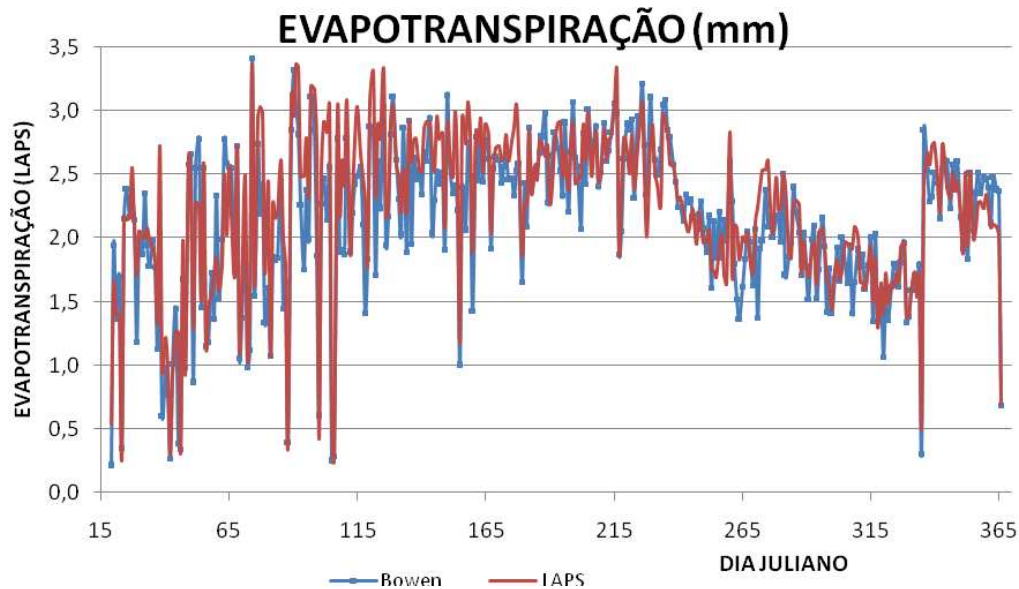


Figura 22- Curso diário da evapotranspiração observada e simulada no período estudado.

Foi constatado maior intervalo de variação dos valores de evapotranspiração durante o período com maior total de chuvas, reduzindo muito no período com restrição hídrica. São verificados picos da evapotranspiração nos dias em que ocorreu chuva. Os resultados revelam que apesar da demanda da evapotranspiração ser maior no período seco, principalmente nos meses de outubro e novembro, os efeitos provocados pela restrição hídrica influenciam bastante o processo de evapotranspiração. Na Figura 23 é apresentada a correlação entre os valores observados e simulados, para todo o ano de 2012. Deve-se o seu valor à complexidade envolvida na parametrização no modelo LAPS, se comparada com a simplicidade do método da razão de Bowen. Pode-se observar uma boa correlação entre os valores e maior concordância entre os métodos para valores de evapotranspiração superiores à 1,5 milímetros. Nota-se uma superestimativa do modelo LAPS para valores menores que 1,5 milímetros.

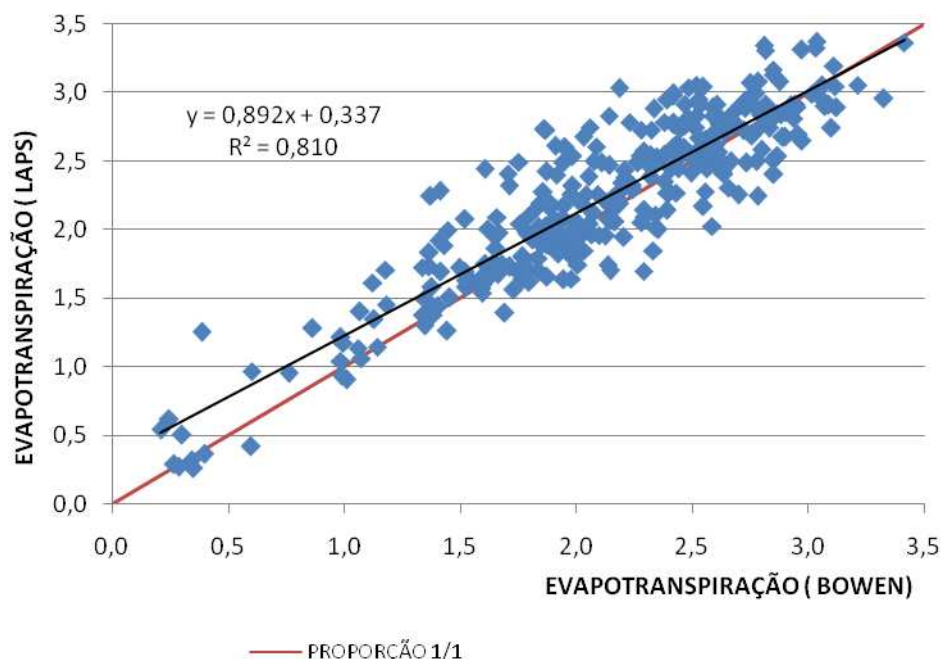


FIGURA 23- Correlação dos valores diários da evapotranspiração simulados e observados.

4.3. Fluxo de calor sensível observado e simulado.

O fluxo de calor sensível do dossel para a altura de referência é apresentado na Figura 24. Ambos os resultados mostraram maior flutuação nos valores no período chuvoso e maior estabilidade no período de transição para o período seco. No período chuvoso, os valores médios observados e simulados foram de 38,9 e 42,2 W m⁻², respectivamente, e no período seco, os mesmos foram de 35,2 e 39,4 W m⁻². A Figura 25 apresenta a correlação entre os valores observados e simulados. Nota-se maior dispersão dos valores, em relação aos resultados do fluxo de calor latente. O modelo LAPS estima o fluxo de calor sensível em função das temperaturas no interior do dossel e da temperatura no nível de referência.

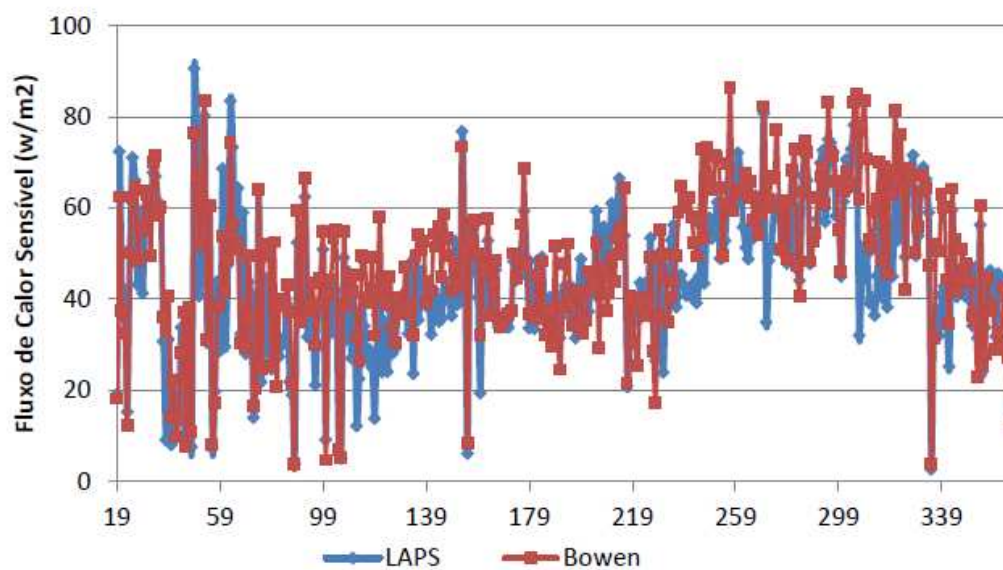


FIGURA 24- Variação diária do fluxo de calor sensível observado e simulado

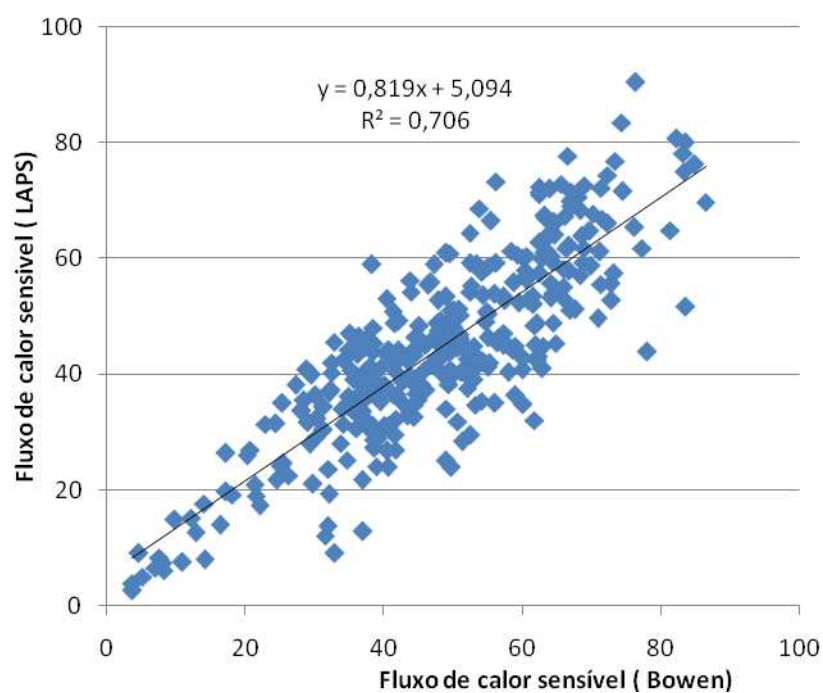


FIGURA 25- Correlação dos valores diários do fluxo de calor sensível estimado e observado.

4.4. Balanço de energia

O balanço de energia simplificado foi efetuado para todo o ciclo sazonal. O fluxo de calor no solo foi estimado pelo método da “FORCE

RESTORE” (MIHAILOVIC et al.,1999). O balanço de energia apresentou pouca variação no decorrer do ano. O resultado das simulações revelou a partição do saldo de radiação em 75,8% em calor latente, 18,17 % na forma de calor sensível e 7,1 % em fluxo de calor no solo, durante o período seco e 74,5% em calor latente, 16,7% em calor sensível e 7,5% em calor no solo. Resultados similares foram encontrados por SILVA et al.,2006. A Figura 26 apresenta a partição da energia disponível a superfície em fluxo de calor latente, sensível e fluxo de calor no solo, para dias característicos do período chuvoso e não chuvoso.

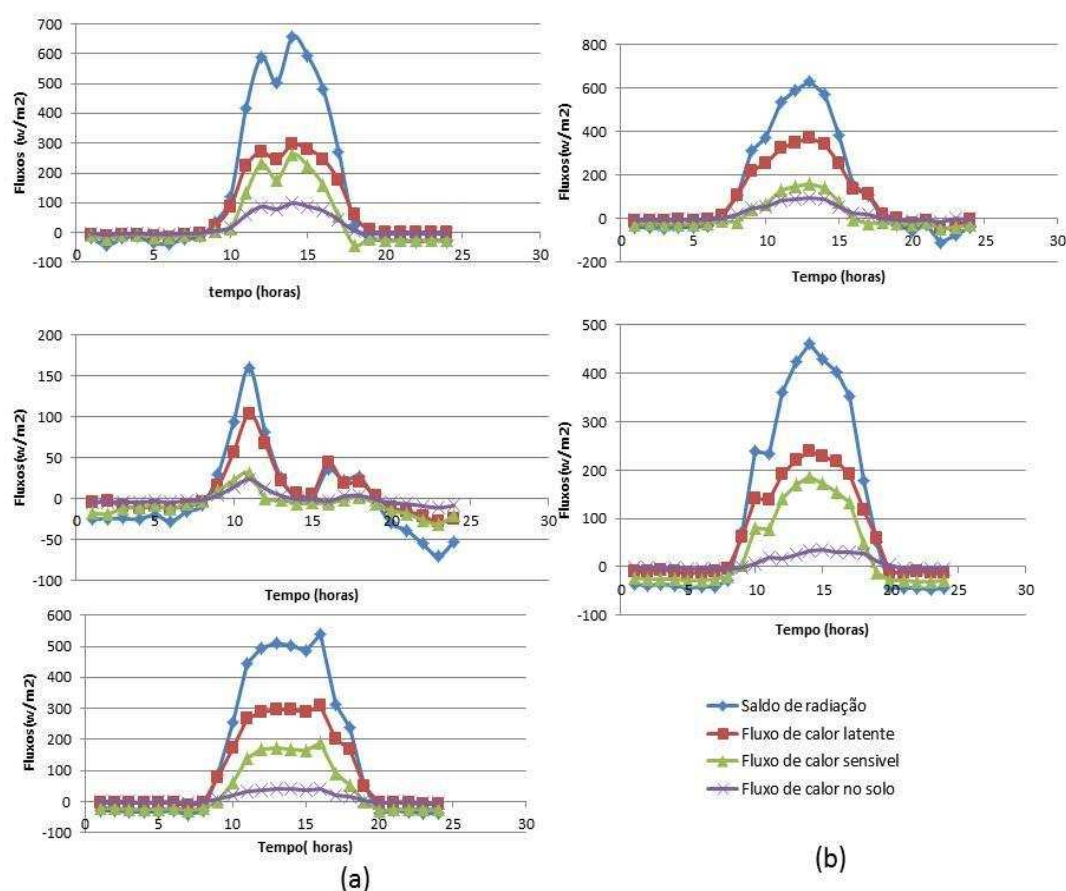


Figura 26- Componentes do balanço de energia simulados para dias característicos do período chuvoso (a) e período não chuvoso (b).

4.5. Simulação das temperaturas do sistema planta-atmosfera.

A variação diurna das temperaturas da superfície foliar, do ar no interior do dossel e do ar a 15 metros da superfície do solo é apresentada na Figura 27. A simulação foi efetuada para dias característicos dos períodos chuvoso (a) e não chuvoso (b). Nota-se que a temperatura da superfície

foliar se manteve superior às demais, no período de maior incidência de radiação solar, e se manteve inferior a esta no período noturno e início da manhã. SILVA et al., 1999 encontrou valores de temperaturas variando de 25°C no início do dia e 32° C no período da tarde, com pequenas variações diurnas das temperaturas .

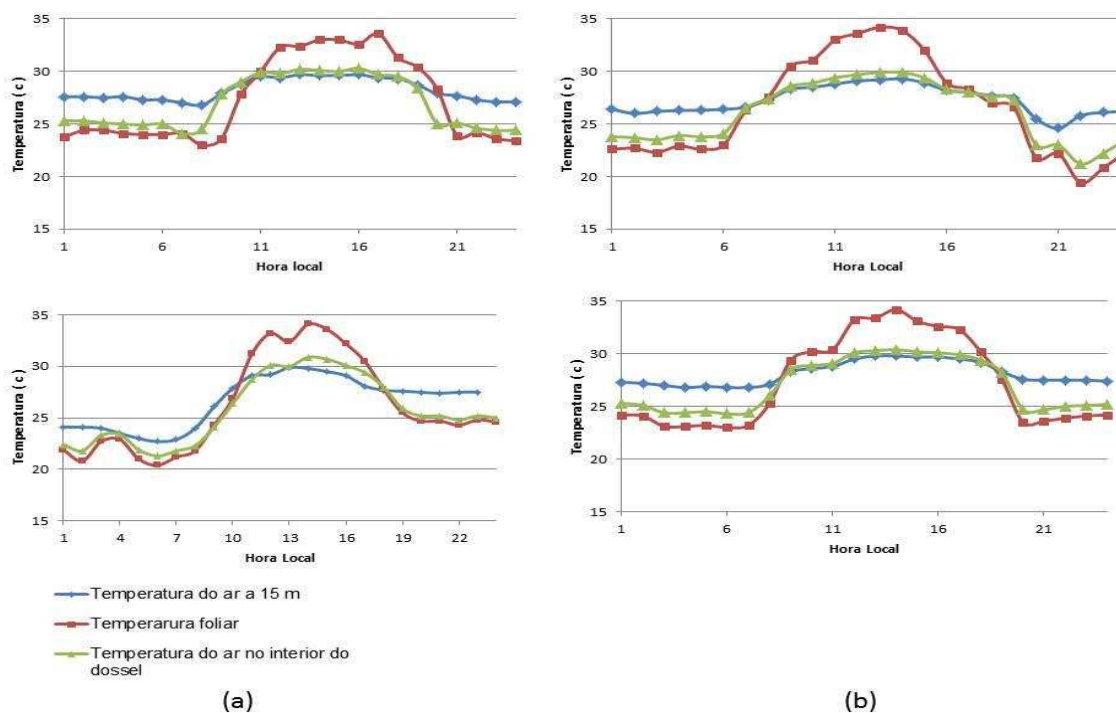


Figura 27- Curso diário das temperaturas do ar a 15 metros, do ar no interior do dossel e da temperatura da superfície foliar em períodos chuvosos (a) e não chuvosos (b).

A variação diária das temperaturas, simuladas pelo modelo LAPS, é apresentada na Figura 28. Os valores médios diários mostram maior variabilidade da temperatura do ar no interior do dossel.

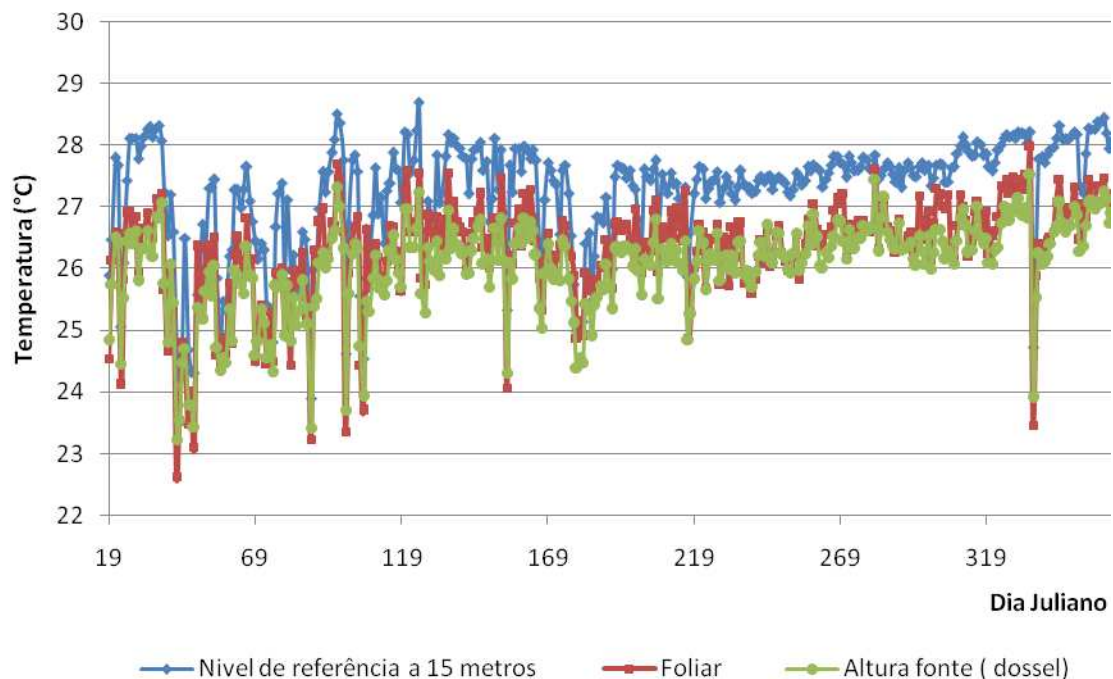


FIGURA 28- Variação diária das temperaturas do ar a 15 metros, do interior do dossel e da superfície foliar ao longo do período experimental.

A variação diária das temperaturas do ar a 15 metros do solo, do ar no interior do dossel e da superfície foliar foram, respectivamente, 26,9, 23,2 e 24,2 °C no período chuvoso e de 26,9, 22,6 e 23,35 °C no período não chuvoso.

4.6. Validação do modelo LAPS

Após a calibração, o desempenho do modelo foi testado através da simulação e comparação dos valores dos fluxos de energia obtidos com os valores observados (Bowen) e estimados pelo método de Penman- Montheit.

A Figura 29 apresenta a variação diária da evapotranspiração simulada e observada para todos os dias do mês de janeiro de 2013. Nota-se que o LAPS simulou o fluxo de calor latente de forma consistente com o método da razão de Bowen.

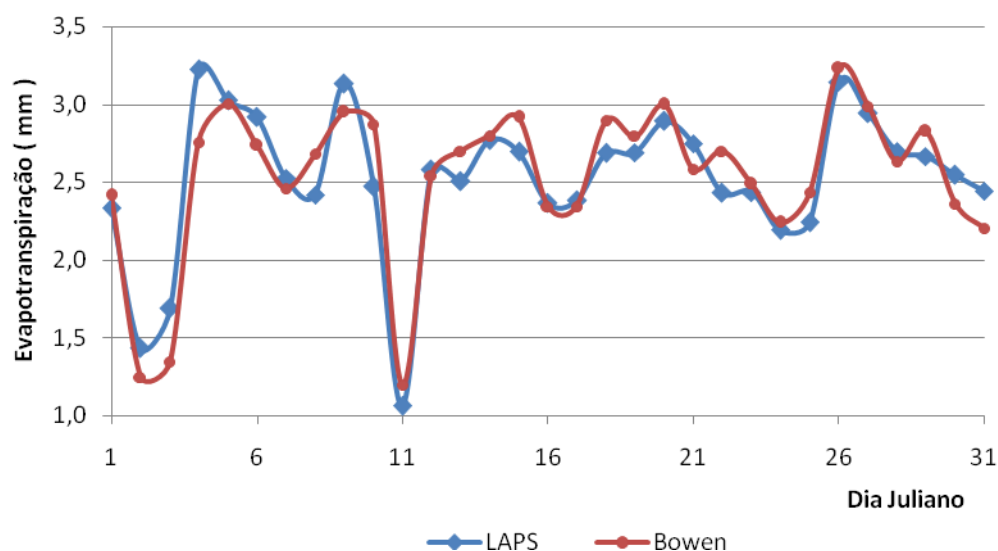


Figura 29- Curso diário da evapotranspiração simulada e observada.

A Tabela 3 apresenta os totais acumulados em milímetros, para a evapotranspiração observada simulada e estimada pelo método de Penman-Monteith, no período de validação e no período de calibração do modelo. A Figura 30 mostra a correlação entre os valores observados e simulados. Os resultados revelam um bom desempenho do modelo LAPS na estimativa da evapotranspiração do pomar de mangueira.

Tabela 3- Evapotranspiração do pomar de mangueira no ano de 2012 e no mês de janeiro de 2013.

Método	Período	LAPS	Bowen	Penman-Montheit
Total	2012	774,92	741,26	769,34
Total	Jan 2013	78,27	76,60	72,31

O modelo LAPS leva em consideração maior numero de variáveis envolvidas nos processos que governam os fluxos de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera

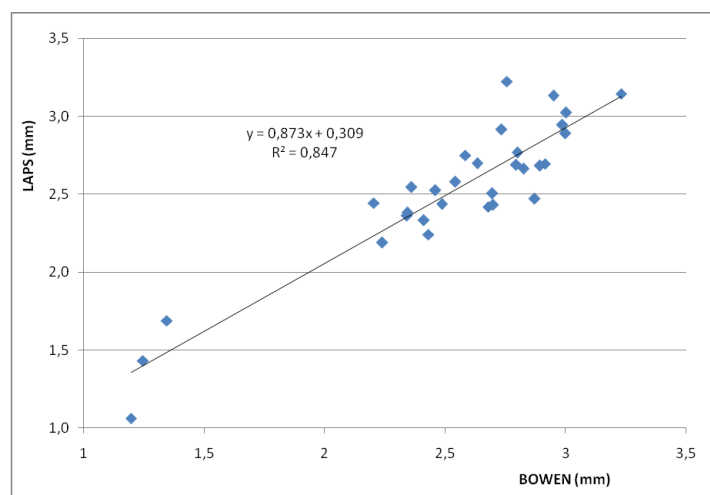


Figura 30- Correlação dos valores da evapotranspiração simulados e observados no mês de janeiro

A validação do modelo na estimativa da evapotranspiração foi efetuada através dos seguintes índices estatísticos: erro absoluto médio (MAE), erro médio de tendência (MBE), raiz do erro quadrático médio (RMSE), índice de concordância (d), eficiência do método (EF) e teste de Student (t). O resultado da análise estatística é apresentado na tabela 4. Nota-se boa concordância entre os valores observados e simulados, baixo erro quadrático médio e valor favorável do índice de eficiência do método. Em condições de perfeita combinação entre os métodos, os índices de erro absoluto médio, erro médio de tendência e raiz do erro quadrático médio são nulos, enquanto os valores do coeficiente de correlação e da eficiência do método valem uma unidade.

Tabela 4- Análise estatística da estimativa da evapotranspiração

Índice	LAPS
MAE	0,670
BEM	-0,054
RMSE	0,289
r^2	0,814
D	1,000
EF	0,759
T	0,004

4.7. Implicações da mudança do uso do solo

O impacto da mudança do uso do solo vem sendo analisado por pesquisas diversas, em diferentes biomas e localidades. Na região amazônica, vários resultados apontaram que o impacto é significativo. SILVA et al., 2003, utilizando dados do Programa LBA (Programa de Larga Escala Biosfera-Atmosfera na Amazônia), estudaram as particularidades dos fluxos de energia em área agrícola e floresta. Concluíram que a conversão de floresta para campo agrícola implica em aumento do fluxo de calor sensível e diminuição do fluxo de calor latente. A partir dos resultados deste trabalho, foi elaborado uma breve análise dos efeitos nos fluxos de energia considerando também o bioma fruticultura (mangueiras), para o período chuvoso. O resultado está exposto na tabela 5

Tabela 5- Impactos nos fluxos de calor latente e sensível no período chuvoso.

Conversão	λE (%)	H (%)
C. Agrícola->Manga	2,06	-12,07
Floresta->Manga	-28,89	-2,79

Os resultados revelam uma diminuição significativa do fluxo de calor latente ao se converter floresta (Floresta do Tapajós) em pomar de mangueira. No entanto, nota-se pouca variação no fluxo de calor sensível no ar.

Os pomares constituem um microclima com características mais próximas das florestas, se comparado com campo agrícola e pastagem.

Dessa maneira, é de se esperar que os impactos na partição da energia sejam menores no bioma pomar de mangueiras do que em campo agrícola.

5. CONCLUSÕES

O modelo LAPS foi calibrado e validado para simular a magnitude dos fluxos de massa e energia para pomar de mangueira, apresentando bons ajustes e simulando com boa concordância com o método da razão da Bowen, indicando ser confiável nas condições deste experimento.

Em ambos os períodos analisados, a partição da energia disponível se deu com predominância do fluxo de calor latente, seguido pelo fluxo de calor sensível. O efeito da escassez dos recursos hídricos foi evidente, de forma que a evapotranspiração foi reduzida nesse período.

Apesar da ausência de dados observados das temperaturas da superfície foliar e do ar no interior do dossel, constataram-se valores simulados coerentes com a literatura. A temperatura das folhas manteve-se superior às demais nas horas de maior incidência de energia solar e inferior durante as primeiras horas da manhã e da noite.

Os resultados revelam que, além dos benefícios socioeconômicos da fruticultura para a região de estudo, o impacto gerado pela implantação de pomares de mangueira é bem menor que o do campo agrícola (arroz, arado, soja). Devido à maior proximidade entre os albedos e a partição da energia entre floresta e pomar de mangueira no período chuvoso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 2012. **Anuarioestatístico da ABRAF 2012**, ano base 2011. Brasília: 2012. Disponível em: <www.abraflor.org.br>. Acesso em: 18 de Julho de 2012.

AGUIAR, R.G. **fluxos de massa e energia em uma Floresta tropical no sudoeste da Amazônia**. 2005. 78p. Dissertação (Mestrado em Física do Meio Ambiente). Universidade Federal de Mato Grosso.

ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J.; SANDS , P. J.; AMBROGI, M. S.; FONSECA, S.; BARDDAL, S. M.; BERTOLUCCI, F. L. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**. v. 193, p. 167–177, 2004

ANDRÉ, R.G.B.; VISWANADHAM,Y. DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA NUMA CULTURA DE SOJA [*Glycine max (L.) Merrill*]. **Revista Brasileira de Meteorologia**; 1986; Vol. 1,29-37

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2012. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz do Sul, 2010. 132 p.

ARYA, S. P. Introduction to micrometeorology,. 2 ed., San Diego, California, USA,**Academic Press**, 2001.

ARRUDA, J.C. **Estudo do fechamento do balanço de energia pelo método de covariância de vórtices turbulentos em uma floresta de transição em mato grosso**. 2011.134p. Tese(Doutorado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso

ÁVILA NETTO, J.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; SOARES, J.M.; TEIXEIRA, A.H. **Balanço de energia sobre um cultivo de videira**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, II; Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2, 1999. Anais... Florianópolis: Epagri, CD-ROM, 1999

CAMPBELL, R.J. ; WASIELEWSKI, J. Mango tree training techniques for the hot tropics. **Acta Horticulturae**, The Haghe, v. 509, p 641-651, 2000. Edição dos resumos do VI International Symposim on Mango, Pattaya City, Thailand, fevereiro, 2000.

BIUDES, M. S.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; NOGUEIRA, J. S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do pantanal pelo método da Razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 135-143, 2009.

BORGES,C.J.R. **efeitos do calor armazenado no dossel e no solo no cálculo do balanço de energia em pomar de mangueiras irrigadas**. 2006, **69 p**. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande-PB

BOWEN, I.S. **The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface**. Physical Review, New York, 27: 779-787, 1926.

CAMPBELL, R.J. ; WASIELEWSKI, J. Mango tree training techniques for the hot tropics. Acta Horticulturae, The Haghe, v. 509, p 641-651, 2000. Edição dos resumos do VI International Symposim on Mango, Pattaya City, Thailand, fevereiro, 2000.

CARNEIRO,R.L.C.;RIBEIRO.A.HUAMAN,A.M.;LEITE,F.P.;SEDIYAMA,G.C.; NEVES,J.C.L. consumo de água em plantios de eucalipto: parte 2.Modelagem da resistência estomática e estimativa da Transpiração em tratamentos irrigados e não-irrigados. **Revista Árvore**,v.32 (1) ,p.11-18,2008.

Chacko, E.K. 1986. Physiology of vegetative and reproductive growth in mango (*Mangifera indica* L.) trees. Proc. of Australian Mango, Workshop 1:54. CSIRO, Cairns, Queensland, Melbourne

CLAY, J. W.; SAMPAIO, P. T. B.; CLEMENT, C. R. **Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias**. Manaus: Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 1999. 409 p.

CORRÊA, F.H.P.; **Estimativa das radiações ultravioleta (uv), fotossinteticamente ativa (par) e infravermelha (iv) em função da razão de insolação**.2011.81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Energia na Agricultura). UNESP-Campus Botucatu.

COSTA, M.H.; FOLEY, J.A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO2 concentrations on the climate of Amazonia. **Journal of Climate**, v. 13, p. 18-34, 2000.

COSTA, J.P.R. **Modelagem e simulação das interações biosfera-atmosfera em plantio de soja na Amazônia**. 2008.127p.Dissertação (Doutorado em Meteorologia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, MG.

CUNHA, G. A. P.; PINTO, A. C. Q; FERREIRA, F. R. Origem, dispersão, taxonomia e botânica. In: GENU, P. J. de C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 407-432, 2002.

CUNHA, A.R.; ESCOBEDO, J.F.; KLOWSK, E.S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 735-743, 2002.

CRISÓSTOMI, L. A.; NAUMOV, A. Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil. Fortaleza: **EmbrapaAgroindústria Tropical**, 2009. 238 p. (Embrapa Agroindústria Tropical, IIP. Boletim 18).

DEARDORFF, J.W, 1978: Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation. J. Geophys. Res., 83, 1889-1903.

DICKINSON, R.E. Modeling evapotranspiration for threedimensional global climate models. In: J.E. Hansen and T.Takahashi (Editors), Climate Processes and Climate Sensitivity. **Am. Geophys.** Union, Washington, DC, pp. 58-72.1984

DICKINSON, R.E., HENDERSON-SELLERS, A., KENNEDY, P. AND WILSON, M., 1986. Biosphere/Atmosphere Transfer Scheme for NCAR Community Climate Model. **NCAR Tech.** Note TN 30

DYE, P.J.; OLBRICH, B.W. Estimation of transpiration from 6-year-old eucalyptus grandis tree: development a canopy conductance model and comparison with independent SAP flux measurements. **PlantCell Environmental**, v.16, p. 43-53, 1993.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica, Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas.** Ed. Campus, 1978.p 320-325

ESCOBEDO, J.F.; FRISINA, V.A. Balanço de radiação e energia da cultura de alface em estufa de polietileno. **Pesq. Agropec. Bras., Brasília**, v.34, n.10, p.1775-1786, out. 1999.

ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N.; JÚNIOR, C.R.F.; OLIVEIRA, A.P.; SOARES, JACY RA. Estimativa das radiações global, direta e difusa em função do índice de claridade (kt) e razão de insolação (n/n). I CBENS - ABENS - Associação Brasileira de Energia Solar, I CBENS - **I Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2007.

FACHINELLO, J.C.; PASA, M.S.; SCHMITZ, J.D.; BETEMPS, D.L. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal v. 33, p.109-120, 2011.

FACCO, A.G.; RIBEIRO, A.; SEDIYAMA, G.C.; LEITE, F.P.; BARROS, N.F. Saldo de radiação em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado. **Revista Árvore**, v.33, n., p 471-480, 2009.

FAO – Food and Agricultural Organization (2010), Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em 14 de jan. de 2010.

FAO – Food and Agricultural Organization. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 26 Mai. 2013.

FACCHI, A.; ORTUANI, B.; MAGGI, D.; GANDOLFI, C. Coupled SVAT – groundwater model for water resources simulation in irrigated alluvial plains. **Environmental Modelling & Software**, v. 19. p. 1053-1063, 2004.

FAVERO, L. A. (org). A Cultura da Manga no São Francisco: posicionamento, limites, oportunidades e ações estratégicas. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2008.

FEARNSIDE, P. - Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, v. 36 (3), p. 395 – 400, 2006.

GOUDRIAAN, J., 1977. Crop Micrometeorology. A Simulation Study. **Wageningen Center for Agric.** Publ. Doc., 249 pp.

HENDERSON-SELLERS, A.; DICKINSON, R.E.; DURBRIDGE, T.B.; KENNEDY, P.J.; MCGUFFIE, K.; PITMAN, A.J. Tropical deforestation: Modelling local - to regional – scale climate change. **Journal of Geophysical Research**, v. 98 (d4), p.7289-7315, 1993

IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/site>. Acesso em 21 Jun. 2013.

IDSO, S., JACKSON, R., KIMBALL, B. AND NAKAGAMA, F., 1975. The dependence of bare soil albedo on soil water content. **J. Appl. Meteorol.**, 14: 109-113.

INÁCIO, THAIS. **Potencial solar das radiações global, difusa e direta em Botucatu**. 2009. 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Energia na Agricultura). UNESP-Campus Botucatu.

JARVIS, P.G., 1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philos. Trans. R. Soc.**, B273: 593-610.

KUCHMENT, L. S.; DEMIDOV, V. N.; STARTSEVA, Z. P. Coupled modeling of the hydrological and carbon cycles in the soil-vegetation-atmosphere system. **Journal of Hydrology**, v.3. p, 1-18, 2005.

LIMA, J.R.S., ANTONINO, A.C.D., SOARES, W.A., BORGES, E., SILVA, I.F., LIRA, C.A.B.O. Balanço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.527-534, 2005.

LIMA, R.T.; SOUZA, P.J.O.P.; RODRIGUES, J.C.; LIMA, M.J.A. Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 4, p. 974 - 980, Dezembro 2012

MASSON, V.; CHAMPEUX, JEAN-LOUIS.; CHAUVIN, F. MARIGUET, C.; LACAZE, R. A Global database of land surface parameters at 1-km resolution in meteorological. **Journal of Climate**, v.16 (9), p.1261-1282, 2003.

MANZI, A.O.; PLANTON, S.A. Simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with ABRAC and ARME data. In: **Amazonian Deforestation**

and Climate, (eds.). J.H.C Gash, C.A Nobre, J.M Roberts, R.L Victoria. p.505 – 529. John Wiley & Sons Ltd.1996

MENGELKAMP, HEINZ-THEO; WARRACH, K.; RASCHKE, E. SEWAB - a parametrization of the surface energy and water balance for atmospheric and hydrologic models.**Advances in Water Resources**, v. 23, p.165-175, 1999.

MIHAILOVIC, D.T., 1990. Testing the Biosphere-Atmosphere Transfer scheme (BATS) using Penman and Long (1960) data: Preliminary results. Int. Rep. Dep. Meteorol. **Wageningen Agric. Univ.**, 40 pp.

MIHAILOVIC, D.T. AND JEFTID, M., 1994.An efficient but simple biophysical scheme UNICOS for use in different scale modelling.**Environ. Soft.**, 9: 47-60.

MIHAILOVIC, D.T. AND RAJKOVIC, B., 1993. Surface vegetation parametrization in atmospheric models: A numerical study. **Z. Meteorol.**, 2: 239-243

MIHAILOVIC, D. T.; LALIC, B.; ARSENIC, I.; EITZINER, J.; DUSANIC, N. Simulation of air temperature Inside the canopy by the LAPS Surface Scheme. **Ecological Modelling**, v. 147, p. 199–207, 2002

MIHAILOVIC, D. T. Description of a land - air parametrization scheme (LAPS). **Global and Planetary Change**, v.13, p.207-215, 1996.

MIHAILOVIC,D.T.; KALLOS,G.; ARSENIC,I.D.; LALIC,B.; RAJKOVIC,B.; PAPADOUPOLOS,A. Sensitivity of soil surface temperature in a force-restore equation to heat fluxes and deep soil Temperature. *Int. J. Climatol.* **19**: 1617–1632 (1999).

NASCENTE, A.S.; NETO, C.R. **O agronegócio da fruticultura na Amazônia: um estudo exploratório**. EMBRAPA, ISSN 0103-9865, Outubro de 2005.

NETO, M.T.C. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática Da mangueira. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 25, n. 1, p. 93-95, Abril 2003.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. FEALQ. Piracicaba-SP, 183 p. 1997.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L. E RÜTHER, R., 2006. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos, INPE, 60 p.

PEREIRA, E. B.; VRISMAN, A.L.; GALVANI, E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **ScientiaAgricola**, v.59, n.2, p.211-216, 2002.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; et al. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 141-150, 1999.

PEZZOPANE, J.M.; JÚNIOR, M.J.P. Balanço de energia em vinhedo de 'niagararosada'. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, 155-161, 2003.

PONGRATZ, J.; BOUNOUA, L.; DeFRIES, R.S; MORTON, D.C.; ANDERSON, L.O; MAUSER, W.; KLINK, C.A. The impact of land cover change on surface energy and water balance in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v.10, paper no 19, 2006.

RIBEIRO NETO, A. Simulação hidrológica na Amazônia: Rio Madeira. Rio de Janeiro. 2006. 178p. Tese (Doutorado em Engenharia civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). 2006.

Righi, E. Z.; Angelocci, L. R.; Marin, F. R. Energy balance of a young drip-irrigated coffee crop in southeast Brazil: an analysis of errors and reliability of measurements by the Bowen ratio method. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.15, p.367-279, 2007.

SACRAMENTO NETO, O. B. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2001. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa - Minas Gerais, 2001.

SANTOS, M.R.; SILVA, B.L.; NEVES, B.R.; DONATO, S.L.R. **Influência do manejo da irrigação nas classes de diâmetros de raízes da mangueira 'Tommy Atkins'**. ISBN 978-85-62830-10-5.VII CONNEPI©2012.

SANTIAGO, A.V. **Simulações dos efeitos da cobertura vegetal no balanço hídrico da bacia do rio Ji-Paraná, RO**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2005. 70 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade do Estado de São Paulo, 2005.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], 2002, p. 119-140.

SELLERS, P.J., MINTZ, Y., SUD, Y. AND DACHER, X., 1986. A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation model. **J. Atmos. Sci.**, 43:506-531.

SELLERS, P.J., SHUTTLEWORTH, W.J., DORMAN, J.L., DALCHER, A. AND ROBERTS, J.M., 1989. Calibrating the simple biosphere model for Amazonian forest using field and remote sensing data. Part I: Average calibration with field data. **J. Appl. Meteorol.**, 28:727-759.

SILVA, W. C. M. **Modelagem dos balanços de radiação e de água e simulação do crescimento do eucalipto na Bacia do Rio Doce**. 2007. 104 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SIVA, V.P. R; AZEVEDO, P.V. Seasonal Patterns of the Energy Balance Components in a Mango (*Mangifera Indica* L.) Orchard grown in Northeast Brazil. **Agric.J.**, 1 (1) : 18-23,2006.

SIQUEIRA, Tagore Villarim de. A cultura da manga: desempenho no período 1961/2001. Rio de Janeiro: BNDES, 2003.

SILVA,V.P.R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. Campina Grande,PB, 2000. 129 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico do solo. Ver. bras. **Eng. Agrícola e Ambiental**, vol. 5, p.456-462, 2001

SOUSA, A.M.L.; SOUZA, P.J.O.P.; VITORINO. M.I. Avaliação do IAF para uso na estimativa de produtividade da manga: Estudo de caso em Cuiarana – Pará. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.0009 .

SOUZA, S.C. **Desmatamento e clima em Alta Floresta Amazônia Mato-grossense**. Mato Grosso: 2006. 92p. Tese de mestrado (Pós-Graduação em Geografia) Universidade Federal de Mato Grosso. 2006.

SUN, S.F., 1982. Moisture and heat transport in a soil layer forced by atmospheric conditions. **M.S. Thesis. Dep. Civ. Eng. Univ. Conn.**, 72 pp.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. Eliane Romanato Santarém...[et al.] - 3.ed.- Porto Alegre: Atmed, 2004, 719 p.

TEIXEIRA, A. H. de., AZEVEDO, P. V. de.; SILVA, B.B. da.; SOARES, J. M. Balanço de Energia na cultura da videira, cv. Italia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, p.137-141, 1997.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, N. D.; MOURA, M. S. B.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology*, v.362, p.110-127, 2008.

TEIXEIRA,A.H.C.;LOPES,H.L.;HERNANDEZ,F.B.T. Modelagem de parâmetros biofísicos em pomares de mangueira por sensoriamento remoto no município de Petrolina-PE, Brasil. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.0063.

TIBA, C.;LEAL,L.S.A. modelagem e validação estatística da relação entre irradiação par e Irradiação solar global na região nordeste do brasil. **Avances enEnergíasRenovables y Medio Ambiente**. Vol. 9, 2005.Impreso en la Argentina.ISSN 0329-5184.

VILLA NOVA, N.A. **Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz**. Piracicaba, p. 89, Tese de Livre-Docência, Escola Superior de Agronomia Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1973.

WANG, G. A conceptual modelling study on biosphere-atmosphere interactions and its implications for physically based climate modeling. **Journal of climate**, v. 17, p. 2572-2583, 2004.

WALKO, R.L.; BAND,; L. E. BARON, J; KITTEL, T. G.; LAMMERS, R.; TSENGDAR, J. L.; OJIMA, D.; PIELK, R. A.; TAYLOR, C.; TAGUE, C.; CRANG, J. T.; VIDALE, L. - Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for environmental modelling. **Journal of Applied Meteorology**, v. 23, p. 931-944, 2000.

XUE, Y.; ZENG, F. J.; SCHLOSSER, C. A. SSiB and its sensitivity to soil properties – a case study using HAPEX-Mobily data. **Global and Planetary Change**, v. 13, p. 183-194, 1996.

ZHANG, H.; HENDERSON-SELLERS, A.; McGUFFIE, K. Impact of a tropical deforestation. Part I: Process analysis of local climate changes. **Journal of Climatology**, v. 9, p. 1497-1517, 1996.

ZHANG, D. AND ANTHES, R.A., 1982.A high-resolution model of the planetary boundary layer-sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 data.J. **Appl. Meteorol.**, 21: 1594-1609.