

LEONARDO JOSÉ GONÇALVES AGUIAR

**BALANÇO DE RADIAÇÃO EM ÁREAS DE FLORESTA E DE PASTAGEM
EM RONDÔNIA**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

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

T

A282b
2007

Aguiar, Leonardo José Gonçalves, 1983-
Balanço de radiação em áreas de floresta e de pastagem
em Rondônia / Leonardo José Gonçalves Aguiar.
– Viçosa, MG, 2007.
xvii, 70f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: José Maria Nogueira da Costa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 65-70.

1. Micrometeorologia - Amazônia. 2. Radiação solar -
Amazônia. 3. Radiação atmosférica - Amazônia. 4.
Radiação global - Amazônia. 5. Radiação atmosférica –
Modelos matemáticos. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 551.5209811

LEONARDO JOSÉ GONÇALVES AGUIAR

**BALANÇO DE RADIAÇÃO EM ÁREAS DE FLORESTA E DE PASTAGEM
EM RONDÔNIA**

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

APROVADA: 14 de agosto de 2007.

Pesq. Williams Pinto Marques Ferreira
(Co-Orientador)

Prof. Flávio Barbosa Justino

Pesq. Francisca Zenaide de Lima

Prof. Sérgio Zolnier

Prof. José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

Felicidade é a certeza
de que nossa vida
não está se passando
inutilmente
(Érico Veríssimo)

À minha mãe Maria Bernadete Veras Aguiar.

À meu pai José Gonçalves Lima.

À minhas irmãs Renata, Emanuelle e Fátima Samanta.

AGRADECIMENTOS

- À minha mãe Maria Bernadete Veras Aguiar por seu amor e por ter sempre me incentivado.
- Ao meu pai José Gonçalves Lima por seu afeto.
- À minha irmã Renata Gonçalves Aguiar pelo incentivo e por me forçar, mesmo que inconscientemente, a crescer cada vez mais.
- Às minhas irmãs Emanuelle de Lima Aguiar e Fátima Samanta Gonçalves Lima pelo carinho.
- Ao meu cunhado Emerson da Silva Ribeiro por sua amizade.
- Aos meus tios pelo carinho que sempre me demonstraram, em especial aos meus tios João Eudes Veras Aguiar e Francisco Sales Veras Aguiar.
- À minha namorada Graciela Redies Fischer pelas contribuições e principalmente pela paciência que teve na fase final do meu mestrado.
- Aos meus amigos Evandro Chaves de Oliveira e Sérgio de Mattos Fonseca pelas discussões científicas que tivemos durante o mestrado, principalmente as que ocorreram após o expediente de trabalho.
- À minha grande amiga Lucia Iracema Chipponelli Pinto pelo apoio durante o mestrado.
- Às minhas amigas de república, Rochane Caram e Sabrina Rodth por terem me aturado dentro de casa, mesmo que por pouco tempo.
- Ao Professor Fernando Luiz Cardoso pelo tempo em que trabalhei no LBA de Rondônia e por sempre ter me incentivado a fazer o curso de mestrado.

- Ao professor Edgar Martinez Marmolejo por ter me ajudado tanto na iniciação científica.
- Aos professores do programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola pelo conhecimento transmitido.
- Aos mestres que tive na Universidade Federal de Rondônia - UNIR que me apoiaram e acompanharam meu crescimento acadêmico.
- Ao Dr. José Maria Nogueira da Costa pela orientação .
- A grande família constituída pelos alunos da Meteorologia Agrícola da UFV.
- Aos alunos bolsistas da UNIR pela coleta dos dados.
- Aos membros da banca Dr. Williams Pinto Marques Ferreira, Dr. Flávio Barbosa Justino, Dr. Francisca Zenaide de Lima e Dr. Sérgio Zolnier pelas contribuições.
- À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso.
- Ao CNPq e ao Projeto LBA pelo suporte financeiro.
- Aos técnicos do IBAMA da sede da REBIO Jarú pela ajuda nos momentos das coletas de dados.

BIOGRAFIA

LEONARDO JOSÉ GONÇALVES AGUIAR, filho de José Gonçalves Lima e Maria Bernadete Veras Aguiar, nasceu em 03 de junho de 1983, em Ji-Paraná, estado de Rondônia.

Em julho de 2005, graduou-se em Licenciatura Plena em Matemática, pela universidade Federal de Rondônia (UNIR), em Ji-Paraná, Rondônia.

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa, MG, em agosto de 2005, iniciando o Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em nível de Mestrado, na área de micrometeorologia de ecossistemas.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Amazônia Legal	3
2.2. Balanço de radiação	6
2.2.1. Balanço de radiação de ondas curtas	8
2.2.2. Balanço de radiação de ondas longas	10
2.2.3. Radiação fotossinteticamente ativa	12
2.2.4. Albedo	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Descrição das áreas de estudo	15
3.1.1. Climatologia da região	16
3.2. Descrição dos instrumentos e métodos	18
3.2.1. Dados meteorológicos e sistema de aquisição dos dados ...	18
3.2.2. Tratamento dos dados	19
3.3. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica	20

3.3.1. Caracterização de dias de céu claro e céu nublado	21
3.3.2. Estimativa da radiação solar extraterrestre	22
3.3.3 Análise estatística	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Variáveis meteorológicas	24
4.1.1. Precipitação	24
4.1.2. Temperatura do ar	25
4.1.3. Déficit de pressão do vapor d'água	27
4.1.4. Irradiância solar global	31
4.1.5. Irradiância solar refletida e albedo	35
4.1.6. Saldo de radiação	39
4.1.7. Radiação de onda longa	40
4.1.8. Radiação fotossinteticamente ativa	45
4.2. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica	55
5. CONCLUSÕES	64
6. BIBLIOGRAFIA	65

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Variáveis meteorológicas, instrumentos e respectivas alturas de instalação dos sensores das torres micrometeorológicas localizadas na FNS e JAR.	19
Tabela 2. Total mensal da precipitação (mm) na FNS e JAR, registrados nos últimos dois anos de coletas.	25
Tabela 3. Valores médios sazonais da irradiância solar global (S_{in}), irradiância solar refletida (S_{out}), radiação de onda longa atmosférica (L_{in}), radiação de onda longa emitida pela superfície (L_{out}) e saldo de radiação (R_{net}) em $MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, e albedo (%) para os sítios de floresta (JAR) e de pastagem (FNS).	35
Tabela 4. Padrões sazonais dos valores médios diários da irradiância solar global (S_{in}), radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) em $MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, albedo e coeficiente de refletividade da radiação fotossinteticamente ativa (C. R. PAR) em %, e a razão da radiação PAR_{in} e a S_{in} (PAR_{in}/S_{in}) para os sítios de floresta (JAR) e pastagem (FNS).	49
Tabela 5. Valores médios diários da irradiância solar global (S_{in}), radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) em $MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, albedo e coeficiente de refletividade da radiação fotossinteticamente ativa (C. R. PAR) em %, e a razão da radiação PAR_{in} e a S_{in} (PAR_{in}/S_{in}), para os sítios de floresta (JAR) e pastagem (FNS) de junho de 2005 a maio de 2006.	51

Tabela 6.	Número de dias utilizados para estimar a radiação de onda longa atmosférica no período de junho de 2005 a maio de 2006 nos sítios de floresta e de pastagem.	55
Tabela 7.	Estatísticas relacionando os valores da radiação de onda longa atmosférica estimados e os medidos, em que o Desvio Médio Quadrático (DMQ) e o Erro Médio Absoluto (EMA) estão em $W m^{-2}$, para os meses de junho de 2005 a maio de 2006 no sítio de pastagem.	57
Tabela 8.	Estatísticas relacionando os valores da radiação de onda longa atmosférica estimados e os medidos, em que o Desvio Médio Quadrático (DMQ) e o Erro Médio Absoluto (EMA) estão em $W m^{-2}$, para os meses de junho de 2005 a maio de 2006 no sítio de floresta.	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Amazônia Legal.	4
Figura 2. Taxa de desmatamento anual ($\text{km}^2 \text{ ano}^{-1}$) da Amazônia Legal.	5
Figura 3. Taxa de desmatamento anual ($\text{km}^2 \text{ ano}^{-1}$) do Estado de Rondônia.	6
Figura 4. Localização dos sítios experimentais no Estado de Rondônia.	15
Figura 5. Climatologia da Precipitação e Temperatura do ar para a região de Ji-Paraná, no o período de 1982 a 1996, segundo Ferreira da Costa et al. (1998).	17
Figura 6. Sensores utilizados no estudo: a) Conjunto de sensores de radiação no sítio de floresta; b) Pluviômetro; c) Termohigrômetro e d) Conjunto de sensores de radiação no sítio de pastagem.	18
Figura 7. Padrões sazonais dos valores médios mensais da temperatura do ar média, mínima e máxima para os sítios de floresta (JAR) e de pastagem (FNS) de junho de 2005 a maio de 2006.	26
Figura 8. Variação do ciclo diário médio da temperatura do ar nas estações chuvosa e seca para os sítios de floresta (JAR) e de pastagem (FNS).	27

Figura 9.	Padrões sazonais dos valores médios mensais do déficit de pressão de vapor d'água para os sítios de floresta e de pastagem de junho de 2005 a maio de 2006.	28
Figura 10.	Variação do ciclo diário médio da temperatura do ar (T) e déficit de pressão de vapor (ΔE) nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	29
Figura 11.	Variação do ciclo diário médio da temperatura do ar (T) e déficit de pressão de vapor (ΔE) nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	30
Figura 12.	Variação do ciclo diário médio da irradiância solar global (S_{in}), irradiância solar refletida (S_{out}) e saldo de radiação (R_{net}) nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	33
Figura 13.	Variação do ciclo diário médio da irradiância solar global (S_{in}), irradiância solar refletida (S_{out}) e saldo de radiação (R_{net}) nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	34
Figura 14.	Variação do ciclo diário médio do albedo nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.....	37
Figura 15.	Variação do ciclo diário médio do albedo nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e pastagem.....	38
Figura 16.	Variação do ciclo diário médio da radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) e radiação de onda longa emitida pela superfície (L_{out}) nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	42
Figura 17.	Variação do ciclo diário médio da radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) e radiação de onda longa emitida pela superfície (L_{out}) nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	43
Figura 18.	Padrões sazonais dos valores médios mensais da radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) e emitida pela superfície (L_{out}) para os sítios de floresta e de pastagem de junho de 2005 a maio de 2006.	44

Figura 19.	Variação do ciclo diário médio da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	47
Figura 20.	Variação do ciclo diário médio da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	48
Figura 21.	Variação do ciclo diário médio do coeficiente de reflexão da radiação fotossinteticamente ativa nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	53
Figura 22.	Variação do ciclo diário médio do coeficiente de reflexão da radiação fotossinteticamente ativa nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.	54
Figura 23.	Variação do ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pela equação de Brutsaert (1975) para o mês de agosto de 2005 nos sítios de floresta e pastagem.	60
Figura 24.	Ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d) e maio (e) no sítio de pastagem.	61
Figura 25.	Ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e dezembro (f) no sítio de floresta.	62
Figura 26.	Ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d) e maio (e) no sítio de floresta.	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Abreviaturas

DMQ	Desvio Médio Quadrático.
EMA	Erro Médio Absoluto.
FNS	Fazenda Nossa Senhora.
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
JAR	Reserva Biológica do Jarú.
LBA	Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia.

Símbolos

Alfabeto Romano

e	Pressão do vapor d'água (hPa).
e_s	Pressão de saturação do vapor d'água (hPa).
D	Distância Terra-Sol para um determinado dia (m).
D	Distância média Terra-Sol (m).
L_{in}	Radiação de onda longa atmosférica ($W m^{-2}$).
L_{out}	Radiação de onda longa emitida pela superfície ($W m^{-2}$).
P	Precipitação (mm).
PAR_{in}	Radiação fotossinteticamente ativa incidente ($W m^{-2}$).
PAR_{out}	Radiação fotossinteticamente ativa refletida ($W m^{-2}$).

R^2	Coeficiente de determinação.
R_{net}	Saldo de radiação ($W\ m^{-2}$).
R_o	Radiação solar extraterrestre ($W\ m^{-2}$).
S_{in}	Irradiância solar incidente ($W\ m^{-2}$).
S_o	Constante solar ($W\ m^{-2}$).
S_{out}	Irradiância Solar refletida ($W\ m^{-2}$).
t	Temperatura do ar ($^{\circ}C$).
T	Temperatura do ar (K).
UR	Umidade Relativa do ar (%).
Z	Ângulo zenital ($^{\circ}$).

Alfabeto Grego

α_s	Albedo, adimensional.
α_{PAR}	Coeficiente de refletividade da radiação fotossinteticamente ativa, adimensional.
δ	Ângulo de declinação solar ($^{\circ}$).
ϕ	Latitude do local ($^{\circ}$).
σ	Constante de Stefan-Boltzmann ($W\ m^{-2}K^{-4}$).
h	Ângulo horário central ($^{\circ}$).
Δe	Déficit de pressão de vapor d'água (hPA).

RESUMO

AGUIAR, Leonardo José Gonçalves, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2007. **Balço de radiação em áreas de floresta e de pastagem em Rondônia.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Co-Orientadores: Antônio Carlos Lola da Costa e Williams Pinto Marques Ferreira.

O presente trabalho teve como objetivo analisar as variações diárias e sazonais de todos os componentes do balanço de radiação além da radiação fotossinteticamente ativa em um sítio de floresta e um de pastagem em Rondônia. Também foram testados vários modelos de estimativa da radiação de onda longa atmosférica em ambos os sítios experimentais. Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados de irradiância solar global (S_{in}) e irradiância solar refletida (S_{out}), radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}), radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) e emitida pela superfície (L_{out}), saldo de radiação (R_{net}), precipitação (P), temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR), medidos continuamente no período de junho de 2005 a maio de 2006 em dois sítios experimentais pertencentes à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA, no Estado de Rondônia. A área de pastagem está localizada na Fazenda Nossa Senhora (FNS) ($10^{\circ}45' S$; $62^{\circ}21' W$), com uma altitude em torno de 293 metros, e a de floresta na Reserva Biológica do Jarú (JAR) ($10^{\circ}4' S$; $61^{\circ}55' W$). A altitude da área de floresta varia entre 120 e 150 metros. As estimativas da L_{in} , em base horária, foram feitas através das

equações de Brunt (1932), Swinbank (1963), Idso e Jackson (1969), Brutsaert (1975), Satterlund (1979), Idso (1981) e Prata (1996). A variação sazonal dos componentes do balanço de radiação, especialmente, a irradiância solar global, a irradiância solar refletida e o saldo de radiação foi bem caracterizada em ambos os sítios experimentais. O aumento do albedo entre a floresta e a pastagem foi em média de 79,5%, o que contribuiu para a maior redução do saldo de radiação entre esses dois tipos de cobertura vegetal. A redução do saldo de radiação na pastagem em relação à floresta foi de 19%. A fração entre a radiação fotossinteticamente ativa e a irradiância solar global apresentou pequena variação sazonal. Em média essa fração foi de 0,46 na pastagem e de 0,44 na floresta. As estimativas da radiação de onda longa atmosférica foram satisfatórias em ambos os sítios experimentais apenas durante a estação seca. As equações que levam em consideração a pressão do vapor d'água e a temperatura do ar tiveram melhor desempenho do que as que utilizam apenas a temperatura do ar, como é o caso das equações de Swinbank (1963) e Idso e Jackson (1969). Os modelos de Idso (1981), Brunt (1932) e Brutsaert (1975) foram os que apresentaram melhor desempenho.

ABSTRACT

AGUIAR, Leonardo José Gonçalves, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2007. **Radiation balance in areas of forest and pasture in Rondonia.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Co-Advisers: Antônio Carlos Lola da Costa and Williams Pinto Marques Ferreira.

The present work objective to analyze the daily and sazonal variations of radiation balance components including photosynthetic active radiation at forest and pasture sites in Rondonia. Several models estimated atmospheric long wave radiation tested at both experimental sites. For accomplishment of this work, were used data from solar global radiation (S_{in}) and reflected solar radiation (S_{out}), incident photosynthetic active radiation (PAR_{in}) and reflected (PAR_{out}), atmospheric long wave radiation (L_{in}) and emitted by surface (L_{out}), radiation balance (R_{net}), precipitation (P), air temperature (T) and air relative humidity (UR), measured continually since June, 2005 to May, 2006 in two experimental sites at The Large Scale Atmosphere-Biosphere Experiment in Amazônia – LBA, Rondônia State. The pasture area is located at Fazenda Nossa Senhora (FNS) ($10^{\circ}45' S$; $62^{\circ}21' W$), with 293 meters altitude, and the forest area at Reserva Biológica do Jaru (JAR) ($10^{\circ}4' S$; $61^{\circ}55' W$). The altitude of forest area varies between 120 and 150 meters. The L_{in} estimates, in hourly base, were done through of Brunt (1932), Swinbank (1963), Idso and Jackson (1969), Brutsaert (1975), Satterlund (1979), Idso (1981) and Prata (1996) equations. The seasonal variation of radiation balance components, especially,

solar global radiation, reflected solar radiation and net radiation was well characterized at both experimental sites. The albedo increase between forest and pasture was of 79,5%, that contributes to largest reduction of radiation balance among those two types of vegetable covering. The reduction of net radiation in pasture in relation to forest was 19%. The fraction among photosynthetic active radiation and solar global radiation presented small seasonal variation, 0,46 at pasture and 0,44 at forest (medium values). Atmospheric long wave radiation estimations were satisfactory in both experimental sites only during the dry season. The equations considering the water vapor pressure and the air temperature had better performance than the ones that use the air temperature, as Swinbank (1963) and Idso and Jackson (1969) equations. The Idso (1981), Brunt (1932) and Brutsaert (1975) models were the ones that presented better performance.

1. INTRODUÇÃO

Vários trabalhos já foram realizados sobre o balanço de radiação em áreas de floresta e de pastagem na Região Amazônica (Bastable et al., 1993; Ribeiro, 1994; Culf et al., 1996; Reschke, 1996). Todavia, com o contínuo aumento da área desmatada na Amazônia Legal que, segundo o INPE (2007), no ano de 2003 chegou a 653 mil km², correspondendo a 16,3% da área total, faz-se necessário a continuidade de estudos dessa natureza para se avaliar as alterações nas características radiativas daquela região, devido ao desmatamento e suas conseqüências nos processos biológicos, hidrológicos e biogeoquímicos.

O Estado de Rondônia tem recebido uma atenção especial dos pesquisadores devido às elevadas taxas de desmatamento, aproximadamente 2,58 mil km² ano⁻¹, colocando-se em terceiro lugar no *ranking* do desmatamento de 1988 a 2005, sendo superado apenas pelos Estados do Mato Grosso (6,78 mil km² ano⁻¹) e do Pará (5,74 mil km² ano⁻¹) (INPE, 2007).

Uma das alterações mais evidentes, resultantes do desmatamento está relacionada ao albedo. Segundo Ribeiro (1994), os valores médios do albedo na estação seca, em área de floresta e de pastagem em Marabá-PA foram 14% e 18%, respectivamente. Na estação chuvosa, o mesmo autor constatou um valor médio de albedo de 13,4% na floresta e 17,4% na pastagem.

A maioria dos estudos experimentais sobre albedo de florestas e pastagem na Região Amazônica refere-se à radiação solar global, sendo escassos os estudos sobre a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a sua refletividade. Leitão et al. (2002) estimou coeficientes de refletividade relativos

à radiação solar global, radiação solar na faixa do infravermelho e radiação fotossinteticamente ativa, em três ecossistemas da Floresta Amazônica (campina, campinarana e mata densa), encontrando valores entre 10,4% e 11,3% para a refletividade da radiação solar global, de 1,4% a 2% para a refletividade da radiação fotossinteticamente ativa, e de 20,2% a 22% para a refletividade da radiação solar infravermelha. Bastable et al. (1993), Fisch et al. (1994), Culf et al. (1996) e Moura et al. (1999) realizaram estudos sobre o albedo da radiação solar global em áreas de pastagem na Amazônia e obtiveram resultados com variação de 16% a 20%.

Estudos relacionados com simulações de substituição de floresta por pastagem na Região Amazônica têm sido realizados por vários pesquisadores, tais como: Gash e Shuttleworth, 1991; Nobre et al., 1991; Salati e Nobre, 1991; Henderson-Sellers et al., 1993; Manzi e Planton, 1996. Todos esses estudos destacam os efeitos consideráveis nos balanços de radiação e de energia na substituição, em larga escala, da floresta por pastagem.

Os trabalhos sobre balanço de radiação na região Amazônica caracterizam-se geralmente por muitas medições sobre saldo de radiação e radiação solar global, porém pouca atenção tem sido dada às medições das componentes do balanço de radiação de ondas longas. Apesar da “importância secundária” desses componentes justifica-se quantificar a sua contribuição no balanço de radiação, especialmente em áreas de elevadas taxas de desmatamento.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram:

- Analisar as variações diárias e sazonais do saldo de radiação, albedo, irradiância solar global, irradiância solar refletida, radiação de onda longa atmosférica e radiação de onda longa emitida pela superfície, além da radiação fotossinteticamente ativa sobre floresta e pastagem;
- Avaliar o desempenho de modelos empíricos que estimam a radiação de onda longa atmosférica em áreas de floresta e pastagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Amazônia Legal

A Floresta Amazônica é a maior floresta tropical do planeta, abrigando uma grande diversidade de flora e fauna, medindo aproximadamente 6,3 milhões de quilômetros quadrados. A maior parte da área da Região Amazônica, cerca de 60%, está concentrada no Brasil. Esta parcela é denominada Amazônia Legal (Figura 1), englobando os estados da macroregião Norte (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), Mato Grosso (macroregião Centro-Oeste) e parte do Maranhão, a oeste do meridiano 44° (macroregião Nordeste), correspondendo a aproximadamente 59% do território brasileiro.



Figura 1. Amazônia Legal.
Fonte: IBGE (1997).

Segundo Lentini et al. (2003), a cobertura vegetal da Amazônia Legal é constituída principalmente de floresta (cerca de 64%) enquanto os cerrados e campos representam 24%, e cerca de 12% da Amazônia está alterada pela ação antrópica, devido ao desmatamento. Tuomisto et al. (1995) observaram que embora superficialmente as florestas úmidas pareçam muito similares por toda a Amazônia, a região consiste de muitas subregiões climáticas distintas, e muitos estudos enfatizam a alta variabilidade espacial na fisionomia e composição das espécies.

Apesar da crescente conscientização nos últimos anos sobre a necessidade de preservar a floresta amazônica, as taxas de desmatamento continuam crescentes. Nas Figuras 2 e 3 encontram-se as taxas de desmatamento da Amazônia Legal e do Estado de Rondônia, respectivamente, no período de 1988 a 2005, segundo dados fornecidos pelo INPE (2007).

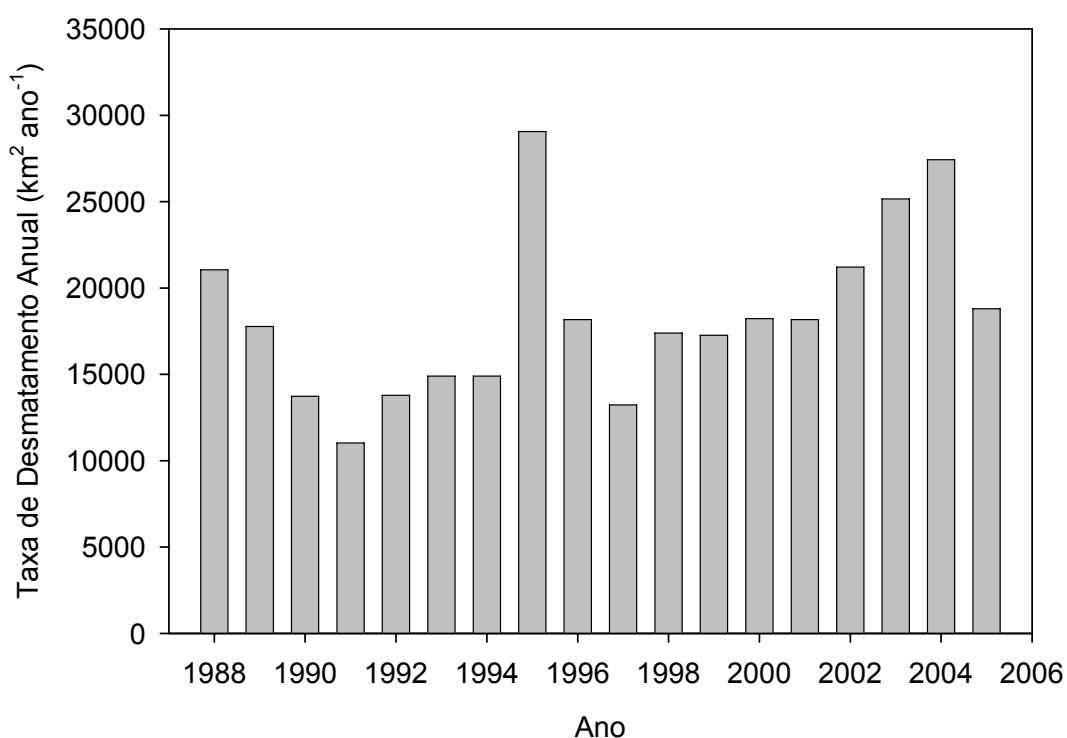


Figura 2. Taxa de desmatamento anual (km² ano⁻¹) da Amazônia Legal.

Os Estados com maiores taxas de desmatamento, no período de 1988 a 2005, foram Mato Grosso (6,78 mil km² ano⁻¹), Pará (5,74 mil km² ano⁻¹) e Rondônia (2,58 mil km² ano⁻¹). Em 2004 estes Estados foram responsáveis por cerca de 88% do desmatamento da Amazônia Legal, sendo que o Estado de Rondônia contribuiu com aproximadamente 14% deste desmatamento (INPE, 2007). As oscilações nas taxas de desmatamento expressam, dentre outros fatores, a atuação da política governamental na Região.

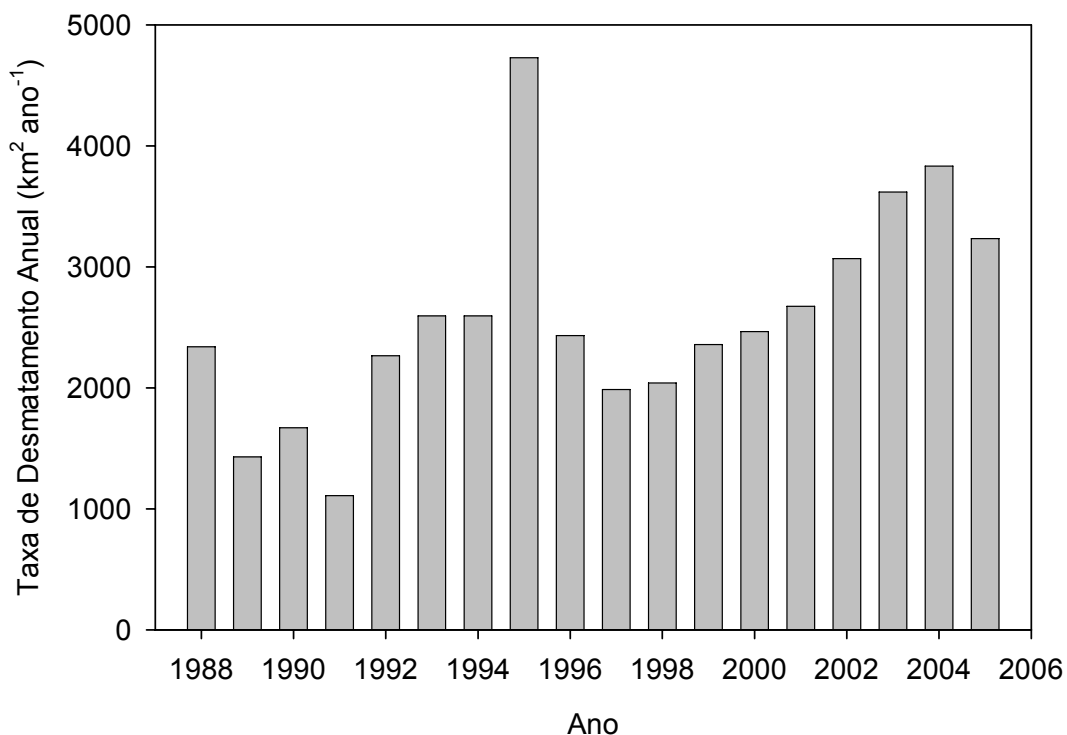


Figura 3. Taxa de desmatamento anual (km² ano⁻¹) do Estado de Rondônia.

2.2. Balanço de radiação

O balanço de radiação de uma superfície é determinado por suas características, como o tipo de cobertura vegetal, albedo, umidade e temperatura do solo, dentre outras.

Estudos envolvendo a radiação solar são importantes por esta ser a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos que ocorrem na biosfera e, em particular na floresta, sendo de fundamental importância para os processos de fotossíntese, de aquecimento e evapotranspiração (Feitosa et al., 1998). Quando a radiação solar incide sobre uma superfície vegetada, parte dela é absorvida pelo dossel, e eventualmente pelo solo, parte é refletida de volta à atmosfera, e uma terceira parte é transportada para a atmosfera através dos processos energéticos de trocas turbulentas que envolvem o dossel e a atmosfera (Correia, 2000). O saldo de radiação é o resultado do balanço entre os fluxos radiativos de onda curta e onda longa, ou seja, a irradiância solar global menos a irradiância solar refletida, e a radiação de onda longa atmosférica menos a radiação de onda longa emitida pela superfície da Terra.

A maior parte das recentes pesquisas de microclima na Amazônia concentra-se nas áreas de mata densa e locais de clareira (Bastable et al., 1993; Ribeiro, 1994; Culf et al., 1996; Feitosa, 1996; Reschke, 1996; Feitosa et al., 1998) objetivando principalmente associar desmatamento e queimadas, com possíveis impactos no clima, causados pelas modificações nos balanços de radiação e de energia.

Simulações climáticas com a substituição de floresta por pastagem na Região Amazônica têm sido realizados por vários pesquisadores (Gash e Shuttleworth, 1991; Nobre et al., 1991; Salati e Nobre, 1991; Henderson-Sellers et al., 1993; Manzi e Planton, 1996, Lean e Rowntree, 1997; Costa e Foley, 2000; Kleidon e Heinmann, 2000; Voldoire e Royer, 2004; Correia et al., 2006). Todos esses estudos destacam efeitos consideráveis nos balanços de radiação e de energia na substituição em larga escala da floresta por pastagem.

Resultados encontrados por Nobre et al. (1991) mostram uma redução no saldo de radiação de aproximadamente 15%, devido à substituição de floresta por pastagem. Manzi e Planton (1996) afirmam que esse decréscimo no saldo de radiação afeta diretamente as trocas de energia e massa no sistema solo-planta-atmosfera. Nobre et al. (1991) constataram uma diminuição na evapotranspiração de 30%, um decréscimo de 20 a 30% na precipitação, e um aumento de 1 a 3 °C na temperatura do ar. Correia et al. (2006) relatam que, embora havendo redução na precipitação quando toda a floresta Amazônica é substituída por pastagem, a distribuição não foi homogênea, apresentando diminuição na parte leste da bacia e aumento na parte oeste.

Um agravante para a diminuição da precipitação, além do menor saldo de radiação disponível na pastagem, é o aumento dos Núcleos de Condensação de Nuvens (NCN) provenientes de queimadas na Região Amazônica. Os NCN fazem parte dos aerossóis atmosféricos sendo aqueles sobre os quais se formam as gotículas de água nas nuvens que eventualmente adquirem tamanho suficiente para cair como chuva. Quanto mais poluída a atmosfera, maior a concentração de aerossóis como um todo e também maior a concentração de partículas de NCN, gerando gotas de chuva pequenas, que tendem a ficar em suspensão no ar (Silva Dias et al., 2005).

Yamasoe (1999) relata que na estação chuvosa, em que predominam as emissões naturais antrópicas de aerossóis, a concentração em termos de

número é da ordem de 100 a 300 partículas.cm⁻³, enquanto que na estação seca, devido as emissões de queimadas, o número de partículas de aerossóis sobe para 15.000 a 30.000 partículas.cm⁻³. Essas partículas têm um tamanho da ordem do comprimento de onda da luz visível, o que as torna eficientes espalhadores de radiação solar, podendo afetar de modo significativo o balanço de radiação atmosférico (Haywood e Boucher, 2000). Isto pode acarretar uma diminuição de até 70% do fluxo fotossintético (radiação fotossinteticamente ativa – PAR). Não obstante, essa espessa coluna de aerossóis também aumenta a fração de radiação difusa na atmosfera, aumentando a penetração da radiação no dossel da floresta, o que ameniza em parte os efeitos da redução do fluxo direto da radiação, visto que a vegetação utiliza de modo mais eficiente a radiação difusa para a realização da fotossíntese (Artaxo et al. 2005).

Feitosa et al. (1998), estudando a influência dos aerossóis provenientes de queimadas e do vapor d'água sobre a variação média horária da radiação solar global em Rondônia, constataram que a transmitância atmosférica durante a estação seca no sítio de pastagem é menor do que no sítio de floresta, com valores de 0,58 para a pastagem e 0,66 para a área de floresta, correspondendo a uma diminuição de 2,8 MJ m⁻²dia⁻¹ de energia incidente na superfície. Para a estação chuvosa a transmitância é de 0,52 na pastagem e de 0,50 na floresta. Esses autores concluíram que os diferentes tipos de vegetação alteram as características da radiação solar global, modificando o saldo de radiação.

2.2.1. Balanço de radiação de ondas curtas

A radiação solar incidente à superfície é de fundamental importância nos processos morfológicos e fisiológicos das plantas e seu comportamento está associado às variações da latitude, altitude, declinação solar, cobertura de nuvens e turbidez atmosférica. Por outro lado a variação da radiação solar refletida está associada ao tipo de cobertura vegetal, umidade do solo, topografia e declinação solar.

A maior parte da radiação solar está contida no intervalo de 0,1 a 4 µm,

correspondendo às bandas do ultravioleta, visível e infravermelho próximo, sendo que cerca de 41% da radiação solar que chega à superfície está compreendida na banda do visível (0,4 a 0,7 μm) (Tubelis e Nascimento, 1988), variando de acordo com as condições atmosféricas.

Estudos realizados por Von Randow et al. (2004), comparando uma área de pastagem e uma de floresta em Rondônia, mostram uma diminuição de 1,6% da radiação solar incidente na área de pastagem, enquanto que a radiação solar refletida aumentou 55% para mesma área. A variação sazonal da radiação solar global em Rondônia foi analisada por Feitosa et al. (1998), tendo sido encontrado que durante a estação seca, os fluxos integrados da radiação solar global na área de floresta foram 6,5% maiores em relação à área de pastagem, enquanto que no período chuvoso os fluxos integrados foram praticamente iguais, com diferença de apenas 1%. Os autores relatam que a semelhança entre os valores da radiação solar global nas duas áreas, durante a estação chuvosa, indica que existe, aproximadamente, a mesma cobertura de nuvens nos dois sítios, ao passo que durante a estação seca, a radiação solar global na pastagem sofre maior influência da queima do pasto, provocando aumento de aerossóis na atmosfera e a conseqüente diminuição da radiação solar global à superfície.

Souza Filho (2006) estudando a variação sazonal dos componentes de radiação em uma área de floresta em Caxiuanã encontrou valores médios da radiação solar global integrada para o período chuvoso ($14,8 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e menos chuvoso ($19,3 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$), havendo um aumento de 30% da radiação solar global no período menos chuvoso. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Culf et al. (1996), porém, diferem dos encontrados por Feitosa et al. (1998), principalmente na estação chuvosa, em que o valor médio da irradiância solar global foi de $17,1 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, e na estação seca foi de $18,3 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$.

2.2.2. Balanço de radiação de ondas longas

A maior parte da radiação emitida pela Terra está compreendida no intervalo de 4 a 100 μm . A radiação de onda longa é o fluxo radiante de energia resultante da emissão dos gases atmosféricos e de superfícies líquidas e sólidas da Terra. A radiação de onda longa proveniente da atmosfera é a componente do balanço de radiação mais difícil de ser medida. Embora haja instrumentos para sua medida, esses emitem radiação em comprimentos de onda e intensidade comparáveis aos da suposta medida (Von Randow e Alvalá, 2006).

Na Amazônia praticamente não existem medidas regulares de radiação de onda longa da atmosfera, mesmo sendo esta uma variável importante no cálculo do balanço de radiação à superfície, pois representa a contribuição da atmosfera e engloba informações de nebulosidade e concentração de vapor d'água (Galvão e Fisch, 2000). A maioria dos resultados do balanço de radiação de ondas longas publicados é estimado ou obtido como resíduo a partir da equação do balanço de radiação tais como os estudos realizados por Manzi et al. (1986), André et al. (1988), Bastable et al. (1993), Ribeiro (1994), Culf et al. (1996), Feitosa (1996) e Reschke (1996), na floresta Amazônica.

Uma outra alternativa para se obter estes resultados é através de modelos empíricos e analíticos que estimam a radiação de onda longa atmosférica a partir de valores de temperatura do ar e da pressão de vapor medidos ao nível do abrigo (Prata, 1996). Uma inconveniência é que a maioria destes modelos só estimam a radiação de onda longa atmosférica em dias de céu claro. Além disso, estimativas horárias, frequentemente exigidas em modelos de balanço de energia à superfície, são mais sujeitas a erros, apresentando melhor desempenho quando se considera base diária ou média de longo prazo (Von Randow e Alvalá, 2006).

Alguns estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de avaliar o desempenho de modelos que estimam a radiação de onda longa atmosférica na Amazônia. Manzi et al. (1985) compararam os fluxos de radiação de onda longa da atmosfera, estimados a partir da equação do balanço de radiação, com aqueles obtidos a partir de equações empíricas propostas por Brunt

(1932), Swinbank (1963), Idso e Jackson (1969) e Brutsaert (1975). As equações de Brunt (1932) e Brutsaert (1975) apresentaram os melhores resultados para os períodos diurnos, enquanto que as equações de Idso e Jackson (1969) e Swinbank (1963) foram melhores para os períodos noturnos. Galvão e Fisch (2000) utilizaram as equações empíricas de Brunt (1932), Swinbank (1963), Idso e Jackson (1969), Satterlund (1979) e a equação analítica de Brutsaert (1975) para estimar a radiação de onda longa atmosférica em uma área de pastagem na Amazônia. Em geral, as equações testadas subestimaram a radiação de onda longa atmosférica medida. Segundo os autores, isto pode estar relacionado aos coeficientes utilizados nessas equações, os quais são específicos para os locais onde foram desenvolvidos, com condições ambientais diferentes das encontradas nas áreas de pastagem na Amazônia. As melhores estimativas foram obtidas pelos modelos de Swinbank (1963) e de Idso e Jackson (1969). Correia (2000) avaliando o desempenho de cinco diferentes formulações para o cálculo da radiação de onda longa atmosférica em uma área de policultivo na Amazônia Central, obteve que, de modo geral, os valores da radiação de onda longa da atmosfera foram superestimados. Usando os coeficientes locais, os melhores ajustes foram obtidos com as formulações de Swinbank, de Brunt e de Brutsaert, seguidas das formulações de Satterlund e de Idso e Jackson. E ainda, para o pantanal sul Mato-Grossense, Von Randow e Alvalá (2006) avaliando sete modelos de estimativa da radiação de onda longa atmosférica, encontraram que, de modo geral, as estimativas da radiação de onda longa atmosférica concordaram razoavelmente com os valores da radiação de onda longa atmosférica medidos. Os autores destacam a eficiência dos modelos de Brunt, de Brutsaert e de Prata após o ajuste dos coeficientes às condições locais, recomendando a utilização do modelo de Prata para estimar a radiação de onda longa atmosférica para o ano de 1999.

2.2.3. Radiação fotossinteticamente ativa

Compreendida no intervalo de 0,4 a 0,7 μm , a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é a banda da radiação solar que as plantas utilizam para realizar a fotossíntese, assimilando dióxido de carbono (CO_2) e liberando vapor d'água para atmosfera através deste processo. Para se estudar a fotossíntese de um dossel, é de fundamental importância o conhecimento da proporção da radiação PAR que é absorvida pelo dossel (Hassika e Berbigier, 1998).

A distribuição vertical da radiação PAR dentro do dossel de uma floresta conífera depende da variação sazonal do ângulo de incidência dos raios solares e do índice de área foliar (IAF) (Baldocchi et al., 1984).

Leitão (1994), estudando as componentes do balanço de radiação em três ecossistemas amazônicos: campinarana, mata densa e campina, verificou que na base do dossel da campina chega cinco vezes mais radiação de ondas curtas e infravermelha, e seis vezes mais radiação PAR, que na base do dossel de mata densa. Hassika e Berbigier (1998) estudando o ciclo anual da radiação PAR acima e dentro do dossel de uma floresta de pinus (*Pinus pinaster*), localizada no sudoeste de Bordeaux (França), nos dias próximos aos solstícios e equinócios, encontraram que em dias de céu claro, aproximadamente 65% da radiação PAR incidente foi absorvida pelas folhas, galhos e ramos, 20% foi refletida e 15% foi absorvida pela superfície.

2.2.4. Albedo

A substituição da floresta tropical por pastagem, ou mesmo por cultivos agrícolas, altera dentre as várias características da superfície, o albedo (refletividade da superfície à radiação solar). O albedo de uma superfície vegetada varia com o ângulo de elevação solar, tipo de vegetação, condições de umidade da superfície, umidade e tipo de solo, além da quantidade e do tipo de nuvens. Durante o dia, o albedo decresce com a elevação do sol, alcançando valores máximos próximo ao nascer e pôr do sol, enquanto os valores mínimos ocorrem em torno do meio dia, quando a penetração da

radiação no dossel vegetativo é maior, aumentando a absorção por espalhamentos múltiplos (Leitão et al., 2002).

A importância do albedo no balanço de radiação de ecossistemas e, conseqüentemente na energia disponível para evaporação, aquecimento do ar e do solo é bem estabelecida. A maioria dos estudos experimentais sobre albedo na Região Amazônica refere-se à irradiância solar global, sendo escassos estudos sobre albedos relativos à radiação solar infravermelha e radiação fotossinteticamente ativa. Leitão et al, (2002) estimou albedos relativos à irradiância solar global, radiação solar infravermelha e radiação fotossinteticamente ativa, em três ecossistemas da floresta Amazônica (campina, campinarana e mata densa) encontrando valores entre 10,4% e 11,3% para o albedo da irradiância solar global, de 1,4% a 2% para a refletividade da radiação fotossinteticamente ativa, e de 20,2% a 22% para a refletividade da radiação solar infravermelha. Hassika e Berbigier (1998) estudando o ciclo anual da radiação PAR acima e dentro do dossel, encontraram uma refletividade da radiação PAR acima do dossel variando de 3,5% a 7% ao longo do ano. Pesquisas sobre o albedo da irradiância solar global em áreas de pastagem na Amazônia foram feitas por Bastable et al. (1993), Fisch et al. (1994), Culf et al. (1996) e Moura et al. (1999) que obtiveram variação de 16% a 20%. Segundo Ribeiro (1994), os valores médios do albedo em área de floresta e de pastagem em Marabá foram de 14% e 18%, respectivamente, na estação seca. Na estação chuvosa o mesmo autor constatou o valor médio do albedo de 13,4% na floresta e de 17,4% na pastagem. Resultados encontrados por Culf et al. (1996) em três sítios de floresta (Ji-Paraná, Manaus e Marabá) mostram uma variação do albedo entre 12% e 19%.

Von Randow et al. (2004) relatam que a variação sazonal do albedo de uma floresta tropical é bem correlacionado com a umidade do solo, ocorrendo maiores valores do albedo quando a umidade do solo for menor. Entretanto, essa correlação não é bem visível na pastagem. Segundo Culf et. al. (1995) a pastagem não tem um ciclo sazonal regular, provavelmente, devido ao albedo medido ser uma combinação da refletância do solo gramado e sem grama.

Devido ao albedo ser maior na pastagem do que na floresta, o saldo de radiação na pastagem é menor. Manzi e Planton (1996) citam que esse

decréscimo do saldo de radiação afeta diretamente as trocas de energia e massa entre o sistema solo-planta-atmosfera, e quando associado com forte redução na transpiração e na evaporação da água interceptada devido à redução da cobertura do dossel na pastagem, provoca também uma redução na evapotranspiração. Segundo Leitão (2002), apesar do albedo ser uma importante variável no balanço de radiação e muito utilizado em modelos climáticos e agrometeorológicos, nem sempre encontra-se informações desta variável em ecossistemas que não sejam de mata densa.

Algumas tentativas vem sendo feitas no sentido de relacionar a variação de precipitação na Amazônia com o albedo. Berbet e Costa (2003), utilizando dados modelados de albedo e precipitação, realizaram uma regressão linear entre a variação da precipitação e a variação da radiação solar refletida, e encontraram um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,28.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição das áreas de estudo

O presente trabalho foi realizado em dois sítios experimentais pertencentes à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA, em Rondônia. O sítio de pastagem está situado na Fazenda Nossa Senhora (FNS) ($10^{\circ}45'S$; $62^{\circ}21'W$), próximo a Ouro Preto d'Oeste, e o sítio de floresta está localizado na Reserva Biológica do Jarú (JAR), município de Ji-Paraná ($10^{\circ}4'48'' S$; $61^{\circ}55'48'' W$) (Figura 4). As torres micrometeorológicas estão a uma distância de 80 km uma da outra.

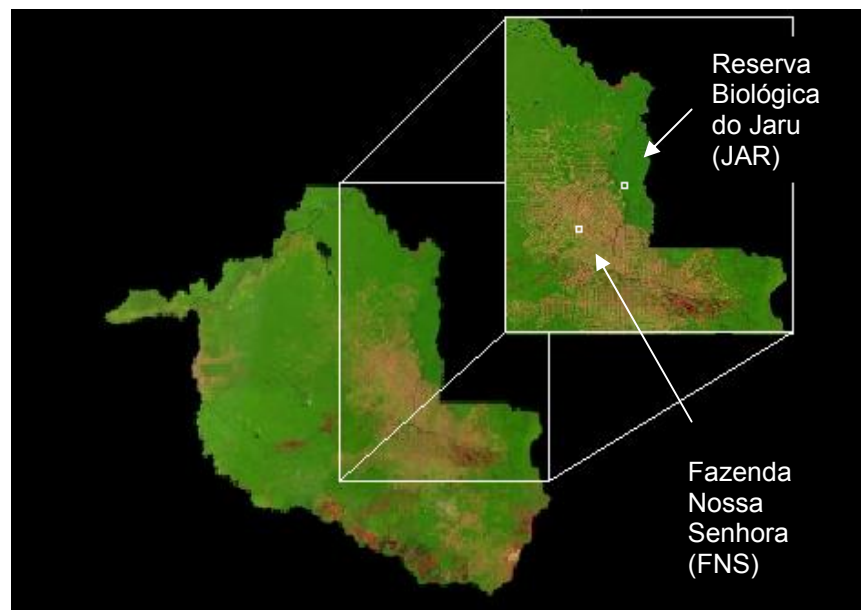


Figura 4. Localização dos sítios experimentais no Estado de Rondônia.
Fonte: Embrapa (2007).

A FNS foi desmatada há 22 anos e encontra-se no centro de uma área desmatada com aproximadamente 50 km de raio. A FNS tem como cobertura vegetal predominante a gramínea *Bracchiaria brizantha*, além de pequenas palmeiras dispersas. Seu solo foi classificado como podzólico vermelho-amarelo A (Hodnett et al., 1996). A altitude desse local é de aproximadamente 293 metros, com um “fetch” de aproximadamente 1-2 km em todas as direções (Von Randow et al., 2004).

A Reserva Biológica do Jaru possui uma área de 268000 hectares de vegetação nativa, classificada como *Floresta Ombrofila Aberta* (CULF et al., 1997). Sua vegetação é característica a de terra firme, com altura média do dossel de aproximadamente 35 m, sendo que algumas árvores emergentes podem atingir até 45 m. A altitude da área da reserva varia entre 120 e 150 m, e o solo é caracterizado como podzólico vermelho-amarelo (Hodnett et al., 1996).

3.1.1. Climatologia da região

O estudo da climatologia da região de Ji-Paraná foi realizado por Ferreira da Costa et al. (1998), utilizando dados médios mensais no período de 1982 a 1996, obtidos em uma estação meteorológica convencional localizada em Ouro Preto d'Oeste, a cerca de 50 km de ambas as torres. As estações seca e chuvosa são bem definidas, sendo a estação chuvosa compreendida entre os meses de novembro a abril, com totais mensais de precipitação acima de 200 mm.mês⁻¹. A estação seca, que se estende de maio a outubro, tem um período ainda mais seco de junho a agosto, apresentando totais mensais de precipitação abaixo de 20 mm.mês⁻¹. A precipitação média anual é de 1975 mm.ano⁻¹ (Figura 5a). A temperatura máxima do ar variou de 29 a 32 °C e a mínima de 18 a 22 °C, sendo outubro o mês mais quente e julho o mês mais frio, com temperaturas médias do ar de 25,6 e 22,7 °C, respectivamente.

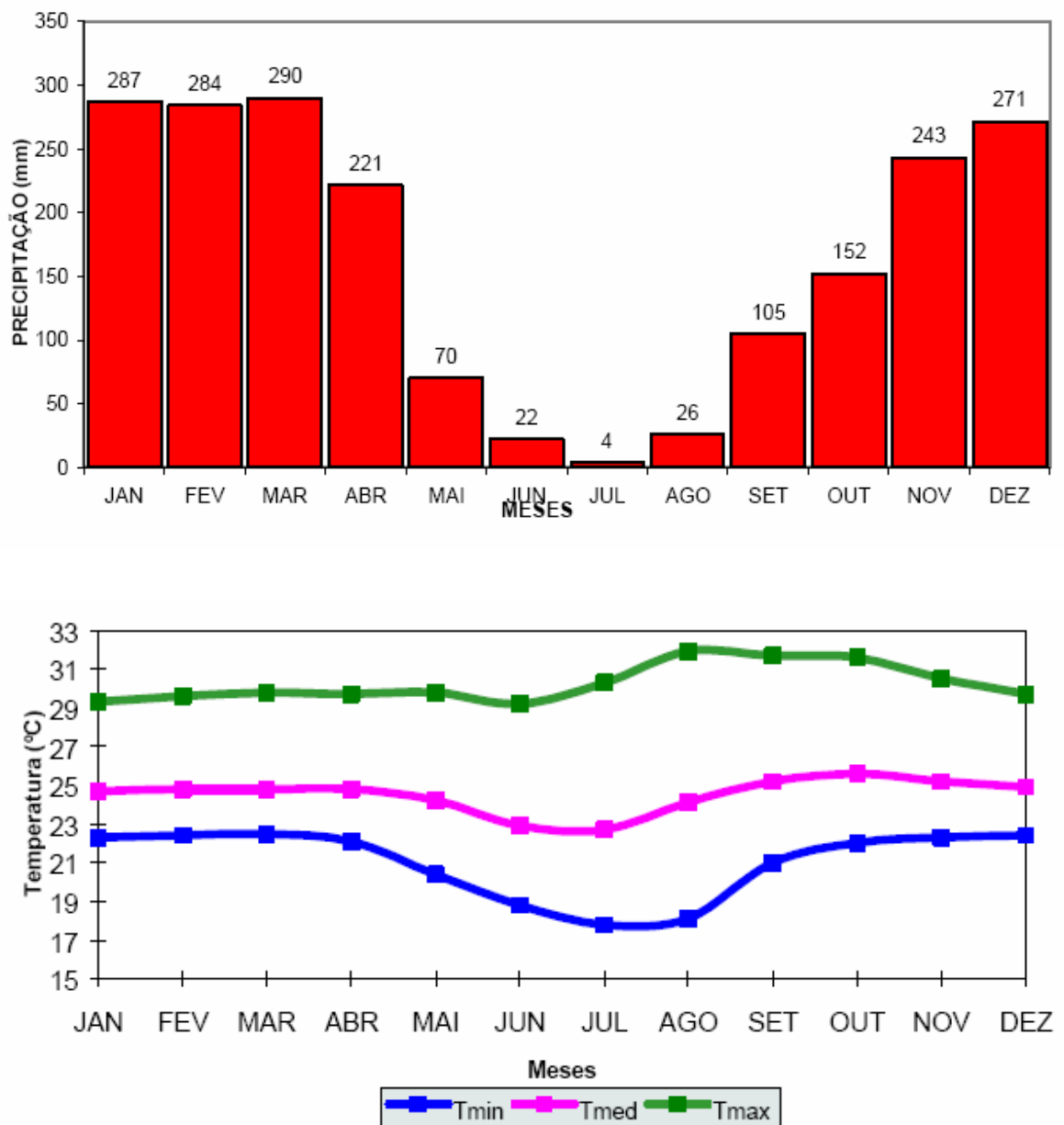


Figura 5. Distribuição anual da Precipitação (a) e Temperaturas mínima (t_{\min}), máxima (t_{\max}) e média (t_{med}) do ar para a região de Ji-Paraná, no período de 1982 a 1996, segundo Ferreira da Costa et al. (1998).

3.2. Descrição dos instrumentos e métodos

3.2.1. Dados meteorológicos e sistema de aquisição dos dados

O presente trabalho foi baseado em dados meteorológicos medidos no período de junho de 2005 a maio de 2006. Foram feitas medições contínuas de irradiância solar global (S_{in}) e irradiância solar refletida (S_{out}), radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}), radiação de onda longa incidente da atmosfera (L_{in}) e emitida pela superfície terrestre (L_{out}), saldo de radiação (R_{net}), precipitação (P), temperatura (t) e umidade relativa do ar (UR). Esses dados foram coletados em duas torres micrometeorológicas, uma com 10 m na FNS e outra com 61,5 m na JAR, com leituras realizadas em intervalos de 30 segundos, e médias a cada 10 minutos, sendo armazenados em um *datalogger* CR10X na FNS e por um *datalogger* CR23X na JAR, ambos fabricados pela Campbell Scientific Instrument, Utah, USA. Na Figura 6 são apresentados os sensores utilizados neste estudo. Os níveis em que estes sensores foram instalados encontram-se na Tabela 1.



Figura 6. Sensores utilizados no estudo: a) Conjunto de sensores de radiação no sítio de floresta; b) Pluviômetro; c) Termohigrômetro e d) Conjunto de sensores de radiação no sítio de pastagem.

Tabela 1. Variáveis meteorológicas, instrumentos e respectivas alturas de instalação dos sensores das torres micrometeorológicas localizadas na FNS e JAR.

Variável Meteorológica	Instrumento	Altura dos sensores	
		FNS	JAR
Radiação Solar Incidente e refletida	Kipp&Zonen (CM21)	6,5 m	58 m
Radiação térmica incidente e emitida	Kipp&Zonen (CG1)	6,5 m	58 m
PAR incidente e refletida	Sensor quantum LI-COR (LI-190SZ)	6,5 m	58 m
Saldo Radiômetro	Conjunto Saldo-radiômetro Kipp & Zonen	6,5 m	58 m
Umidade e Temperatura do Ar	Termohigrômetro Vaisala (HMP45D)	8,3 m	61 m
Precipitação	Pluviômetro EM ARG-100	0,5 m	61 m

3.2.2. Tratamento dos dados

O balanço de radiação à superfície sobre floresta e pastagem foi expresso pela equação 1.

$$R_{net} = (S_{in} - S_{out}) + (L_{in} - L_{out}) \quad (1)$$

em que, S_{in} é a irradiância solar global, S_{out} é a irradiância solar refletida, L_{in} é a radiação de onda longa atmosférica e L_{out} é a radiação de onda longa emitida pela superfície.

Os coeficientes de refletividade da radiação solar global (α_S) e da radiação fotossinteticamente ativa (α_{PAR}) foram obtidos a partir das seguintes equações:

$$\alpha_S = \frac{S_{out}}{S_{in}} 100 \quad (2)$$

$$\alpha_{PAR} = \frac{PAR_{out}}{PAR_{in}} 100 \quad (3)$$

3.3. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica

Os cálculos de L_{in} foram realizados a partir das equações de Brunt (1932), Swinbank (1963), Idso e Jackson (1969), Brutsaert (1975), Satterlund (1979), Idso (1981) e Prata (1996).

Brunt (1932)

$$L_{in} = [0,065(e^{0,5}) + 0,52] \sigma T^4 \quad (4)$$

Swinbank (1963)

$$L_{in} = [9 \times 10^{-6}] \sigma T^6 \quad (5)$$

Idso e Jackson (1969)

$$L_{in} = \left\{ 1 - 0,26 \exp[-7,77 \times 10^{-4} (273 - T)^2] \right\} \sigma T^4 \quad (6)$$

Brutsaert (1975)

$$L_{in} = \left[1,24 \left(\frac{e}{T} \right)^{\frac{1}{7}} \right] \sigma T^4 \quad (7)$$

Satterlund (1979)

$$L_{in} = \left\{ 1,08 \left[1 - \exp\left(-e^{\frac{T}{2016}}\right) \right] \right\} \sigma T^4 \quad (8)$$

Idso (1981)

$$L_{in} = \left[0,7 + 5,95 \times 10^{-5} \left(e \exp\left(\frac{1500}{T}\right) \right) \right] \sigma T^4 \quad (9)$$

Prata (1996)

$$L_{in} = \left\{ 1 - (1 + \xi) \exp \left[- (1,2 + 3\xi)^{0,5} \right] \right\} \sigma T^4 \quad (10)$$

em que L_{in} é a radiação de onda longa da atmosfera ($W m^{-2}$), σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,6697 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$), e a pressão de vapor d'água em milibars (mb), T a temperatura do ar (K) e $\xi = 46,5 (e/T)$

A pressão de saturação do vapor d'água (e_s , em mb), foi calculada a partir da equação de Tetens dada a seguir.

$$e_s = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{7,5t}{237,3+t} \right)} \quad (11)$$

A pressão atual do vapor d'água (e) foi calculada pela equação 12.

$$e = \frac{e_s \times UR}{100} \quad (12)$$

em que UR é a umidade relativa (%).

3.3.1. Caracterização de dias de céu claro e céu nublado

As equações propostas para estimar os componentes do balanço de radiação de onda longa foram desenvolvidas para condições de céu claro. Como não havia dados disponíveis sobre nebulosidade, foi feita a caracterização de dias de céu com poucas nuvens ou céu claro com base na razão entre a irradiância solar global e a irradiância extraterrestre (S_{in} / R_o), denominada por Souza Filho (2002) como razão de insolação modificada. Utilizando metodologia semelhante à empregada por Culf et al. (1995), Galvão e Fisch (2000) e Souza Filho (2002) com o seguinte critério: os dias, em que os valores da razão entre S_{in} e R_o foram menores que 0,35, foram considerados condições de céu nublado, e aqueles em que os valores dessa razão foi superior a 0,50, foram considerados dias com poucas nuvens ou de céu claro.

3.3.2. Estimativa da radiação solar extraterrestre

A radiação no topo da atmosfera foi estimada, em função da latitude do local, da declinação solar e do ângulo horário, segundo Vianello e Alves (1991):

$$R_o = S_o \left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2 \cos Z \quad (13)$$

onde S_o é a constante solar, definida como a irradiância solar sobre uma superfície normal aos raios solares, à distância média Terra-Sol ($S_o = 1367 \text{ W m}^{-2}$), D é a distância Terra-Sol para um determinado dia do ano, \bar{D} a distância média Terra-Sol, e $\cos(Z)$ é o cosseno do ângulo zenital. A razão entre \bar{D} e D na equação acima é o fator de correção da excentricidade da órbita da Terra, podendo ser expressa através da seguinte equação:

$$\left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos X + 0,001280 \text{sen} X + \\ + 0,000719 \cos 2X + 0,000077 \text{sen} 2X \quad (14)$$

sendo X , expresso em radianos, e dado como:

$$X = \frac{2\pi(n-1)}{365} \quad (15)$$

em que n é o número do dia do ano no calendário Juliano. O ângulo zenital (Z) é calculado através da seguinte equação:

$$\cos Z = \text{sen} \phi \text{sen} \delta + \cos \phi \cos \delta \cosh \quad (16)$$

sendo ϕ a latitude do local, δ a declinação do Sol e h o ângulo horário. A declinação solar é dada pela seguinte expressão:

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos X + 0,070257 \text{sen} X - 0,006758 \cos 2X + \\ + 0,000907 \text{sen} 2X - 0,002697 \cos 3X + 0,001480 \text{sen} 3X \quad (17)$$

O ângulo horário foi calculado pela equação abaixo:

$$h = (\text{hora} - 12)15 \quad (18)$$

em que, *hora* é a hora local. A hora local utilizado foi 12 horas.

3.3.3. Análise estatística

O desempenho dos modelos empíricos aplicados para simular a radiação de onda longa atmosférica, foi avaliado estatisticamente através da utilização do desvio médio quadrático (DMQ), do desvio médio absoluto (EMA) e do coeficiente de determinação (R^2). Estes testes estatísticos foram utilizados para descrever as correlações entre os valores estimados pelo modelo e os valores medidos.

O desvio médio quadrático (DMQ) é definido por:

$$DMQ = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \right)^{1/2} \quad (19)$$

em que, n é o número de dados da amostra e d_i é a diferença entre o valor estimado e o valor medido.

O desvio médio absoluto (EMA) é definido por:

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (20)$$

Esse teste também fornece informações sobre o desempenho do modelo. Baixos valores de EMA devem ser esperados, valores positivos indicam superestimativa no cálculo da variável e vice-versa.

O coeficiente de determinação (R^2) é definido por:

$$R^2 = \left[\frac{\left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]} \right] \quad (21)$$

em que, y refere-se aos valores estimados e x aos medidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variáveis meteorológicas

4.1.1. Precipitação

Os padrões de variabilidade da precipitação estão resumidos na Tabela 2, com os totais pluviométricos mensais acumulados para os anos de 2005 e 2006 nos sítios de floresta e de pastagem. Observa-se que a precipitação apresenta uma variação sazonal bem definida, com a estação chuvosa ocorrendo entre janeiro e março e uma estação seca nos meses de junho a agosto. Nos anos de 2005 e 2006, a precipitação acumulada na área de pastagem foi inferior aos resultados apresentados por Ferreira da Costa et. al. (1998), enquanto que na área de floresta, nos mesmos anos, a precipitação acumulada foi superior a encontrada pelos autores.

Tabela 2. Total mensal da precipitação (mm) nos sítios de Pastagem (FNS) e de Floresta (JAR), registrados nos últimos dois anos de coletas.

Meses	FNS		JAR	
	2005	2006	2005	2006
Jan	188,00	186,20	227,40	347,40
Fev	248,00	221,80	324,80	303,40
Mar	255,60	96,80 ^v	361,40	248,60
Abr	173,20	165,20 ^{vi}	87,80	110,20 ^{vii}
Mai	100,80	76,40 ⁱⁱ	70,40 ^{iv}	97,40
Jun	2,20 ^{iv}	1,80 ⁱ	4,80	2,60
Jul	0,40	5,00 ⁱ	1,40	0,00
Ago	10,00	11,40	6,20	0,40
Set	72,60	136,00	54,40	96,00
Out	183,00	144,00	70,60	155,60
Nov	132,80 ⁱⁱⁱ	198,40	6,60 ^{ix}	231,80
Dez	180,00 ^{viii}	200,20 ^{vi}	391,40	307,00 ^{iv}
Total	1546,60	1443,20	1607,20	1900,40

Dias com medidas: ⁱ 28 dias, ⁱⁱ 27 dias, ⁱⁱⁱ 25 dias, ^{iv} 23 dias, ^v 22 dias, ^{vi} 21 dias, ^{vii} 17 dias, ^{viii} 16 dias, ^{ix} 3 dias.

4.1.2. Temperatura do ar

De junho de 2005 a maio de 2006, a temperatura média do ar apresentou pequena variação sazonal, cerca de 3 °C em ambos os sítios, floresta e pastagem. A temperatura média mensal do ar foi sempre inferior na floresta do que na pastagem (Figura 7). A temperatura média do ar na floresta variou de 23 a 26 °C, enquanto na pastagem a variação foi de 24 a 27 °C. Os maiores valores da temperatura máxima do ar ocorreram nos meses de setembro, 36 °C na floresta, e em agosto na pastagem, 35 °C, enquanto os menores valores da temperatura mínima do ar foram encontrados no mês de agosto, com os valores de 15 °C na floresta e 13 °C na pastagem. A temperatura máxima do ar variou entre 32 e 36 °C na floresta e entre 32 e 35 °C na pastagem. A temperatura mínima do ar variou entre 15 °C e 22 °C na floresta e entre 13 °C e 21 °C na pastagem. Segundo Oliveira et al. (2004), a ocorrência de temperaturas mínimas neste período típico de inverno (junho até

setembro) deve-se à influência de “friagem” e também a uma maior perda radiativa à noite devido a uma menor cobertura de nuvens nesse período.

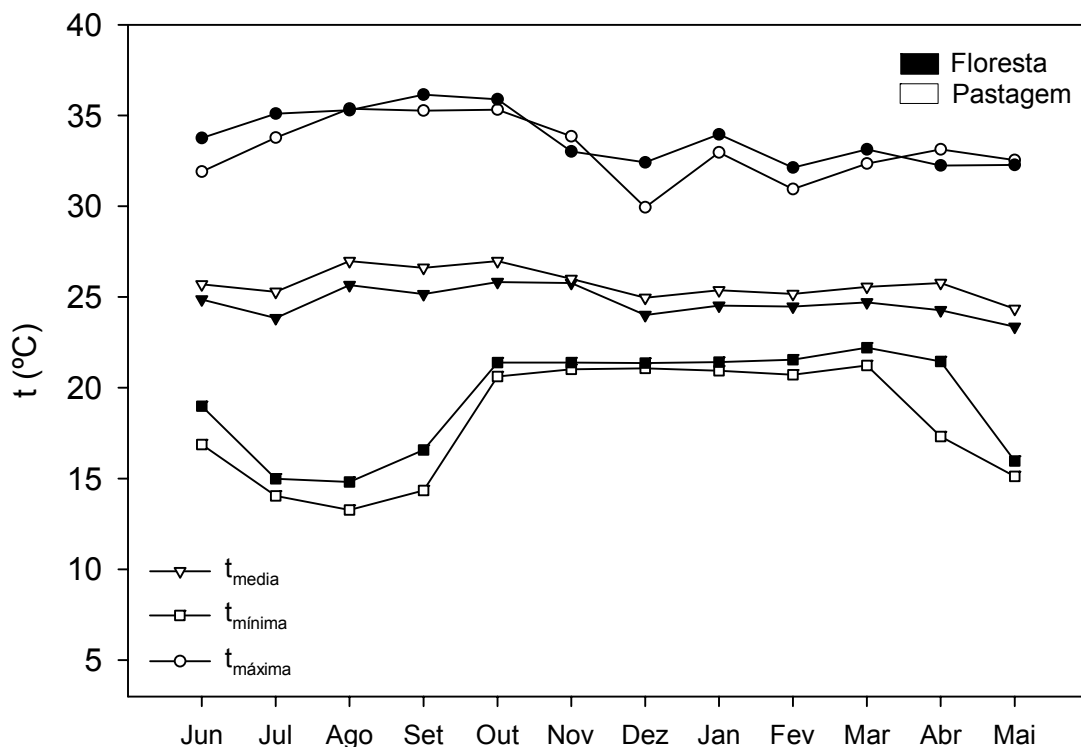


Figura 7. Valores médios mensais da temperatura do ar média, mínima e máxima para os sítios de floresta e de pastagem de junho de 2005 a maio de 2006.

O ciclo diário médio da temperatura do ar nas estações seca e chuvosa em ambos os sítios experimentais está ilustrado na Figura 8. Na estação chuvosa, a temperatura média do ar foi sempre superior no sítio de floresta. Na estação seca, os valores diurnos da temperatura do ar são semelhantes em ambos os sítios, porém, no período noturno, a temperatura do ar no sítio de pastagem é menor do que no de floresta. A amplitude térmica foi menor na estação seca, com 10 °C na floresta e 12 °C na pastagem. Na estação chuvosa, a amplitude térmica reduziu-se a aproximadamente a metade da observada na estação seca, com o mesmo valor de 5 °C em ambos os sítios.

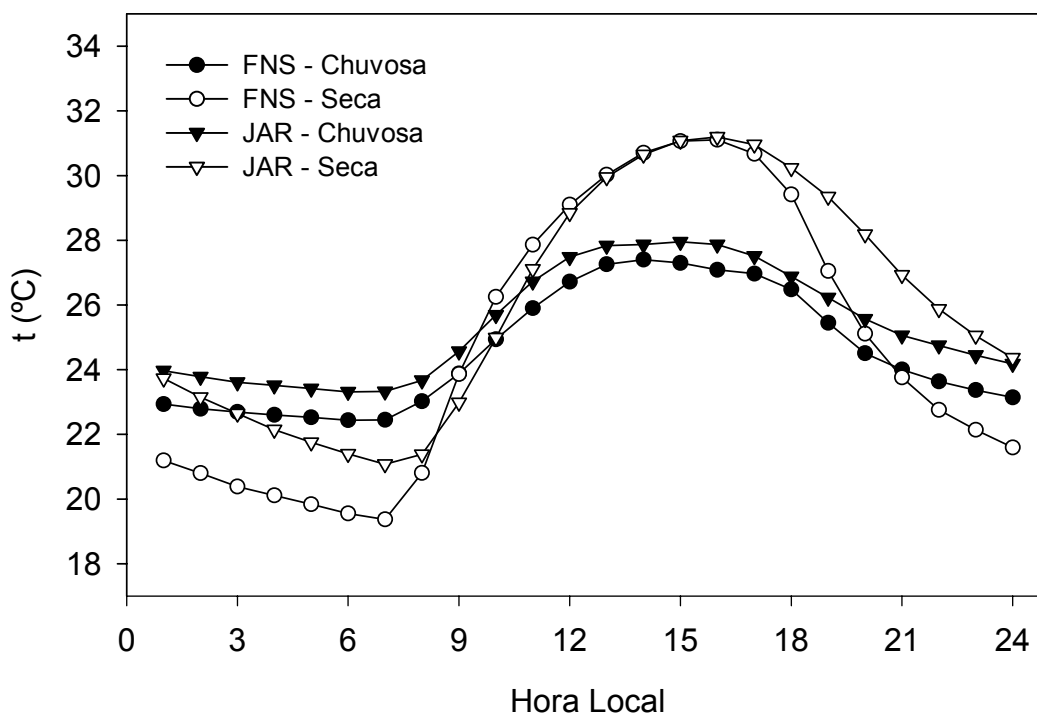


Figura 8. Ciclo diário médio da temperatura do ar nas estações chuvosa e seca para os sítios de floresta (JAR) e de pastagem (FNS).

4.1.3. Déficit de pressão de vapor d'água

A variação média mensal do déficit de pressão de vapor (Δe) nos sítios de floresta e de pastagem está apresentada na Figura 9. Conforme esperado, os maiores déficits de pressão de vapor ocorreram na estação seca. Os valores máximos do déficit de pressão de vapor ocorreram em agosto, 33,93 hPa no sítio de pastagem e 29,98 hPa no de floresta (Figura 10c). Nos meses mais secos, o déficit de pressão de vapor se manteve menor na região de floresta, indicando que a quantidade de vapor contida na região de floresta é maior do que na de pastagem para estes meses (Figura 9). Na estação chuvosa (Figuras 11b, 11c e 11d), as curvas do déficit de pressão de vapor no sítio de pastagem e no de floresta são bem próximas. As maiores diferenças entre as curvas ocorrem na estação seca (Figuras 10a, 10b e 10c).

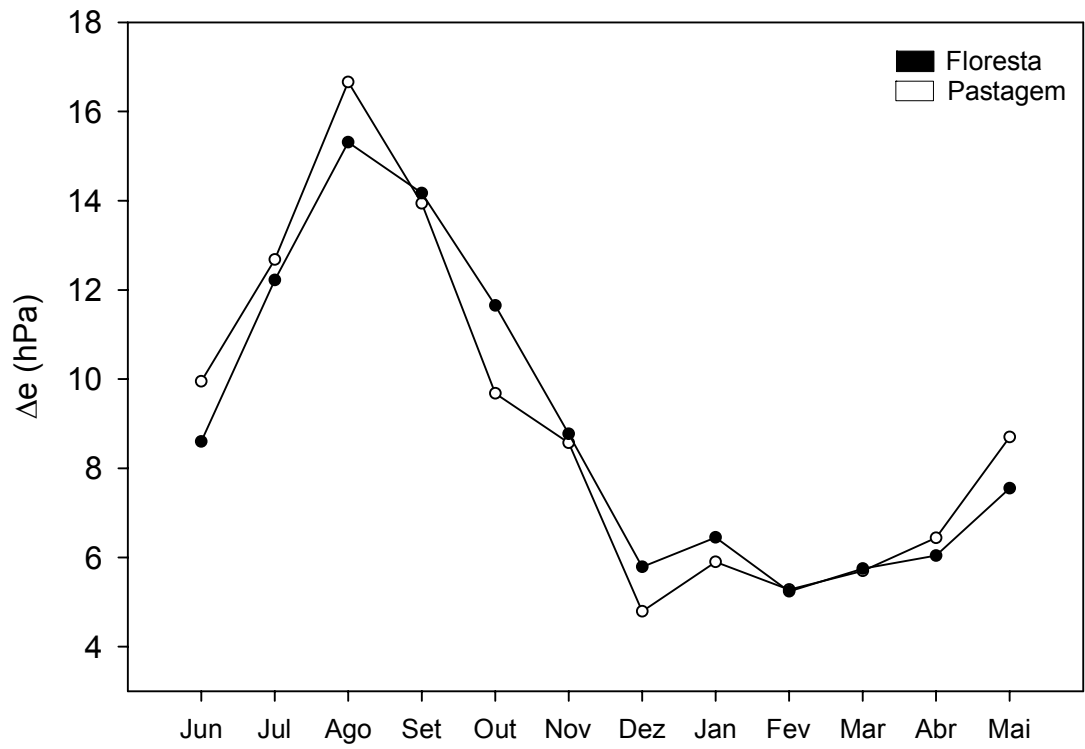


Figura 9. Valores médios mensais do déficit de pressão de vapor d'água para os sítios de floresta e de pastagem, de junho de 2005 a maio de 2006.

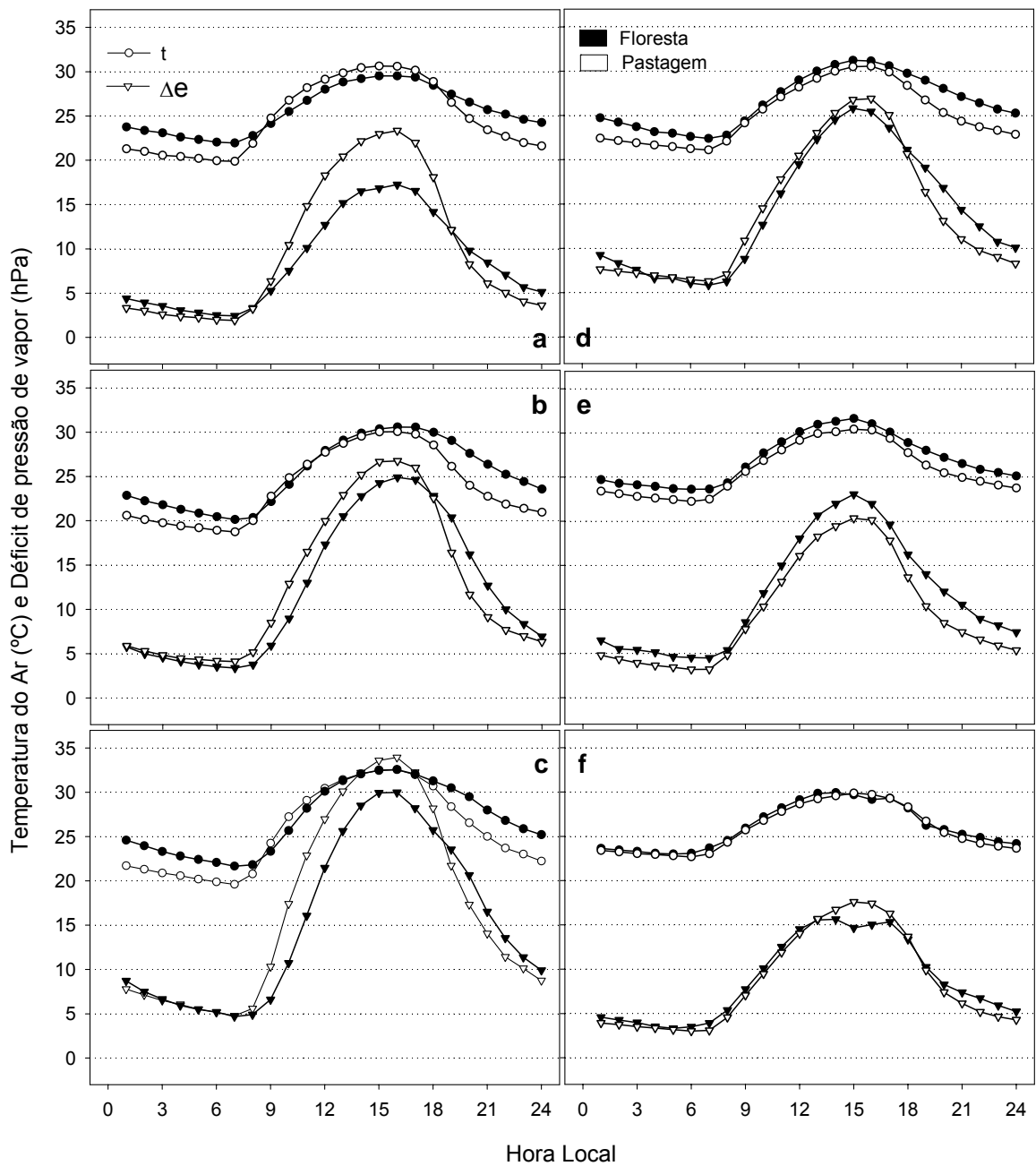


Figura 10. Ciclo diário médio da temperatura do ar (t) e déficit de pressão de vapor (Δe) nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

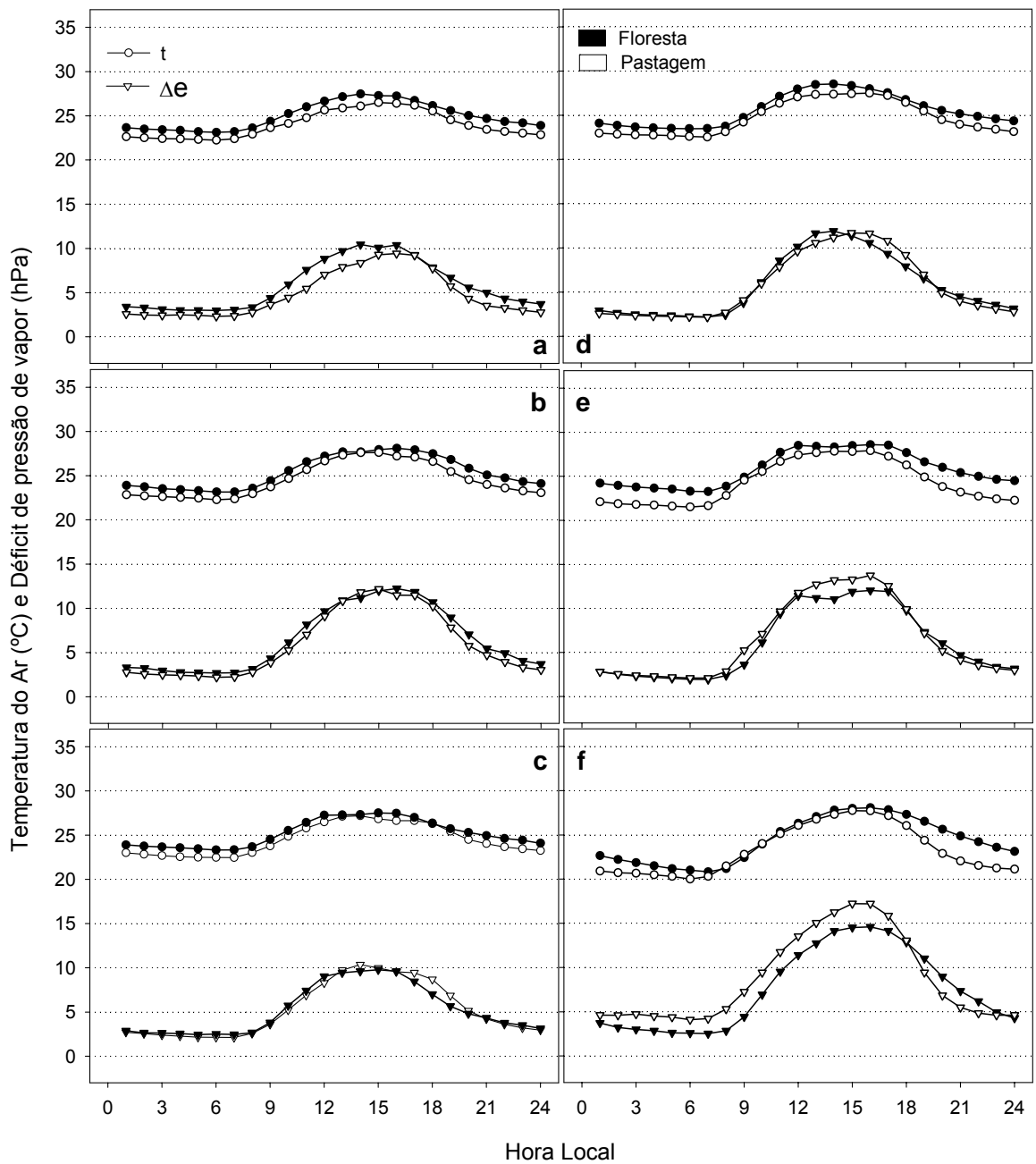


Figura 11. Ciclo diário médio da temperatura do ar (t) e déficit de pressão de vapor (Δe) nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

4.1.4. Irradiância solar global

As variações do ciclo médio diário dos componentes do balanço de radiação nos sítios de floresta e de pastagem, nos meses da estação seca e chuvosa, estão apresentados nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Na estação seca, os valores da irradiância solar global foram semelhantes em ambos os sítios, porém, na estação chuvosa observa-se uma certa diferença em torno do meio dia, nos meses de fevereiro, abril e maio. Essa diferença deve estar associada à variação de nebulosidade entre os sítios, considerando-se a distância entre eles. Essas figuras também ilustram a variação sazonal da irradiância solar global atingindo valores próximos de 800 W m^{-2} , em torno do meio dia, para os meses da estação seca e valores abaixo de 700 W m^{-2} no mesmo horário, nos meses da estação chuvosa.

A irradiância solar global diária, no sítio de pastagem, variou de $16,52 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ na estação chuvosa, a $19,07 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ na estação seca, correspondendo a uma variação de 15%. No sítio de floresta a irradiação solar global diária variou $15,92 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, na estação chuvosa, a $19,05 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, na estação seca, correspondendo ao aumento de aproximadamente 20% (Tabela 3). Resultados obtidos por Culf et al. (1996) nos mesmos sítios em 1992, mostraram uma variação de apenas 2% na irradiância solar global entre as estações seca e chuvosa em áreas de pastagem. Em contraste, as diferenças foram de até 11% no sítio de floresta. Tal discrepância está relacionada principalmente aos valores obtidos por esses pesquisadores na estação seca em ambos os sítios. Os mesmos autores justificam os valores menores da irradiância solar global em Rondônia em comparação com os respectivos sítios de pastagem e floresta em Manaus-AM e Marabá-PA, à grande quantidade de queimadas no período seco em Rondônia. A ocorrência de maiores valores da irradiância solar global diária na estação seca em relação a estação chuvosa também foram constatados nos sítios de floresta e de pastagem em Manaus-AM e Marabá-PA por Culf et al. (1996). Segundo Souza Filho et al. (2006), a irradiância solar global diária na floresta de Caxiuanã-PA aumentou 30% do período chuvoso para o período seco, enquanto na Reserva Biológica de Cuieiras em Manaus, Pereira (2001)

constatou um aumento de apenas 10%. Todos os trabalhos experimentais realizados na Região Amazônica são consistentes quanto aos maiores valores da irradiância solar global na estação seca, porém o percentual de aumento da irradiância solar global entre as duas estações é variável espacialmente estando possivelmente associado à variação de nebulosidade entre os respectivos sítios experimentais.

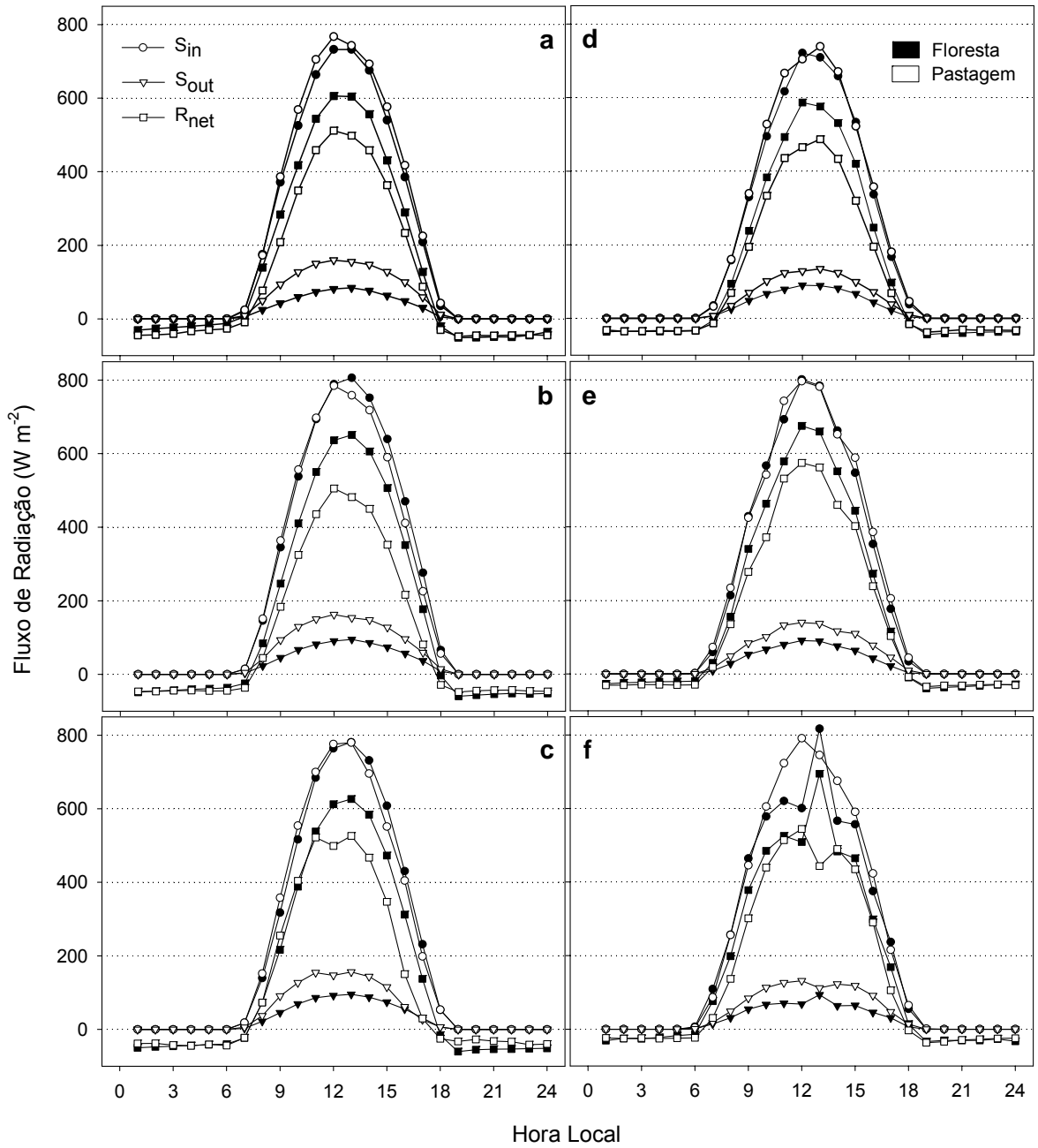


Figura 12. Ciclo diário médio da irradiância solar global (S_{in}), Irradiância solar refletida (S_{out}) e saldo de radiação (R_{net}) nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

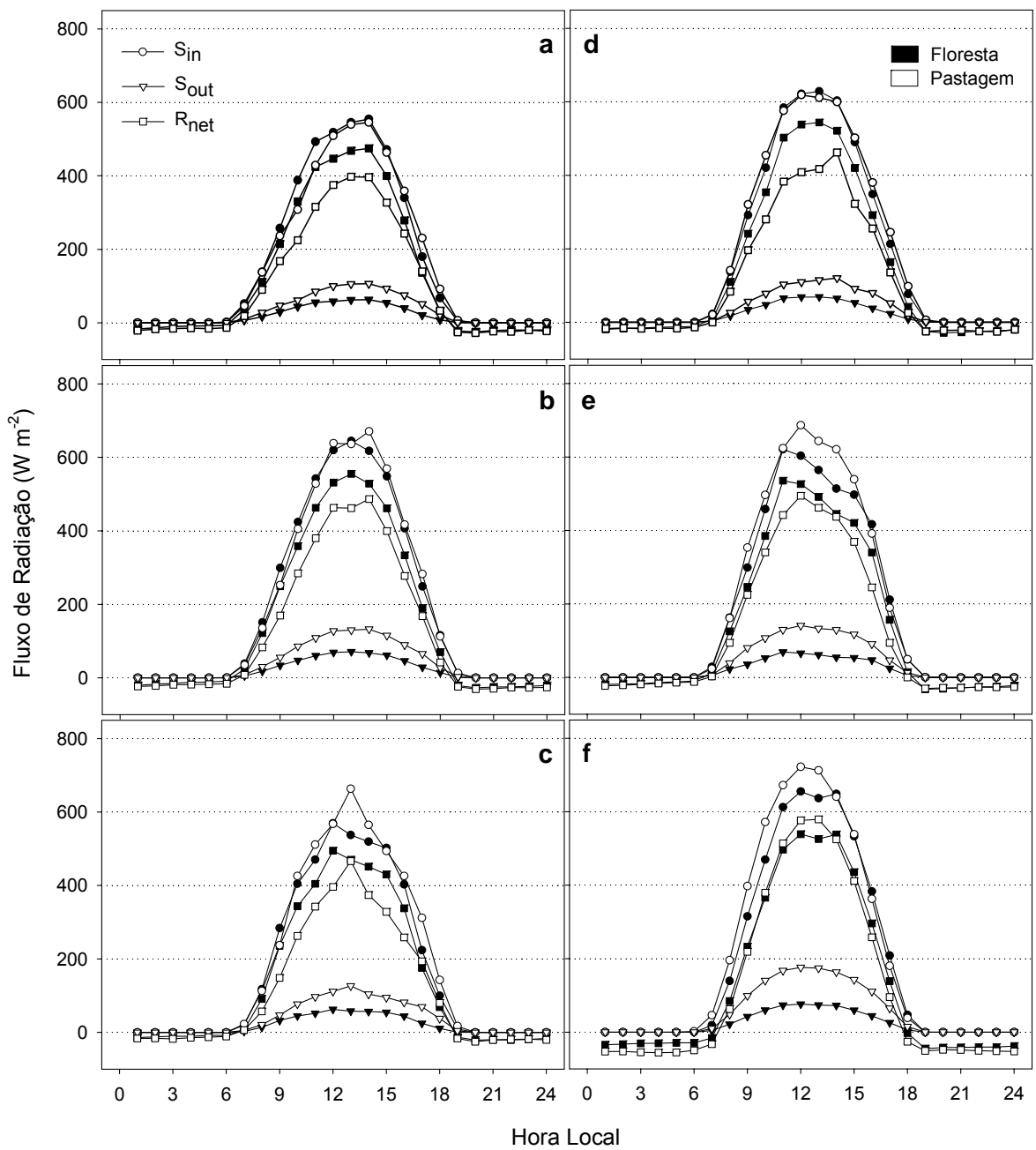


Figura 13. Ciclo diário médio da irradiância solar global (S_{in}), irradiância solar refletida (S_{out}) e saldo de radiação (R_{net}) nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

Tabela 3. Valores médios sazonais da irradiância solar global (S_{in}), irradiância solar refletida (S_{out}), radiação de onda longa atmosférica (L_{in}), radiação de onda longa emitida pela superfície (L_{out}) e saldo de radiação (R_{net}) em $MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, e albedo (%) para os sítios de floresta (JAR) e de pastagem (FNS).

FNS	$MJ\ m^{-2}dia^{-1}$		%	$MJ\ m^{-2}dia^{-1}$		
Estação	S_{in}	S_{out}	Albedo	L_{in}	L_{out}	R_{net}
Jan-Mar	16,52	3,25	19,67	36,41	38,93	10,05
Abr-Mai	17,75	4,22	23,77	34,38	37,98	10,57
Jun-Ago	19,07	4,13	21,66	32,51	38,96	9,55
Set-Dez	17,95	3,39	18,89	35,46	39,38	10,58

JAR	$MJ\ m^{-2}dia^{-1}$		%	$MJ\ m^{-2}dia^{-1}$		
Estação	S_{in}	S_{out}	Albedo	L_{in}	L_{out}	R_{net}
Jan-Mar	15,92	1,77	11,12	36,87	38,43	12,60
Abr-Mai	16,36	1,90	11,61	35,58	38,08	11,96
Jun-Ago	19,05	2,31	12,13	33,95	38,07	12,62
Set-Dez	17,44	2,08	11,93	36,10	38,62	12,84

FNS	17,84	3,68	21,00	34,78	38,93	10,19
JAR	17,28	2,03	11,70	35,67	38,34	12,58
(FNS-JAR)/JAR (%)	+3,21	+80,98	+79,50	-2,49	+1,53	-19,0

4.1.5. Irradiância solar refletida e albedo

A variação média horária da irradiância solar refletida em ambos os sítios experimentais nos meses da estação seca e chuvosa está apresentada nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Conforme era esperado, a tendência de variação da irradiância solar refletida é semelhante na pastagem e na floresta, com valores máximos ocorrendo em torno do meio dia, acompanhando a variação das respectivas irradiâncias solar global. A irradiância solar refletida da pastagem é sistematicamente superior a da floresta, tanto na estação seca como na chuvosa, resultado que também é confirmado em vários trabalhos experimentais. A irradiância solar refletida média integrada das 6:00 às 18:00 horas está apresentado na Tabela 3 para os meses representativos das

estações. Os valores durante a estação seca prevaleceram sobre os valores na estação chuvosa para a pastagem e para a floresta. No sítio de pastagem a irradiância solar refletida variou de $3,25 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ na estação chuvosa, para $4,13 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ na estação seca, enquanto no sítio de floresta a variação foi de $1,77 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ na estação chuvosa, para $2,31 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ na estação seca. Resultados obtidos nesses mesmos sítios há 15 anos atrás por Culf et al. (1996) apresentaram valores de irradiância solar refletida um pouco menores em relação aos encontrados no presente trabalho. Segundo o autor a irradiância solar refletida no sítio de pastagem variou de $2,95 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (estação chuvosa) a $3,38 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (estação seca) enquanto no sítio de floresta a variação foi de $2,04 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ na estação chuvosa a $2,38 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ na estação seca.

A forma mais usual de se analisar as variações da irradiância solar refletida é em termos do albedo, o qual expressa a fração da radiação solar incidente refletida pela respectiva cobertura vegetal. A variação média horária do albedo em ambos os sítios de floresta e pastagem nos meses da estação seca e chuvosa estão apresentados nas Figuras 14 e 15, respectivamente. Uma característica que tem sido observado em trabalhos anteriores sobre o ciclo diário do albedo e confirmado no trabalho atual refere-se à ocorrência de valores maiores do albedo no início da manhã e um decréscimo no fim da tarde, sendo que o mínimo ocorre em torno de 13:00 e 14:00 horas. Segundo Giambelluca et al. (1997), os elevados valores do albedo pela manhã podem estar relacionados com a formação de orvalho nas folhas aumentando a refletividade, além do predomínio de radiação solar direta devido a condições de céu claro mais freqüentes ao amanhecer, enquanto o decréscimo do albedo no fim da tarde está associado ao predomínio da radiação difusa devido ao aumento da nebulosidade. O albedo no sítio de floresta variou de 11,02% em fevereiro (mês típico da estação chuvosa) a 12,64% em agosto (mês típico da estação seca) enquanto no sítio de pastagem a variação foi de 18,6% em outubro a 25,8% em maio. Comparando-se com os três meses representativos de cada estação, o albedo médio na pastagem variou de 19,67% na estação chuvosa para 21,66% na estação seca, enquanto o albedo na floresta variou de 11,12% na estação chuvosa para 12,13% na estação seca.

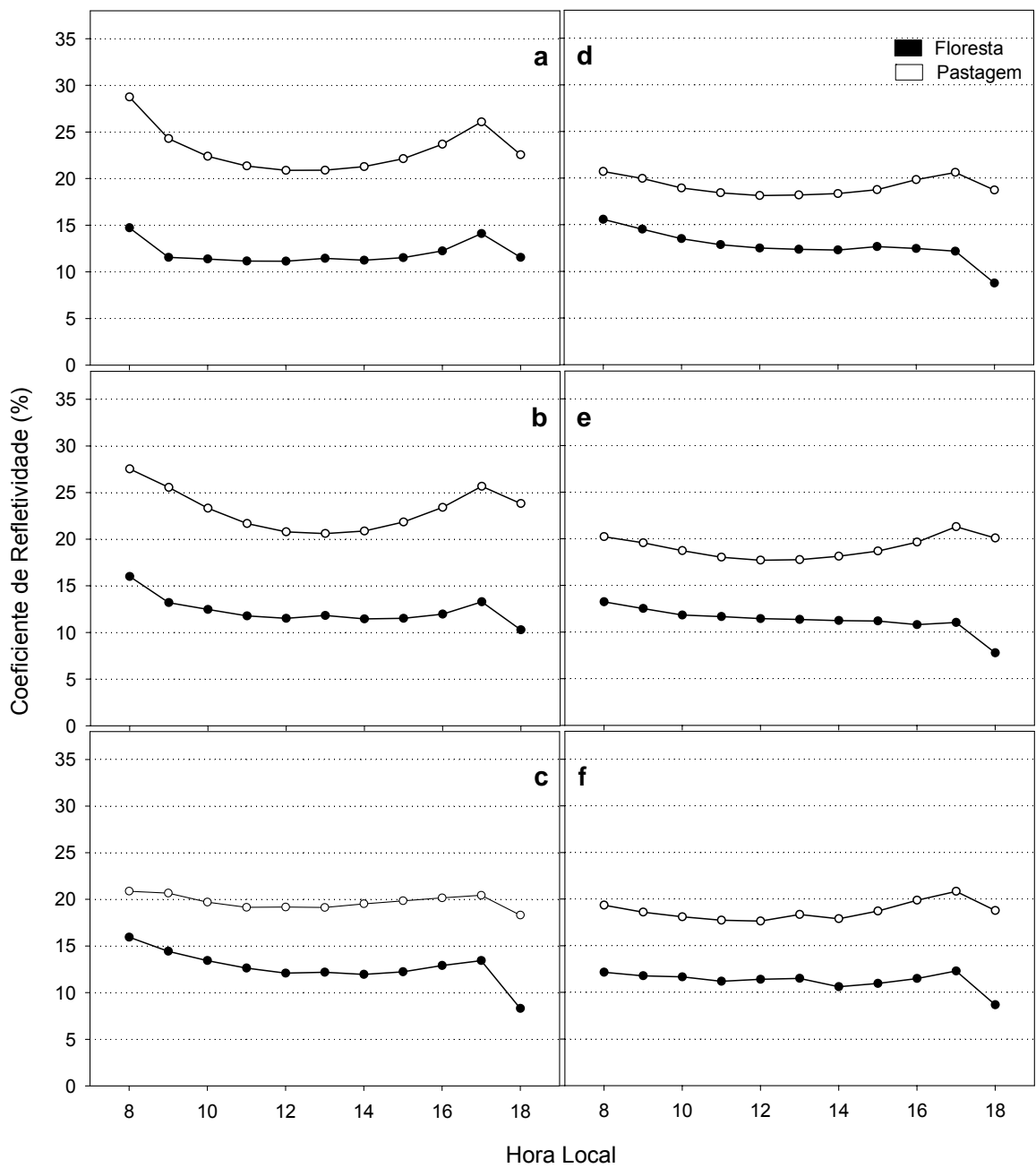


Figura 14. Ciclo diário médio do albedo nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

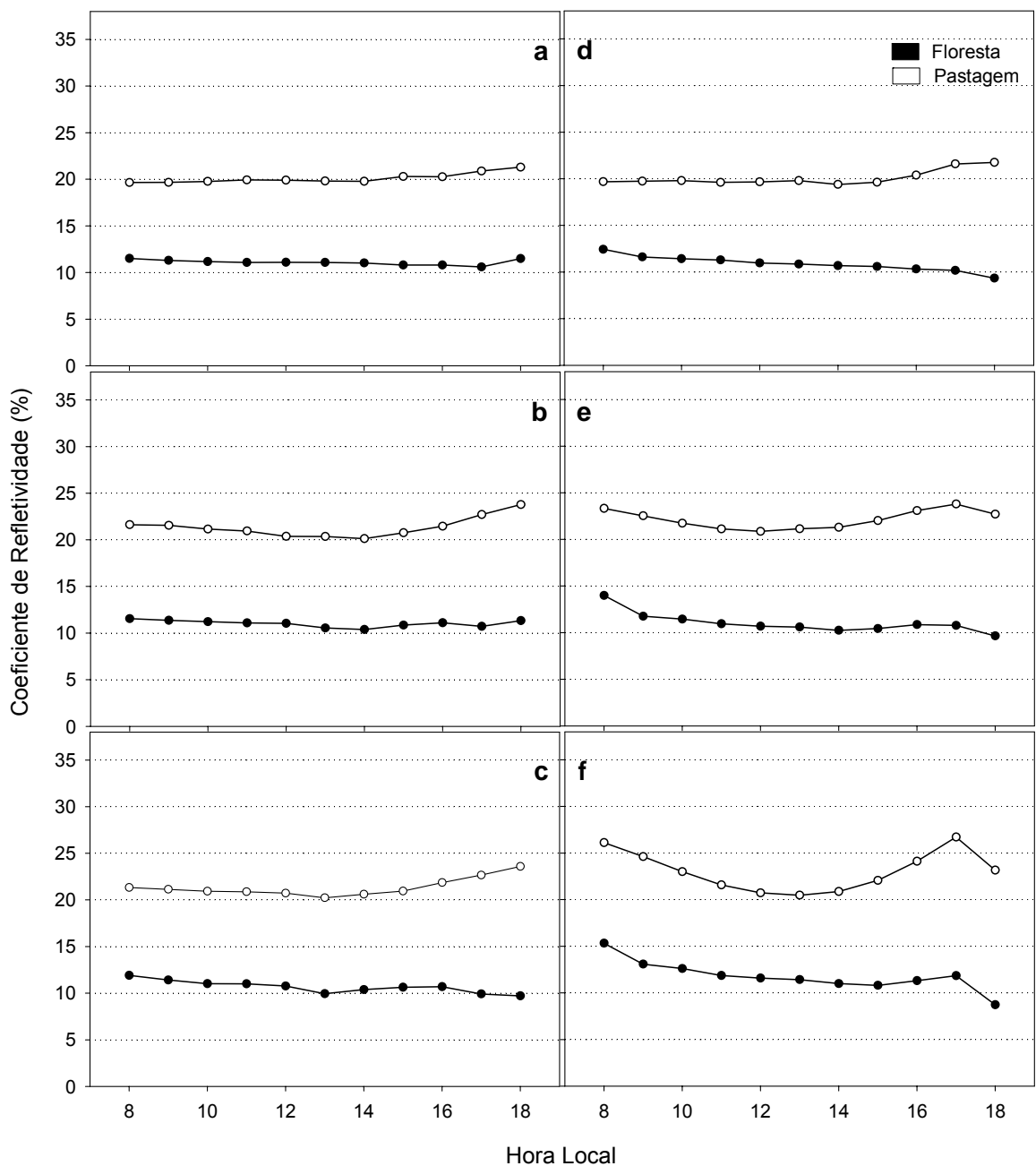


Figura 15. Ciclo diário médio do albedo nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

A variação sazonal do albedo tem sido constatada na maioria dos trabalhos realizados em floresta e sobre pastagem. Segundo Culf et al. (1995), a sazonalidade do albedo está mais relacionada com as variações que ocorrem na umidade do solo, do que às variações na nebulosidade e no ângulo de elevação solar.

O albedo médio anual na área de pastagem foi de 21%, quase o dobro do observado em área de floresta que foi de 11,70%. Alguns trabalhos realizados sobre a variação do albedo em áreas de floresta e pastagem na Região Amazônica resultaram nos seguintes valores médios: 13,4% (Culf et al., 1995), 12,25% (Shuttleworth et al., 1984), 13,1% (Bastable et al., 1993) enquanto trabalhos com pastagens na Região Amazônica apresentaram como resultados os seguintes valores médios: 16,3% (Bastable et al., 1993), 19% (Fisch et al., 1994), 18% (Culf et al., 1995). Embora haja alguma diferença entre os valores de albedo encontrados tanto em floresta como em pastagem, eles no entanto dão uma idéia quantitativa da redução na radiação solar global absorvida pela superfície quando a cobertura vegetal de floresta é substituída por pastagem ou culturas agrícolas.

4.1.6. Saldo de radiação

As variações médias horárias do saldo de radiação em floresta e em pastagem nos meses das estações seca e chuvosa estão apresentadas nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Observa-se que o saldo de radiação, tanto na floresta como na pastagem acompanha as variações da irradiância solar global que representa o componente de maior influência no balanço de radiação. Os totais diários médios do saldo de radiação para os meses representativos das estações estão apresentados na Tabela 3. Praticamente não houve variação sazonal no saldo de radiação. No sítio de floresta, o saldo de radiação variou de 11,38 MJ m⁻²dia⁻¹ em dezembro a 14,30 MJ m⁻²dia⁻¹ em novembro. No sítio de pastagem, o saldo de radiação variou de 8,95 MJ m⁻²dia⁻¹ em dezembro, para 12,24 MJ m⁻²dia⁻¹ em novembro. Os valores médios dos totais diários do saldo de radiação durante o período de 12 meses analisado sobre a floresta foi de 12,58 MJ m⁻²dia⁻¹ e sobre a pastagem foi de 10,19 MJ m⁻²dia⁻¹, correspondendo a uma redução de 19% no saldo de radiação em relação à floresta. Trabalhos experimentais anteriores relacionados com a comparação do saldo de radiação em florestas e pastagens na Região Amazônica também constataram redução do saldo de radiação na pastagem, porém, bem menor, em torno de 11,1 % em relação ao de floresta (Culf et al.,

1996). Todavia, quando se compara essa redução com as medições feitas no mesmo sítio, obtêm-se resultados mais próximos, em torno de 15,5% segundo Culf et al. (1996). Deve ser levado em consideração que, no trabalho realizado pelo autor nos sítios de Manaus - AM, Marabá - PA e Ji-Paraná - RO, os componentes do balanço de radiação de ondas longas foram estimados como o resíduo entre o saldo de radiação e o balanço de radiação de ondas curtas, enquanto neste trabalho todos os componentes do saldo de radiação foram medidos simultaneamente. Outro aspecto a ser considerado é que no presente trabalho foi constatado uma pequena sazonalidade do saldo de radiação tanto no sítio de pastagem como no de floresta. Todavia, Souza Filho et al. (2006) constataram uma expressiva variação sazonal do saldo de radiação na Reserva Florestal de Caxiuanã - PA, com redução de 15,3% na estação seca em relação à estação chuvosa.

4.1.7. Radiação de onda longa

A variação média dos componentes de radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) e radiação de onda longa emitida pela superfície (L_{out}) para os sítios de floresta e de pastagem nos meses da estação seca e chuvosa são apresentados nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

As médias horárias da radiação de onda longa atmosférica na floresta variaram de 429 W m^{-2} em fevereiro (estação chuvosa) a 383 W m^{-2} em julho (estação seca) enquanto na pastagem a variação foi de 424 W m^{-2} em fevereiro a 367 W m^{-2} em julho.

As médias horárias da radiação de onda longa emitida pela superfície na floresta foram maiores em outubro (estação de transição) com uma média de 452 W m^{-2} e apresentam os menores valores em julho com uma média de 435 W m^{-2} , enquanto na pastagem a variação observada foi de 472 W m^{-2} em agosto (estação seca) a 432 W m^{-2} em maio (estação de transição). Medições contínuas dos componentes do balanço de radiação de ondas longas são ainda escassas na Região Amazônica. Medições feitas sobre floresta em Manaus por Bastable et al. (1993) também constatou uma pequena variação sazonal da radiação de onda longa atmosférica tendo obtido uma variação de 418 W m^{-2}

na estação chuvosa a 411 W m^{-2} na estação seca. Souza Filho et al. (2006) obteve valores semelhantes na Reserva Florestal de Caxiuanã para a radiação de onda longa atmosférica tendo obtido uma variação de 417 W m^{-2} (estação chuvosa) a 433 W m^{-2} (estação seca). Esses mesmos autores também obtiveram resultados referentes à radiação de onda longa emitida pela superfície com variação de 339 W m^{-2} (estação chuvosa) a 431 W m^{-2} (estação seca).

Na Figura 18 apresenta-se a variação anual dos componentes do balanço de radiação de ondas longas. Conforme esperado, pequena variação sazonal foi constatada nos componentes do balanço de radiação de ondas longas. A radiação de onda longa emitida pela superfície foi em média 1,4% maior na pastagem do que na floresta enquanto a radiação de onda longa atmosférica foi em média 2,5% superior na floresta. Souza Filho et al. (2006) destacam a influência da temperatura do ar e do solo, nebulosidade, e concentrações de vapor d'água e de dióxido de carbono nas variações dos componentes do balanço de radiação de ondas longas. A radiação de onda longa emitida pela superfície variou de $37,61 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (maio) a $39,06 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (outubro) na floresta enquanto na pastagem a variação foi de $37,3 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (maio) a $40,76 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em agosto (estação seca). A diferença percentual entre esses valores extremos foi de 3,7% na floresta e de 8,5% na pastagem. A radiação de onda longa atmosférica variou de $33,09 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em julho (estação seca) a $37,05 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em fevereiro (estação chuvosa) na floresta enquanto a variação na pastagem foi de $31,75 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em julho a $36,67 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em fevereiro. A diferença percentual entre os valores extremos da radiação de onda longa atmosférica foi de 10,7% na floresta e de 13,4% na pastagem.

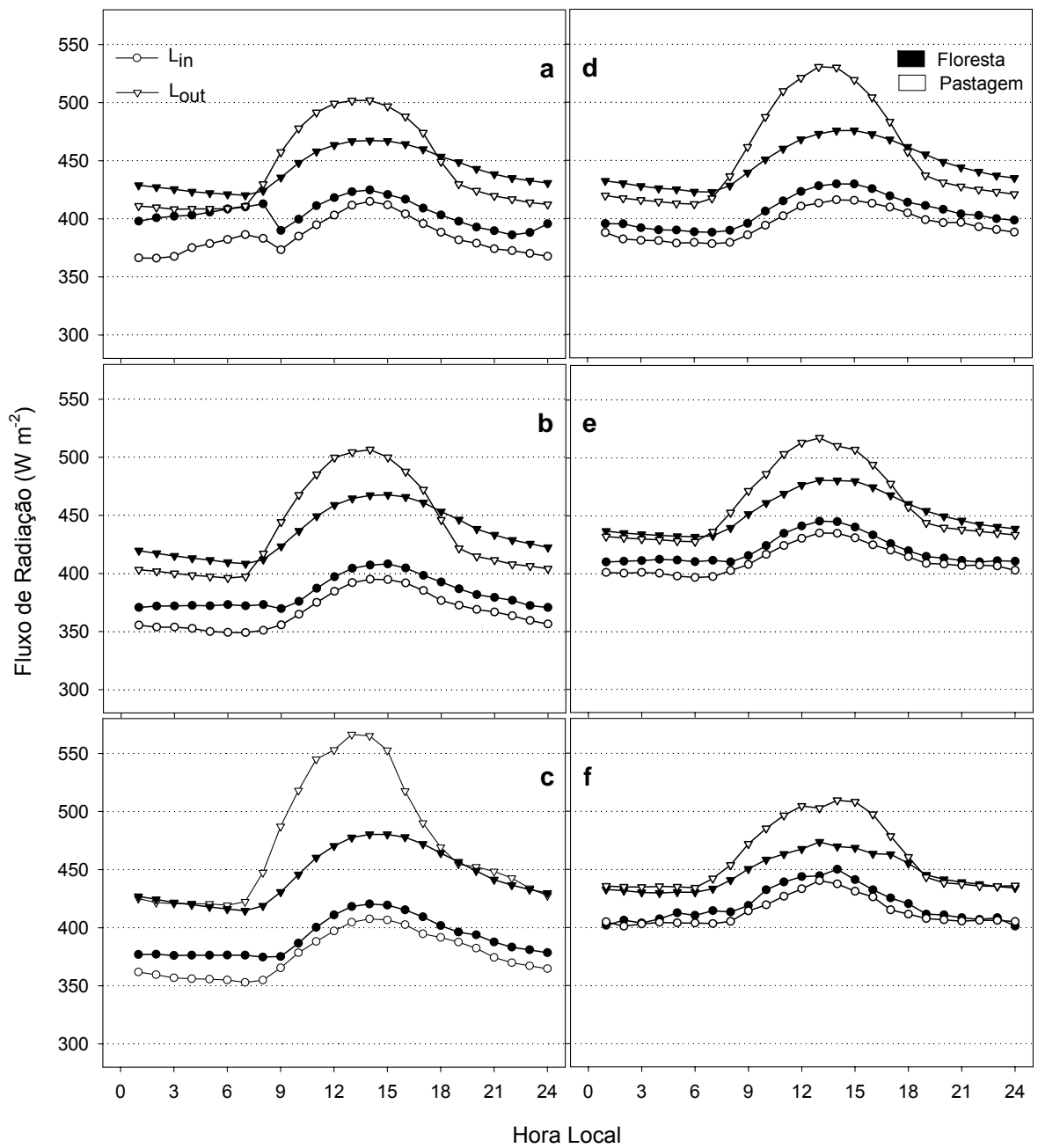


Figura 16. Ciclo diário médio da radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) e radiação de onda longa emitida pela superfície (L_{out}) nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

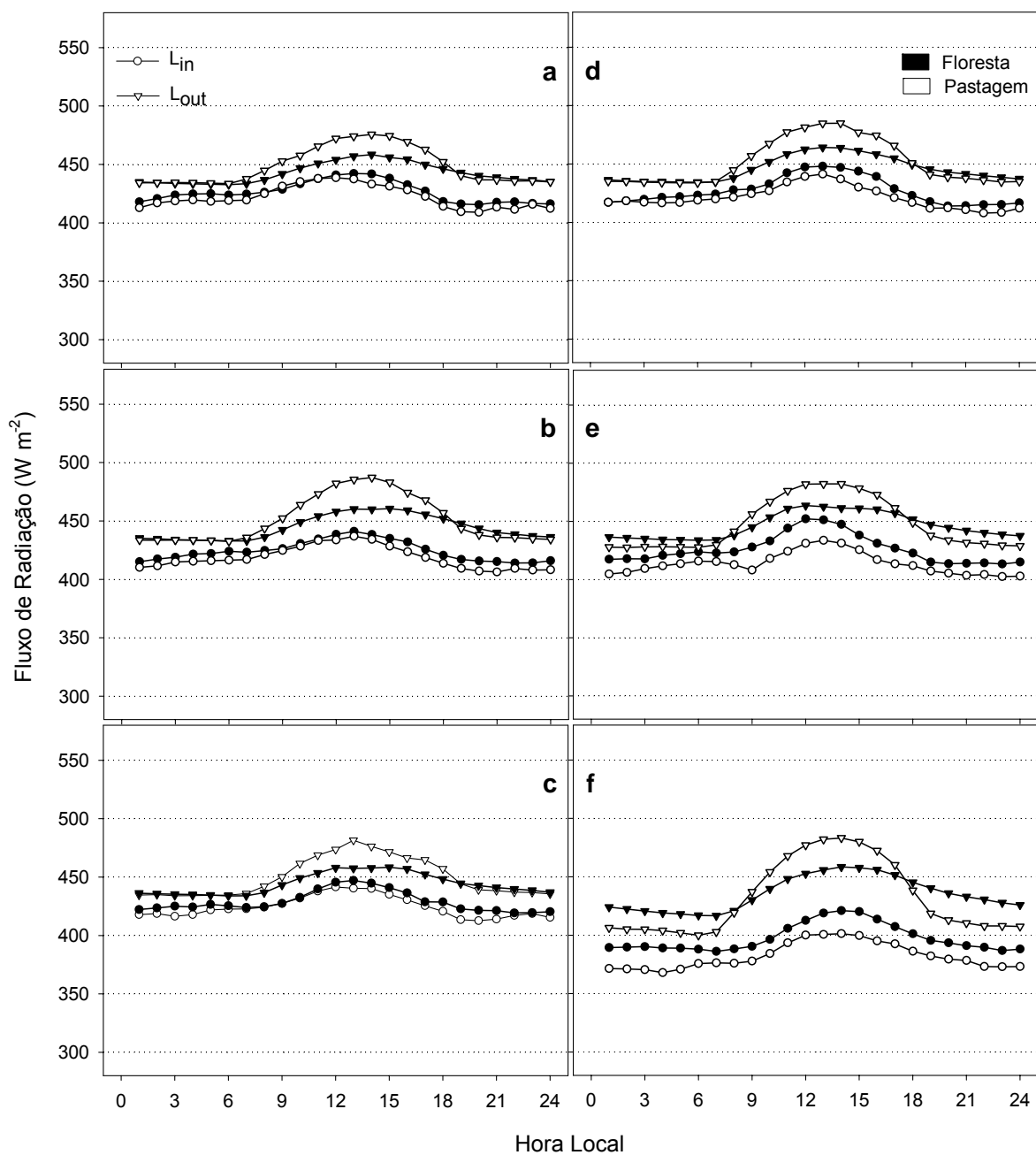


Figura 17. Ciclo diário médio da radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) e radiação de onda longa emitida pela superfície (L_{out}) nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

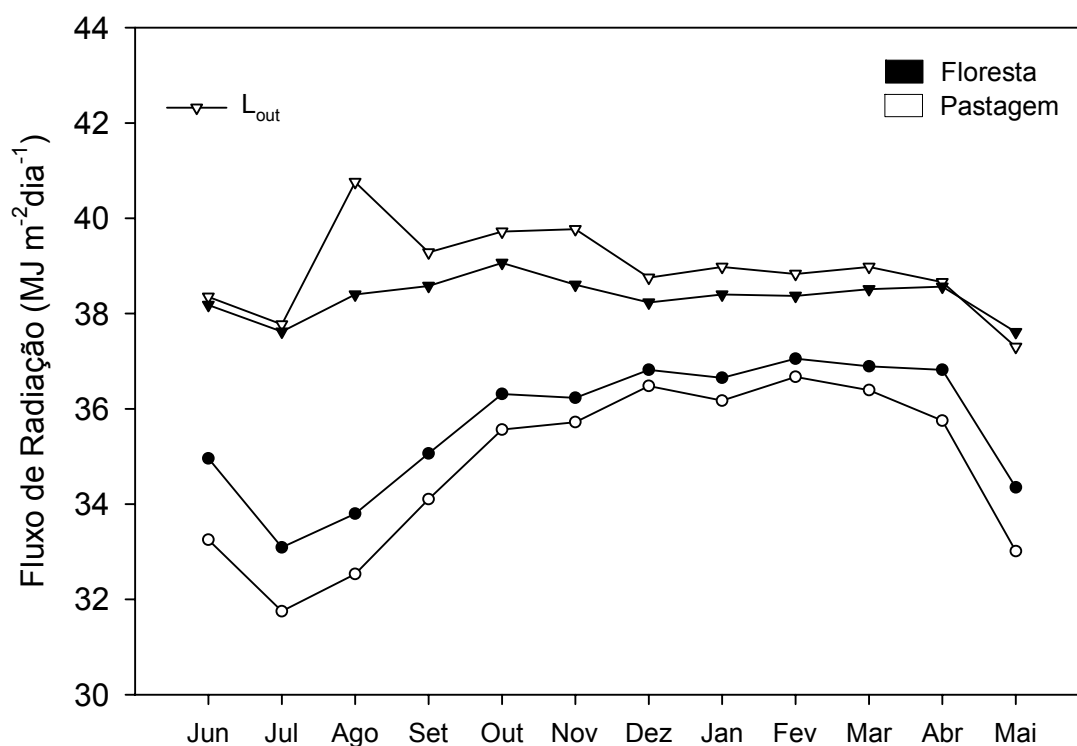


Figura 18. Padrões sazonais dos valores médios mensais da radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) e emitida pela superfície (L_{out}) para os sítios de floresta e de pastagem de junho de 2005 a maio de 2006.

O balanço de radiação de ondas longas médio horário variou no sítio de floresta de $-15,3 \text{ W m}^{-2}$ em fevereiro (estação chuvosa) a $-53,2 \text{ W m}^{-2}$ em agosto (estação seca) enquanto na pastagem a variação foi de $-25,1 \text{ W m}^{-2}$ em fevereiro a $-95,2 \text{ W m}^{-2}$ em agosto. Expressando-se os resultados do balanço de radiação de ondas longas em uma base mensal, obteve-se uma variação na floresta de $-1,3 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em fevereiro a $-4,6 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em agosto enquanto na pastagem a variação foi de $-2,2 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em fevereiro a $-8,2 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em agosto. Os valores negativos obtidos nos resultados do balanço de radiação de ondas longas deve-se ao predomínio da radiação de onda longa emitida pela superfície sobre a radiação de onda longa atmosférica. Os valores médios anuais do balanço de radiação de onda longa na floresta foi de $-2,68 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (-31 W m^{-2}) enquanto na pastagem foi de $-4,15 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (-48 W m^{-2}) o que representa um aumento de 35% nos valores obtidos na pastagem em comparação aos de floresta. Esse resultado é bem superior aos resultados

publicados sobre essa diferença percentual entre os sítios de pastagem e floresta em Manaus (22,1%), Marabá (12,9%) e Ji-Paraná (6,6%). O resultado indica que a redução do saldo de radiação, em consequência do desmatamento e substituição por pastagem, não é apenas em função do maior albedo da pastagem em relação ao da floresta, mas também pela contribuição do balanço de radiação de ondas longas.

4.1.8. Radiação fotossinteticamente ativa

As variações do ciclo médio diário da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) para os meses de junho a novembro de 2005, e de dezembro de 2005 a maio de 2006 são apresentadas nas Figuras 19 e 20, respectivamente. Observa-se que nos meses referentes à estação seca (junho a agosto) a PAR_{in} foi maior para a floresta (Figura 19), enquanto que nos meses referentes a estação chuvosa (janeiro a março) e à estação de transição chuvosa-seca (abril e maio), a PAR_{in} foi maior na região de pastagem (Figura 20). Na estação seca a pastagem sofre maior atenuação da radiação solar devido à alta concentração de aerossóis provenientes de queimadas. Além disso, estes aerossóis provenientes de queimadas modificam a distribuição espectral da radiação solar. Segundo Procópio et al. (2004), a redução do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa pode ser da ordem de 70%. Na pastagem, a PAR_{in} foi aproximadamente 45% da irradiação solar global na estação seca, enquanto que na estação chuvosa foi 48% (Tabela 4), o que evidencia uma modificação na distribuição espectral da irradiância solar global devido aos aerossóis provenientes de queimadas. O que normalmente se esperaria da razão entre PAR_{in} e S_{in} seria um maior valor na estação seca, uma vez que o ar está com menor concentração de vapor d'água, e um menor valor na estação chuvosa, como foi encontrado para o sítio de floresta em que a PAR_{in} foi aproximadamente 41% da S_{in} na estação chuvosa e cerca de 48% na estação seca.

Os valores máximos da PAR_{in} foram encontrados nos meses de novembro, $9,26 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, na pastagem e julho na floresta, $9,41 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$. Os mínimos ocorreram nos meses de dezembro, $6,57 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, e fevereiro,

6,04 MJ m⁻²dia⁻¹, na pastagem e na floresta, respectivamente. Os maiores valores da radiação fotossinteticamente ativa incidente ocorreram na estação seca, 9,09 MJ m⁻²dia⁻¹ floresta e 8,49 MJ m⁻²dia⁻¹ na pastagem, e as menores na estação chuvosa, 6,5 MJ m⁻²dia⁻¹ na floresta e 7,85 MJ m⁻²dia⁻¹ na pastagem (Tabela 4), acompanhando a variação sazonal da S_{in}. Com exceção da estação seca, os valores de PAR_{in} foram maiores na pastagem. Em média, na superfície da pastagem chega cerca de 6% mais radiação PAR_{in} na superfície da pastagem quando comparada a da floresta.

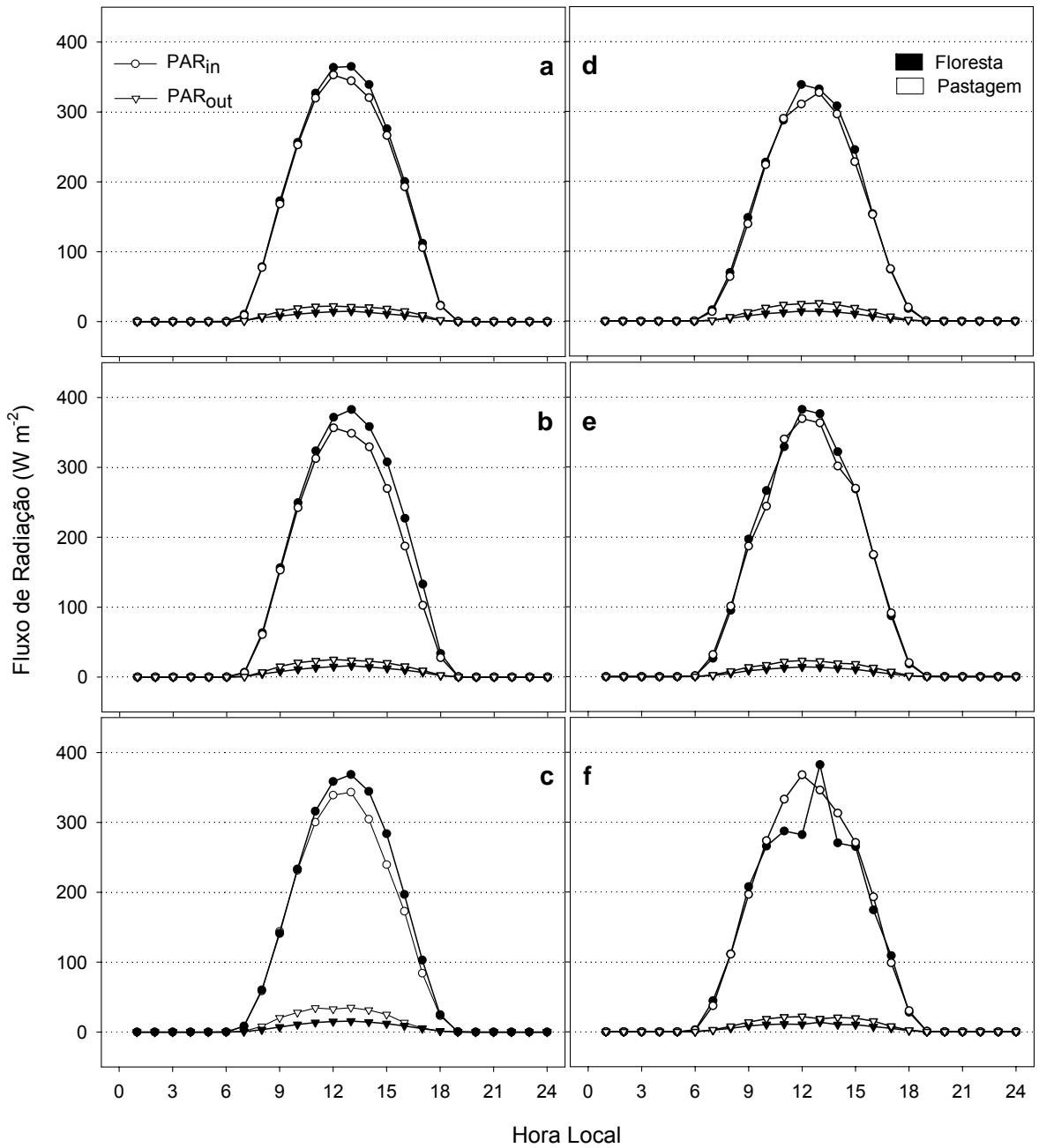


Figura 19. Ciclo diário médio da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

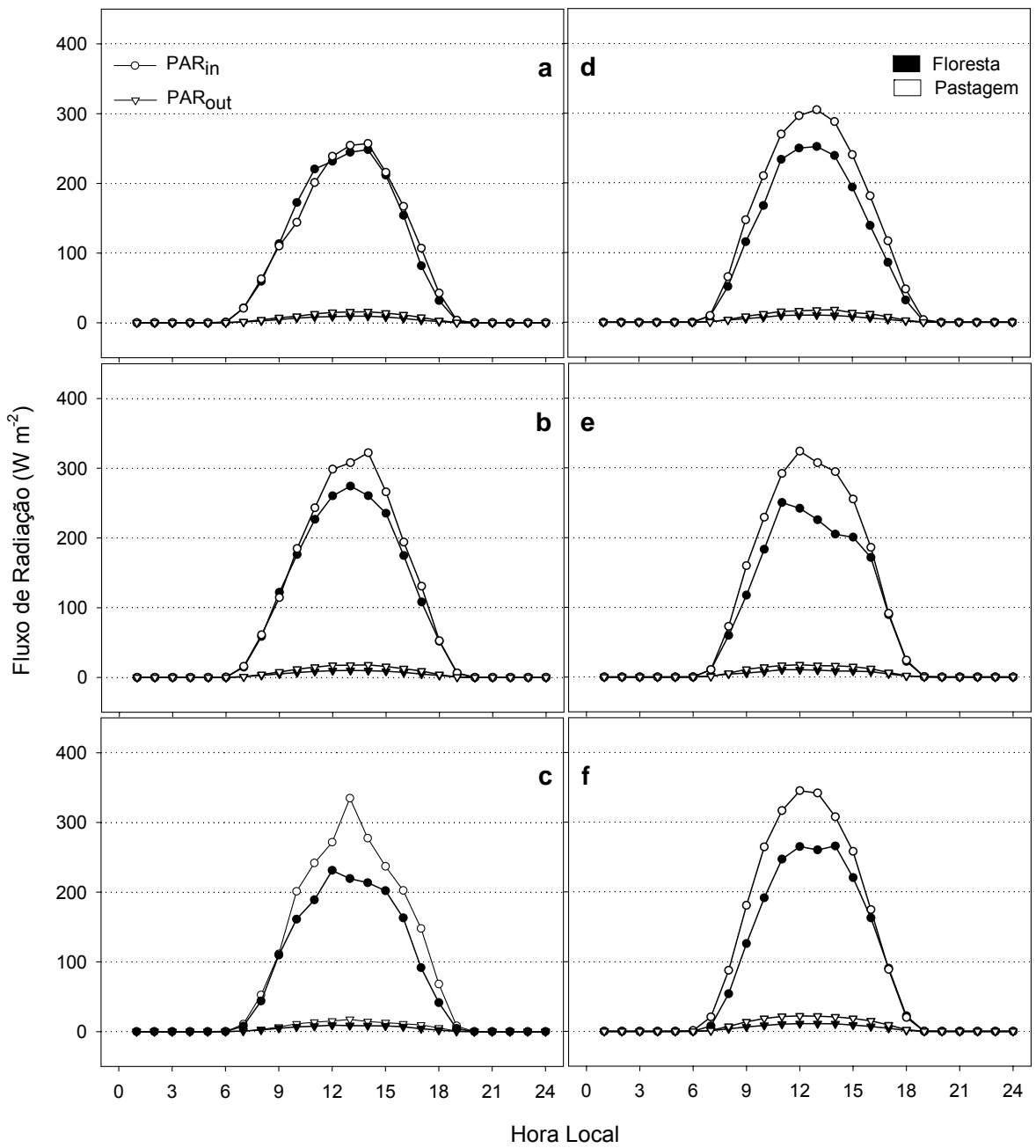


Figura 20. Ciclo diário médio da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

Tabela 4. Valores médios sazonais da irradiância solar global (S_{in}), radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) em $MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, albedo e coeficiente de refletividade da radiação fotossinteticamente ativa (C. R. PAR) em %, e a razão da radiação PAR_{in} e a S_{in} (PAR_{in}/S_{in}) para os sítios de floresta (JAR) e de pastagem (FNS).

FNS		$MJ\ m^{-2}dia^{-1}$			%	
Estação	S_{in}	PAR_{in}	PAR_{out}	Albedo	C. R. PAR	PAR_{in}/S_{in}
Jan-Mar	16,52	7,85	0,46	19,67	5,86	0,48
Abr-Mai	17,75	8,37	0,54	23,77	6,45	0,47
Jun-Ago	19,07	8,49	0,71	21,66	8,36	0,45
Set-Dez	17,95	8,12	0,56	18,89	7,00	0,45

JAR		$MJ\ m^{-2}dia^{-1}$			%	
Estação	S_{in}	PAR_{in}	PAR_{out}	Albedo	C. R. PAR	PAR_{in}/S_{in}
Jan-Mar	15,92	6,50	0,27	11,12	4,15	0,41
Abr-Mai	16,36	6,64	0,29	11,61	4,37	0,41
Jun-Ago	19,05	9,09	0,39	12,13	4,29	0,48
Set-Dez	17,44	8,08	0,33	11,93	4,08	0,46

FNS	17,84	8,19	0,57	21,00	6,92	0,46
JAR	17,28	7,70	0,32	11,70	4,22	0,44
(FNS-JAR)/JAR (%)	+3,21	+6,38	+77,52	+79,50	+64,45	+5,16

Ao analisar a radiação fotossinteticamente ativa refletida (PAR_{out}) (Figuras 19 e 20), observa-se que há uma maior diferença entre as curvas no mês de agosto (Figura 19c). Os meses em que a PAR_{out} obteve os valores médios diários maiores foram agosto, $0,85\ MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, na pastagem, e julho, $0,4\ MJ\ m^{-2}dia^{-1}$ na floresta. Os menores valores ocorreram nos meses de dezembro, $0,42\ MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, na pastagem e dezembro e fevereiro, $0,25\ MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, na floresta (Tabela 5). Os valores superiores nos meses de julho e agosto ocorrem principalmente pelo amarelamento das folhas devido à escassez de água no solo, sendo a região de pastagem a mais afetada, uma vez que o sistema radicular da *Brachiaria brizantha* é pequeno e não consegue extrair água do solo a profundidades maiores, o que já não ocorre com as

árvores de floresta, que tem raízes mais profundas, podendo manter uma grande retirada de água do solo, mesmo no período de seca. Na pastagem houve um aumento de aproximadamente 54% da PAR_{out} na estação seca, em relação a chuvosa, enquanto que na floresta o aumento foi de 44%. Em média, a PAR_{out} foi 77,52% maior na região de pastagem do que na de floresta (Tabela 4).

Tabela 5. Valores médios diários da irradiância solar global (S_{in}), radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}) e refletida (PAR_{out}) em $MJ\ m^{-2}dia^{-1}$, albedo e coeficiente de refletividade da radiação fotossinteticamente ativa (C. R. PAR) em %, e a razão da radiação PAR_{in} e a S_{in} (PAR_{in}/S_{in}), para os sítios de floresta (JAR) e de pastagem (FNS) de junho de 2005 a maio de 2006.

FNS	S_{in}	PAR_{in}	PAR_{out}	Albedo	C. R. PAR	PAR_{in}/S_{in}
Jun	19,16	8,75	0,62	22,34	7,08	0,46
Jul	19,18	8,62	0,66	22,16	7,66	0,45
Ago	18,86	8,09	0,85	20,45	10,51	0,43
Set	17,81	7,70	0,63	18,98	7,79	0,43
Out	19,69	8,97	0,59	18,59	6,58	0,46
Nov	20,25	9,26	0,61	18,74	6,59	0,46
Dez	14,05	6,57	0,42	20,07	6,39	0,47
Jan	16,90	7,91	0,48	20,83	6,09	0,47
Fev	16,19	7,79	0,44	19,52	5,65	0,48
Mar	16,47	7,85	0,46	18,64	5,86	0,48
Abr	17,20	8,08	0,47	21,63	5,82	0,47
Mai	18,30	8,66	0,61	25,79	7,04	0,47

JAR	S_{in}	PAR_{in}	PAR_{out}	Albedo	C. R. PAR	PAR_{in}/S_{in}
Jun	18,24	9,08	0,38	11,73	4,18	0,50
Jul	19,93	9,41	0,40	12,04	4,25	0,47
Ago	18,99	8,78	0,38	12,64	4,33	0,46
Set	17,27	7,98	0,35	12,91	4,38	0,46
Out	19,15	9,15	0,36	11,70	3,93	0,48
Nov	18,87	8,75	0,34	11,66	3,88	0,46
Dez	14,45	6,45	0,25	11,49	3,87	0,45
Jan	16,80	7,09	0,28	11,19	3,95	0,42
Fev	14,97	6,04	0,25	11,02	4,14	0,40
Mar	15,99	6,37	0,27	11,13	4,24	0,40
Abr	15,93	6,39	0,29	11,24	4,54	0,40
Mai	16,80	6,88	0,30	12,02	4,36	0,41

As variações do ciclo médio diário do coeficiente de refletividade da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para os meses de junho a novembro de 2005, e de dezembro de 2005 a maio de 2006, são apresentadas nas Figuras 21 e 22, respectivamente. Os valores mínimos do coeficiente de refletividade da radiação PAR foram obtidos entre 12:00 e 14:00 horas, tanto na floresta quanto na pastagem. O coeficiente de refletividade da radiação PAR no sítio de floresta variou de 3,87% em dezembro, a 4,54% em abril, enquanto no sítio de pastagem a variação foi de 10,51% em agosto (mês típico da estação seca) a 5,65% em fevereiro (mês típico da estação chuvosa). Comparando-se com os três meses representativos de cada estação, o coeficiente de refletividade da radiação PAR na pastagem variou de 5,86% na estação chuvosa para 8,36% na estação seca, enquanto o coeficiente de refletividade da radiação PAR na floresta variou de 4,15% na estação chuvosa para 4,29% na estação seca. Os coeficientes de refletividade da radiação PAR foram aproximadamente 42,66% e 3,26% maiores na estação seca, em relação a chuvosa, no sítio de pastagem e de floresta, respectivamente.

Quanto às diferenças entre os sítios, o coeficiente de refletividade da radiação PAR foi, em geral, superior no sítio de pastagem. Querino et al. (2006) relatam que possivelmente esse maior valor na pastagem é devido à diferença na coloração da vegetação existente nos dois sítios, pois sendo a floresta mais escura reflete menos radiação. Segundo Moura et al. (1999), um outro possível fator seria a geometria das copas das árvores. Em média, o coeficiente de refletividade da radiação PAR foi aproximadamente 64% maior no sítio de pastagem do que no de floresta (Tabela 4).

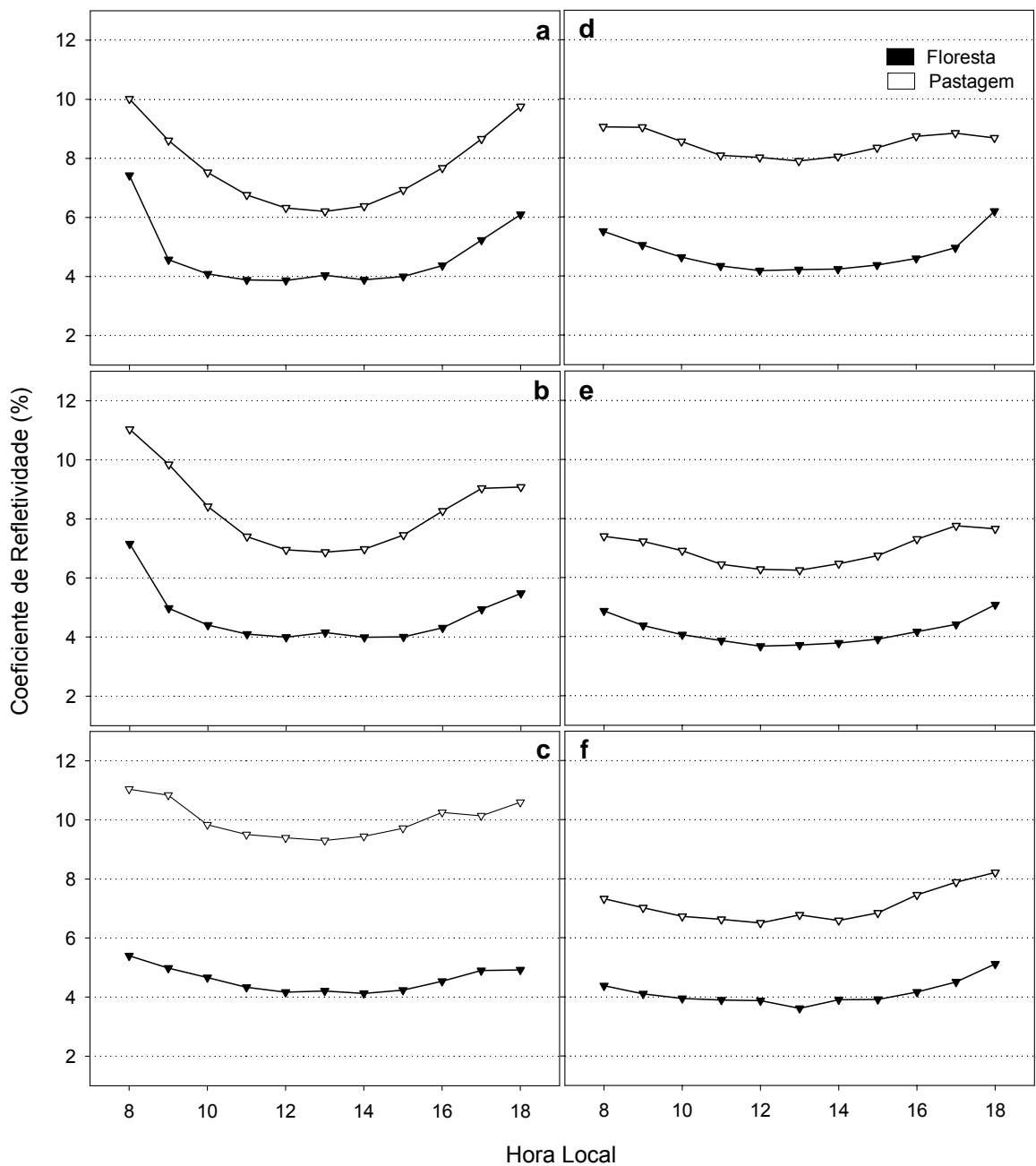


Figura 21. Ciclo diário médio do coeficiente de refletividade da radiação fotossinteticamente ativa nos meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

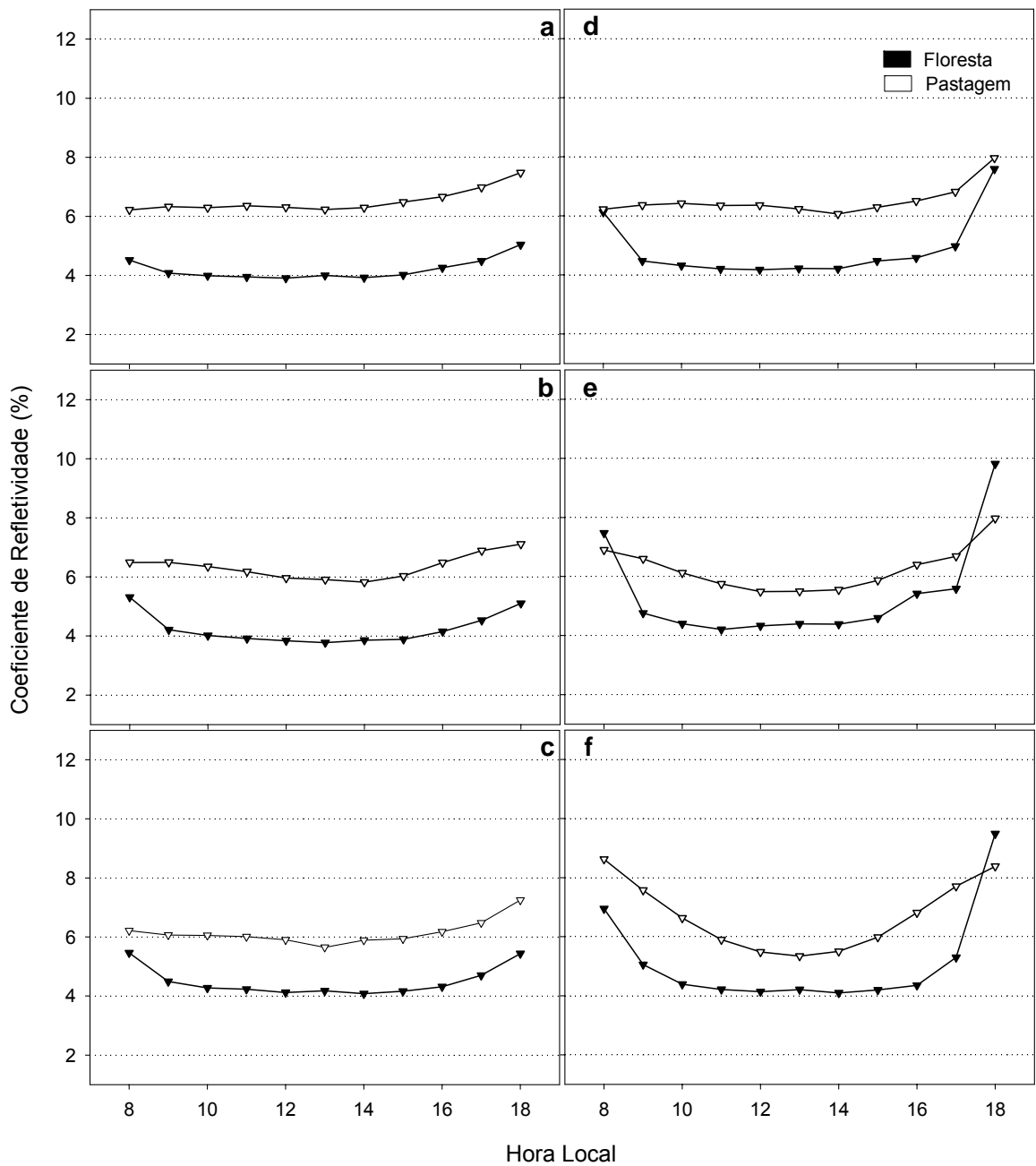


Figura 22. Ciclo diário médio do coeficiente de refletividade da radiação fotossinteticamente ativa nos meses de dezembro (a), janeiro (b), fevereiro (c), março (d), abril (e) e maio (f) para os sítios de floresta e de pastagem.

4.2. ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO DE ONDA LONGA ATMOSFÉRICA

Para avaliar o desempenho das diferentes equações propostas para a estimativa da radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) em áreas de floresta e pastagem na Amazônia foram utilizados dados com valores médios diários de L_{in} , coletados no período de junho de 2005 a maio de 2006. Para a estimativa da radiação atmosférica foram utilizados apenas os dias caracterizados como de céu claro ou com poucas nuvens, ou seja, os que tiveram valores da razão entre a irradiância solar global e a radiação solar extraterrestre (R_o) integradas ao longo do dia superiores a 0,5. Na Tabela 6 são apresentados o número de dias em que houveram medidas e que atenderam a condição de céu claro em cada mês do período estudado que.

Tabela 6. Número de dias utilizados para estimar a L_{in} no período de junho de 2005 a maio de 2006 nos sítios de floresta e pastagem.

Mês	FNS	JAR
Junho	23	8
Julho	29	30
Agosto	26	28
Setembro	20	15
Outubro	18	17
Novembro	14	0
Dezembro	0	3
Janeiro	5	12
Fevereiro	8	6
Março	9	9
Abril	11	8
Maió	21	19

Após as estimativas feitas através das equações de Brunt (1932), Swinbank (1963), Idso e Jackson (1969), Brutsaert (1975), Satterlund (1979), Idso (1981) e Prata (1996), os resultados estimados foram separados por mês e calculados o Desvio Médio Quadrático (DMQ), o Erro Médio Absoluto (EMA) e o Coeficiente de Determinação (R^2).

Os resultados da comparação dos modelos com os valores de DMQ, EMA e R^2 estão resumidos nas Tabelas 7 e 8 para os sítios de pastagem e floresta, respectivamente. No sítio de pastagem, o DMQ variou de 6,34 $W m^{-2}$,

em agosto, a $52,81 \text{ W m}^{-2}$, em fevereiro, enquanto que no sítio de floresta foi de $6,38$ a $52,16 \text{ W m}^{-2}$, nos meses de agosto e fevereiro, respectivamente. O EMA variou de $-51,95 \text{ W m}^{-2}$, em fevereiro, a $19,84 \text{ W m}^{-2}$, em junho, no sítio de pastagem, e de $-51,77 \text{ W m}^{-2}$, em fevereiro, a $18,04 \text{ W m}^{-2}$, em julho, no sítio de floresta. No sítio de pastagem a variação do R^2 foi de $0,00$, em fevereiro, a $0,98$, em agosto, enquanto que no sítio de floresta foi de $0,00$ a $0,95$ nos meses de fevereiro e maio, respectivamente. Os valores de DMQ nos meses referentes a estação seca foram menores do que os encontrados por Galvão e Fisch (2000), para a área de pastagem, Correia (2001), em uma região de policultivo na Amazônia, e Von Randow e Alvalá (2006) para o Pantanal Sul Mato-Grossense (Tabela 9). Deve-se ressaltar que a quantidade de dias utilizados para estimar a L_{in} foi muito superior neste estudo do que nos estudos realizados por Galvão e Fisch (2000), Correia (2001) e Von Randow e Alvalá (2006), sendo utilizados 10, 7 e 8 dias, respectivamente.

Os modelos testados foram ligeiramente superiores no sítio de pastagem quando comparado ao de floresta, porém os modelos em ambos os sítios foram satisfatórios apenas durante a estação seca. Os modelos que levam em consideração a pressão do vapor d'água e a temperatura do ar, tiveram melhor desempenho em relação aos que utilizam apenas a temperatura do ar, destacando-se os de Idso (1981), Brunt (1932) e Brutsaert (1975), para os meses mais secos (Tabelas 7 e 8). Os demais modelos apresentaram resultados inferiores. As condições de nebulosidade dominantes na estação chuvosa restringiu a quantidade de dados utilizados no teste dos modelos, comprometendo o desempenho dos mesmos na estação chuvosa. Os modelos que utilizam apenas a temperatura do ar, como é o caso das equações de Swinbank (1963) e Idso e Jackson (1969), tiveram melhor desempenho em alguns meses da estação chuvosa.

Tabela 7. Estatísticas relacionando os valores da radiação de onda longa atmosférica estimados e os medidos, em que o Desvio Médio Quadrático (DMQ) e o Erro Médio Absoluto (EMA) estão em $W\ m^{-2}$, para os meses de junho de 2005 a maio de 2006 no sítio de pastagem.

Modelo	Junho			Julho			Agosto		
	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²
Brunt (1932)	15.14	-14.33	0.82	17.45	-15.23	0.75	17.14	-16.35	0.97
Swinbank (1963)	19.55	-18.34	0.61	14.54	-6.91	0.45	12.28	-1.36	0.87
Idso e Jackson (1969)	10.75	-8.46	0.61	13.19	2.55	0.46	14.60	8.85	0.87
Brutsaert (1975)	5.49	-1.19	0.80	8.81	0.19	0.73	6.34	-0.83	0.96
Satterlund (1979)	6.39	-0.17	0.73	13.11	7.72	0.62	13.83	8.76	0.93
Idso (1981)	20.32	19.84	0.85	18.08	16.20	0.78	14.23	13.48	0.98
Prata (1996)	6.27	-2.93	0.80	9.03	-0.27	0.72	7.37	-0.83	0.96

	Setembro			Outubro			Novembro		
	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²
Brunt (1932)	32.28	-30.59	0.83	28.45	-27.79	0.11	27.80	-26.47	0.05
Swinbank (1963)	25.01	-19.89	0.54	34.56	-33.34	0.00	36.72	-35.30	0.15
Idso e Jackson (1969)	18.34	-9.79	0.55	24.57	-22.71	0.00	26.94	-24.84	0.15
Brutsaert (1975)	18.66	-15.58	0.80	17.09	-15.84	0.06	17.27	-15.04	0.06
Satterlund (1979)	14.22	-7.84	0.70	18.17	-16.62	0.01	19.15	-17.03	0.11
Idso (1981)	9.56	0.15	0.86	8.36	6.41	0.31	11.89	8.97	0.01
Prata (1996)	18.97	-16.01	0.79	19.14	-17.99	0.05	19.32	-17.35	0.07

	Janeiro			Fevereiro			Março		
	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²
Brunt (1932)	35.03	-34.48	0.18	39.37	-38.34	0.15	38.01	-35.98	0.16
Swinbank (1963)	46.20	-45.82	0.04	52.81	-51.95	0.01	50.69	-48.86	0.29
Idso e Jackson (1969)	36.30	-35.80	0.04	43.03	-41.95	0.01	41.08	-38.69	0.29
Brutsaert (1975)	23.83	-23.07	0.15	28.87	-27.44	0.15	27.91	-25.14	0.18
Satterlund (1979)	26.20	-25.57	0.08	32.23	-30.92	0.00	31.05	-28.53	0.24
Idso (1981)	6.66	2.20	0.25	8.70	-0.72	0.03	11.61	1.22	0.10
Prata (1996)	26.06	-25.38	0.14	31.25	-29.93	0.00	30.17	-27.64	0.19

	Abril			Maio		
	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²
Brunt (1932)	33.48	-31.25	0.02	23.11	-19.74	0.92
Swinbank (1963)	45.09	-42.53	0.61	26.92	-17.84	0.79
Idso e Jackson (1969)	35.86	-32.46	0.61	21.50	-8.64	0.79
Brutsaert (1975)	23.44	-19.90	0.09	14.42	-5.25	0.92
Satterlund (1979)	26.12	-22.44	0.41	18.09	-0.30	0.88
Idso (1981)	12.09	5.44	0.07	17.14	13.56	0.93
Prata (1996)	25.52	-22.25	0.12	15.63	-6.12	0.91

Tabela 8. Estatísticas relacionando os valores da radiação de onda longa atmosférica estimados e os medidos, em que o Desvio Médio Quadrático (DMQ) e o Erro Médio Absoluto (EMA) estão em $W m^{-2}$, para os meses de junho de 2005 a maio de 2006 no sítio de floresta.

Modelo	Junho			Julho			Agosto		
	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²
Brunt (1932)	19.21	-18.91	0.66	15.96	-14.40	0.83	14.48	-13.14	0.92
Swinbank (1963)	29.25	-28.94	0.50	16.24	-12.93	0.65	12.16	-7.98	0.85
Idso e Jackson (1969)	18.77	-18.26	0.50	10.29	-2.80	0.65	9.25	2.83	0.85
Brutsaert (1975)	8.76	-8.06	0.64	7.17	-0.59	0.81	6.38	0.44	0.91
Satterlund (1979)	11.53	-10.91	0.57	8.99	2.66	0.74	9.54	4.35	0.89
Idso (1981)	17.10	16.80	0.70	19.10	18.04	0.87	18.88	17.95	0.93
Prata (1996)	12.81	-12.29	0.61	8.16	-4.65	0.84	7.89	-5.06	0.93

	Setembro			Outubro			Dezembro		
	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²
Brunt (1932)	25.99	-24.24	0.79	30.56	-29.51	0.11	35.77	-35.58	0.71
Swinbank (1963)	22.81	-19.26	0.58	35.48	-33.38	0.15	47.90	-47.64	0.69
Idso e Jackson (1969)	14.97	-8.33	0.58	25.53	-22.24	0.15	37.34	-37.00	0.69
Brutsaert (1975)	14.20	-10.76	0.77	19.63	-17.88	0.12	25.47	-25.15	0.65
Satterlund (1979)	12.59	-7.18	0.69	20.80	-18.71	0.14	29.18	-28.83	0.16
Idso (1981)	10.90	6.75	0.83	7.50	3.72	0.06	3.31	0.96	0.79
Prata (1996)	17.48	-15.35	0.80	23.47	-22.26	0.09	29.00	-28.76	0.89

	Janeiro			Fevereiro			Março		
	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²
Brunt (1932)	38.63	-38.13	0.02	36.78	-36.40	0.01	33.48	-32.91	0.01
Swinbank (1963)	52.11	-51.66	0.05	52.16	-51.77	0.06	48.23	-47.79	0.01
Idso e Jackson (1969)	41.84	-41.26	0.05	41.84	-41.33	0.06	37.82	-37.24	0.01
Brutsaert (1975)	28.42	-27.76	0.03	27.06	-26.54	0.01	23.84	-23.09	0.00
Satterlund (1979)	32.34	-31.77	0.04	31.89	-31.41	0.04	28.51	-27.90	0.00
Idso (1981)	5.99	-0.83	0.01	5.06	1.65	0.00	7.64	4.84	0.02
Prata (1996)	31.17	-30.63	0.01	29.69	-29.23	0.01	20.22	-19.43	0.03

	Abril			Maio		
	DMQ	EMA	R ²	DMQ	EMA	R ²
Brunt (1932)	29.88	-29.28	0.00	20.00	-18.70	0.94
Swinbank (1963)	45.79	-45.17	0.16	27.27	-23.67	0.86
Idso e Jackson (1969)	35.41	-34.56	0.16	19.09	-13.97	0.86
Brutsaert (1975)	20.71	-19.79	0.00	10.39	-5.81	0.94
Satterlund (1979)	25.96	-25.12	0.07	13.39	-4.87	0.91
Idso (1981)	10.26	8.87	0.10	17.18	16.15	0.95
Prata (1996)	23.05	-22.29	0.00	12.25	-8.24	0.94

Tabela 9. Estatísticas relacionando os valores da radiação de onda longa atmosférica estimados e os medidos, em que o Desvio Médio Quadrático (DMQ) e o Erro Médio Absoluto (EMA) estão em $W m^{-2}$.

Pastagem									
Modelo	Junho			Julho			Agosto		
	DMQ	EMA	R²	DMQ	EMA	R²	DMQ	EMA	R²
Brunt (1932)	15.14	-14.33	0.82	17.45	-15.23	0.75	17.14	-16.35	0.97
Swinbank (1963)	19.55	-18.34	0.61	14.54	-6.91	0.45	12.28	-1.36	0.87
Idso e Jackson (1969)	10.75	-8.46	0.61	13.19	2.55	0.46	14.60	8.85	0.87
Brutsaert (1975)	5.49	-1.19	0.80	8.81	0.19	0.73	6.34	-0.83	0.96
Satterlund (1979)	6.39	-0.17	0.73	13.11	7.72	0.62	13.83	8.76	0.93
Idso (1981)	20.32	19.84	0.85	18.08	16.20	0.78	14.23	13.48	0.98
Prata (1996)	6.27	-2.93	0.80	9.03	-0.27	0.72	7.37	-0.83	0.96

Floresta									
	Junho			Julho			Agosto		
	DMQ	EMA	R²	DMQ	EMA	R²	DMQ	EMA	R²
Brunt (1932)	19.21	-18.91	0.66	15.96	-14.40	0.83	14.48	-13.14	0.92
Swinbank (1963)	29.25	-28.94	0.50	16.24	-12.93	0.65	12.16	-7.98	0.85
Idso e Jackson (1969)	18.77	-18.26	0.50	10.29	-2.80	0.65	9.25	2.83	0.85
Brutsaert (1975)	8.76	-8.06	0.64	7.17	-0.59	0.81	6.38	0.44	0.91
Satterlund (1979)	11.53	-10.91	0.57	8.99	2.66	0.74	9.54	4.35	0.89
Idso (1981)	17.10	16.80	0.70	19.10	18.04	0.87	18.88	17.95	0.93
Prata (1996)	12.81	-12.29	0.61	8.16	-4.65	0.84	7.89	-5.06	0.93

	Galvão e Fisch (2000)			Correia (2001)			Von Randow e Alvalá (2006)		
	DMQ	EMA	R²	DMQ	EMA	R²	DMQ	EMA	R²
Brunt (1932)	75,2	-73,0	0,92	49,5	-47,2	0,66	30,05	-29,25	0,94
Swinbank (1963)	64,6	-64,3	0,99	73,5	-69,6	0,67	16,66	-13,04	0,96
Idso e Jackson (1969)	54,7	-54,5	0,99	55,8	-49,5	0,66	12,06	-2,01	0,96
Brutsaert (1975)	57,9	-55,4	0,94	42,0	-39,7	0,66	15,54	-14,07	0,94
Satterlund (1979)	50,7	-49,1	0,98	47,3	-44,6	0,67	7,40	-5,11	0,95
Idso (1981)							9,72	0,11	0,92
Prata (1996)							15,81	-14,44	0,94

Os ciclos médio diários da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de junho a dezembro e janeiro a maio são apresentados nas Figuras 23 e 24, para o sítio de pastagem, e 25 e 26 para o de floresta, respectivamente. Observa-se que os modelos tanto subestimam como superestimam os valores da radiação de onda longa atmosférica ao longo das 24 horas do dia.

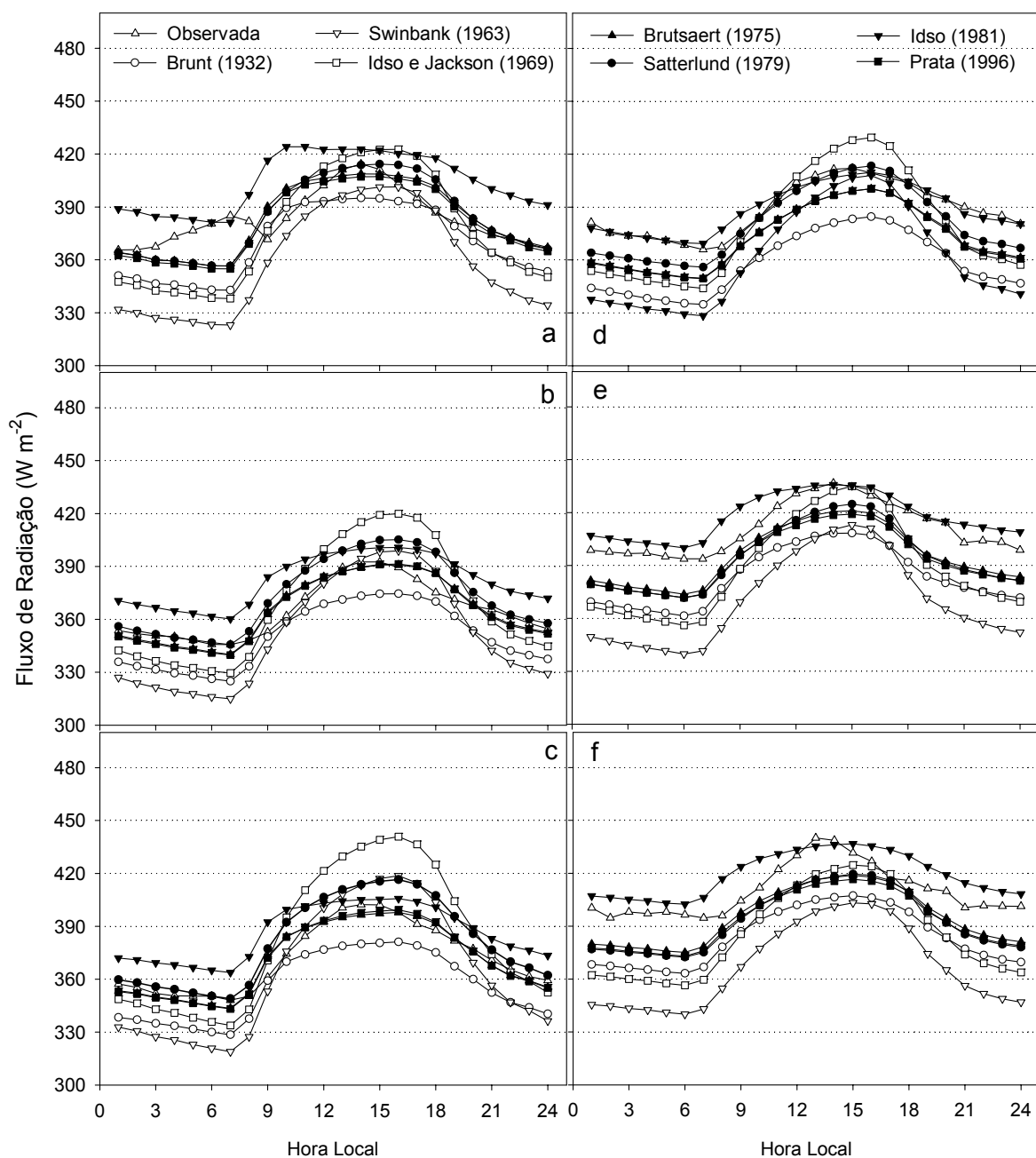


Figura 23. Ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e novembro (f) no sítio de pastagem.

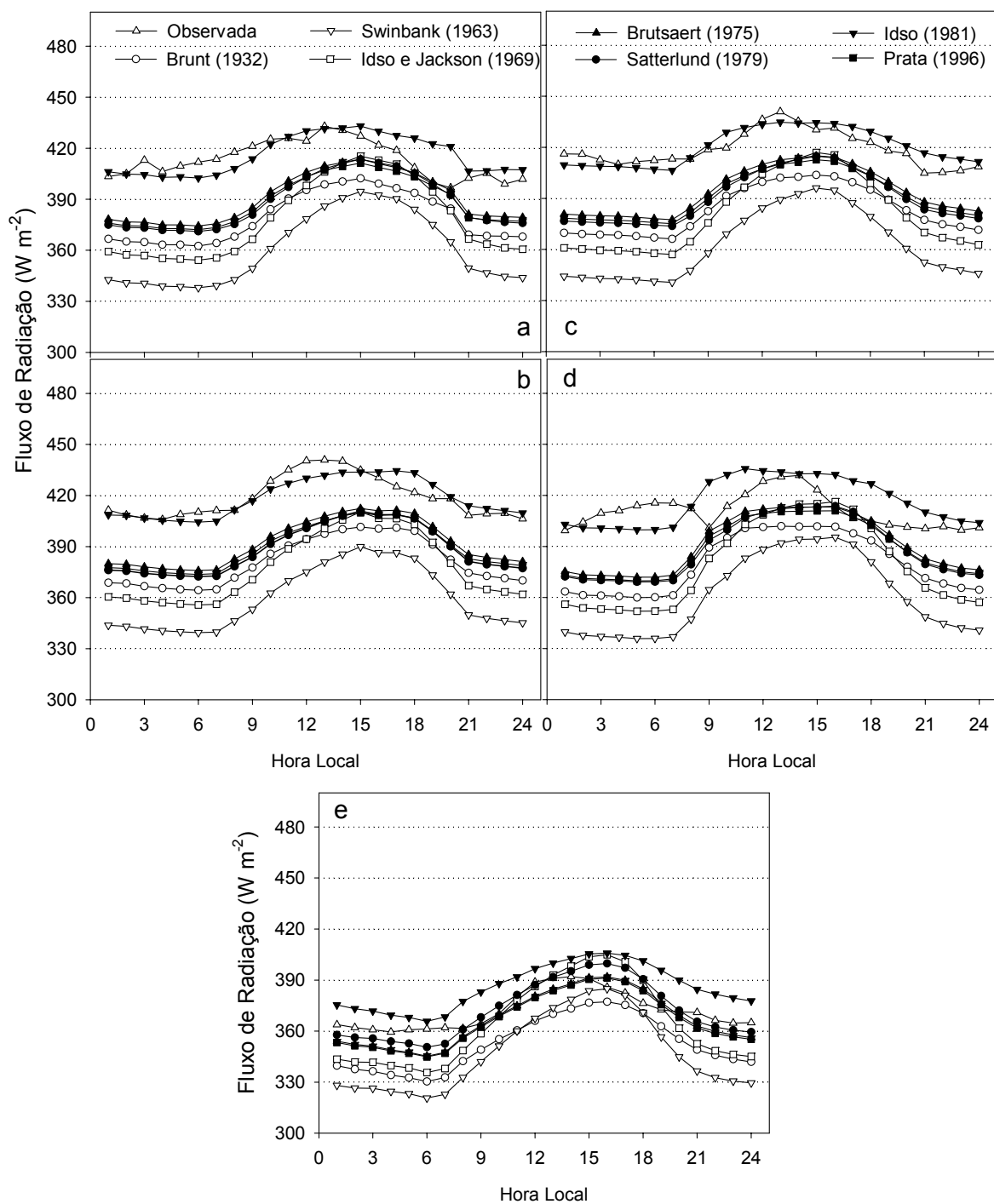


Figura 24. Ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d) e maio (e) no sítio de pastagem.

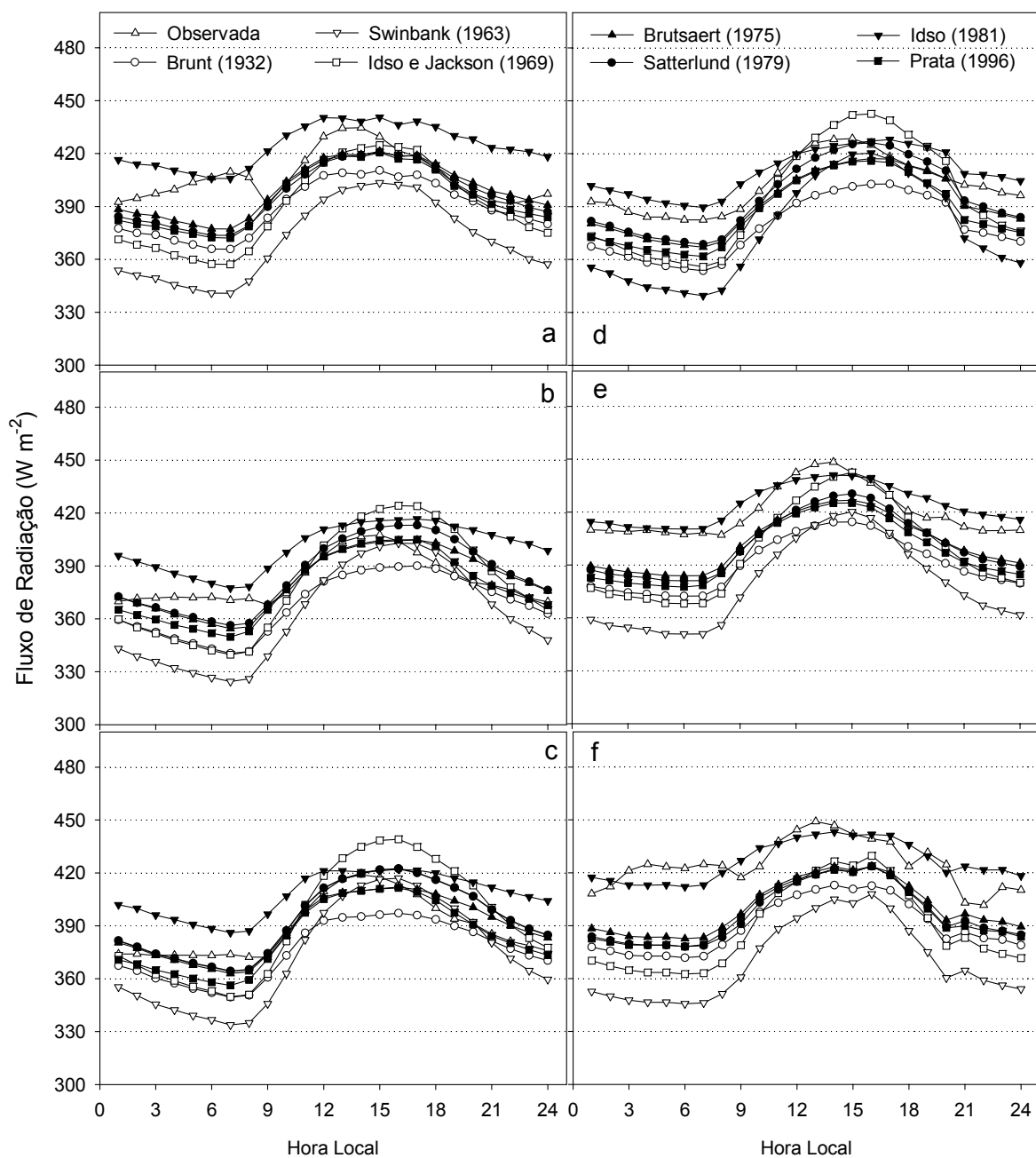


Figura 25. Ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de junho (a), julho (b), agosto (c), setembro (d), outubro (e) e dezembro (f) no sítio de floresta.

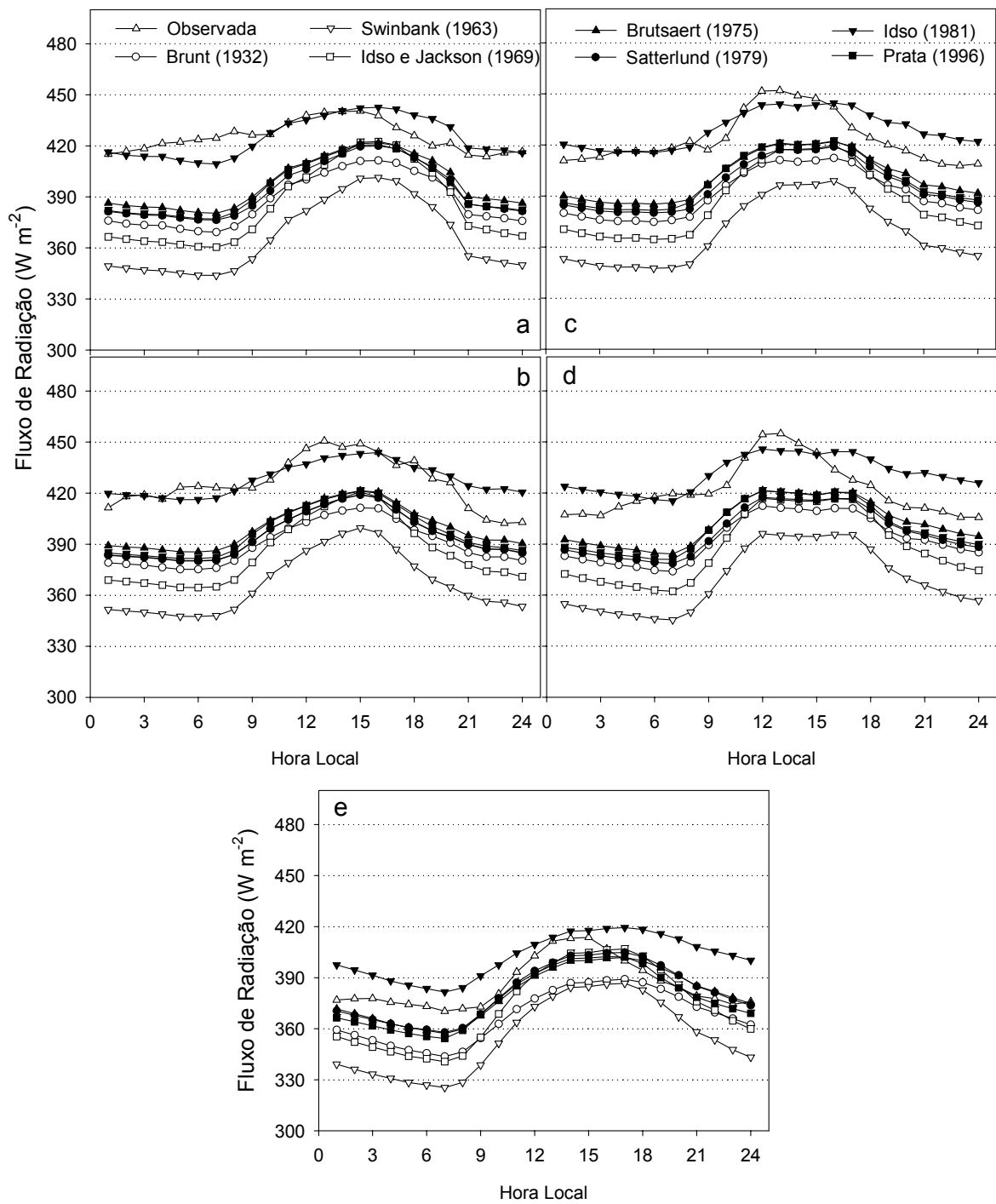


Figura 26. Ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d) e maio (e) no sítio de floresta.

5. CONCLUSÕES

A sazonalidade do saldo de radiação e dos componentes do balanço de radiação de ondas curtas e em menor proporção dos componentes do balanço de radiação de ondas longas em floresta e pastagem em Rondônia foi confirmada no presente trabalho.

O aumento do albedo entre a floresta e a pastagem foi em média de 79,5%, o que contribui para a maior redução do saldo de radiação entre esses dois tipos de cobertura vegetal. A redução do saldo de radiação na pastagem em relação à floresta foi de 19%.

A fração entre a radiação fotossinteticamente ativa e a irradiância solar global apresentou pequena variação sazonal. Em média essa fração foi de 0,46 na pastagem e de 0,44 na floresta.

As estimativas da radiação de onda longa atmosférica foram satisfatórias em ambos os sítios experimentais apenas durante a estação seca. As equações que levam em consideração a pressão do vapor d'água e a temperatura do ar tiveram melhor desempenho do que as que utilizam apenas a temperatura do ar, como é o caso das equações de Swinbank (1963) e Idso e Jackson (1969). Os modelos de Idso (1981), Brunt (1932) e Brutsaert (1975) foram os que apresentaram melhor desempenho.

6. BIBLIOGRAFIA

ANDRÉ, R. G. B.; SILVA FILHO, V. P.; MOLION, L. C. B.; NOBRE, C. A. Balanço de radiação sobre a floresta Amazônica (estações seca e úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 2, p. 269 – 274, 1988.

ARTAXO, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCÓPIO A. S.; RIZZO L. V. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazônica**, v. 35(2), p. 185-196, 2005.

BALDOCCHI, D.; HUTCHINSON, B.; MATT, D.; MCMITTEN, R. Seasonal variations in the radiation regime within an oak-hickory forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 33, p. 177-191, 1984.

BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, R. L. G.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observations of climate albedo, and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian forest. **International Journal of Climatology**. v.13, p.783-796, 1993.

BERBET, M. L. C.; COSTA, M. H. Climate change after tropical deforestation: seasonal variability of surface albedo and its effects on precipitation change. *J. Climate*, v.16, p. 2099-2104. 2003

BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 58, p. 389-418, 1932.

CORREIA, F. W. S. **Estudo do Balanço de Radiação em Área de Policultivo na Amazônia**. São José dos Campos: INPE. 137p. (INPE-8176-TDI/758). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; MANZI, A. O. Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera (mcga). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 153-167, 2006.

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

CULF A. D.; FISCH, G. ; HODNETT, M. H. The albedo of Amazonian forest and ranchland. **Journal of Climate**, n. 8, v. 6, p. 1544-1554, May. 1995.

CULF, A. D.; ESTEVES, J. L.; MARQUES FILHO, A. O.; ROCHA, H. R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In: **Amazonian deforestation and climate** (eds. J.H.C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts, R. L. Victoria). Chichester: John Wiley, p. 175-191, 1996.

CULF, A. D.; FISCH, G.; MALHI, Y.; NOBRE, C. A. The influence of the atmospheric boundary layer on carbon dioxide concentrations over a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 85, p. 149-158, 1997.

FEITOSA, J. R. P. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas de pastagem e de floresta densa na Amazônia central**. Campina Grande. 95p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, 1996.

FEITOSA, J. R. P.; FERREIRA DA COSTA, R.; FISCH, G.; SOUZA, S. S.; NOBRE, C. A. Radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. Aceito para publicação na **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 1998.

FERREIRA DA COSTA, R.; FEITOSA, J. R. P.; FISCH, G.; SOUZA, S. S.; NOBRE, C. A. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e de pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, n. 28, v. 4, p. 395-408, 1998.

FISCH, G.; WRIGHT, I. R.; BASTABLE, H. G. Albedo of tropical grass: A case study of pre- and post-burning. **International Journal of Climatology**. 14, 102-107, 1994.

GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. Balço de radiação em área de pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 8, n. 1, p. 1-10, 2000.

GASH, J. H. C.; SHUTTLEWORTH, W. J. Tropical deforestation: albedo and the surface-energy balance. **Climatic Change**. v. 19, n.1-2, p. 123-133, 1991.

GIAMBELLUCA, T. W; HOLSCHER, D.; BASTOS, T. X.; FRAZÃO, R. R.; NULLET, M. A.; ZIEGLER, A. D. Observations of albedo and radiation balance over postforest surfaces in the Eastern Amazon basin. **Journal of Climate**, Boston, v. 10, p. 919-928, 1997.

HASSIKA, P.; BERBIGIER, P. Annual cycle of photosynthetically active radiation in maritime pine forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 90, n.3, p. 157-171, 1998.

HAYWOOD, J.; BOUCHER, O. Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: a review. **Reviews of Geophysics**, v. 38, p. 513-543, 2000.

HENDERSON-SELLERS, A.; DICKINSON, R. E.; DURBIDGE, T. B. et al. Tropical deforestation modelling: local to regional scale climate change. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 98, n. 4, p. 7289-7315, 1993.

HODNETT, M. G.; OYAMA, M. D.; TOMASELLA, J.; MARQUES FILHO, A. O. Comparisons of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia. In: **Amazonian deforestation and climate** (eds. J.H.C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts, R. L. Victoria). Chichester: John Wiley, p. 57-77, 1996.

IDSO, S. B.; JACKSON R. D. Thermal Radiation from the Atmosphere. **Journal Geophysics Research**, v. 74, n. 23, p. 5397-5403, 1969.

IDSO, S. B. A set of equations for full spectrum and 8 to 14 μm and 10.5 to 12.5 μm thermal radiation from cloudless skies. **Water Resources Research**, v. 17, n. 2, p. 295-304, 1981.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite Projeto Prodes (www.obt.inpe.br/prodes), 2007.

KLEIDON, A.; HEIMANN, M. Assessing the role of deep rooted vegetation in the climate system with model simulations: mechanism, comparison to observations and implications for amazonian deforestation. **climate dynamics**, v. 16, p.183-199, 2000.

LEAN, J.; ROWNTREE, P. Understanding the sensitivity of a GCM simulation of Amazonian deforestation to the specification of vegetation and soil characteristics. **Journal of Climate**, v.10, p.1216 - 1235, 1997.

LEITÃO, M. M. V. B. R. **Balço de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa**. São José dos Campos. 153p. (INPE-5587-TDI/549). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, G. M. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 6, n. 2, p. 256-261, 2002.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos florestais da Amazônia 2003**. Belém: Imazon, 110p. 2003.

MANZI A. O.; SANTOS, J. M.; MOLION, L. C. B. Estudos de radiação de onda longa em floresta de terra firme na região de Manaus. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 4., Londrina, 1985. **Anais**. Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985. v. 2, p. 113-124.

MANZI, A. O.; VISWANADAM, Y.; SÁ, L. D. A.; ANDRÉ, R. G. B. **Um estudo sobre o balanço de radiação da floresta Amazônica**. São José dos Campos. (INPE-3956-PRE/974). 1986.

MANZI, A. O.; PLANTON, S. A simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with ABRACOS and ARME data. In: **Amazonian deforestation and climate** (eds. J.H.C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts, R. L. Victoria). Chichester: John Wiley, p. 505-529, 1996.

MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 julho 2007.

MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; BENINCASA, M.; SOUZA, J. L.; NASCIMENTO FILHO, M. F. Variação do albedo em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 7, n. 2, p. 163-168, 1999.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**. v. 4, n. 10, p. 957-988, 1991.

OLIVEIRA, P. J.; ROCHA, E. J. P.; FISCH, G.; KRUIJT, B.; RIBEIRO, J. B. M. Efeitos de um Evento de Friagem nas Condições Meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso. **Acta Amazônica**. v. 34, n. 4, p. 613-619, 2004.

PEREIRA, A. R. ; FARIAS, S. E. M. ; NOVA, N. A. V. . Energy balance and the Priestley-Taylor parameter for forested areas in th Amazon region. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 193-199, 2001.

PRATA, A .J. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. **Quarterly Journal Resource Meteorological Society**, v. 122, p. 1127-1151, 1996.

PROCÓPIO, S.; ARTAXO, P; KAUFMAN, Y. J.; REMER, L. A.; SCHAEFER, J.; HOLBEN, B.N. Multiyear analysis of amazonian biomass burning smoke radiative forcing of climate. **geophysical research letters**, 31, 103108, doi:10.1029/2003GI018646, 2004.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e Comparação de Radiação Solar Global e Albedo com Ângulo Zenital na Região Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 21, n. 3a, p. 42-49, 2006.

RESCHKE, G. A. **Influência do desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em Ji-Paraná, Rondônia**. Viçosa. 51p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

RIBEIRO, J. B. M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia.** Viçosa. 67p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.

SALATI, E.; NOBRE, C. A. Possible climatic impacts of tropical deforestation. **Climatic Change**, v. 19, n.1-2, p. 177-196, Set. 1991.

SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J. H. C.; LLOYD, C. R.; MOORE, C. J.; ROBERTS, J.; MARQUES, A. O.; FISCH, G.; SILVA, V. P.; RIBEIRO, M. N. G.; MOLION, L. C. B.; SÁ, L. D. A.; NOBRE, C. A.; CABRAL, O. M. R.; PATEL, S. R.; MORAES, J. C. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, n. 110, v. 466, p. 1163-1169, Oct. 1984b.

SILVA DIAS, M.A.F.; COHEN, J. C. P.; GANDU, A. W. Interações entre Nuvens, Chuvas e a Biosfera na Amazônia. **Acta Amazonica**. v. 35, n. 2, p. 215-222, 2005.

SOUZA FILHO, J. D. C. **Variação Sazonal dos Componentes do Balanço de Radiação e energia sobre a floresta de Caxiuanã.** Viçosa. 67p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SOUZA FILHO, J. D. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P.; ROCHA, E. J. P. Variação Sazonal do Balanço de Radiação em uma Floresta Tropical no Nordeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 21, n. 3b, p. 318-330, 2006.

SWINBANK, W. C. Long-Wave Radiation from clear skies. **Quarterly Journal Resource Meteorological Society**, v. 89, n. 381, p. 339-348, July. 1963.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Meteorologia Descritiva. São Paulo, Nobel, 374 p., 1988.

TUOMISTO, H. K.; RUOKOLAINEN, R.; KALLIOLA, R.; LINNA, A.; DANJOY, W.; RODRIGUES, Z. Dissecting Amazonian biodiversity. **Science**. v. 269, p. 63-66, 1995.

VIANELO, R. L.; ALVES, A. R., Meteorologia Básica e Aplicada. Viçosa, Impr. Universidade Federal de Viçosa, 449p., 1991.

VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**. p. 1-22, 2004.

VON RANDOW, R. C. S.; ALVALÁ, R. C. S. Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica no Pantanal Sul Mato-Grossense Durante os Períodos Secos de 1999 e 2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 21, n. 3b, p. 398-412, 2006.

VOLDOIRE, A.; ROYER, J. F. Tropical deforestation and climate variability. **Climate Dynamics**, v.22, p. 857-874, 2004.

YAMASOE, M. A. **Estudo de propriedades ópticas de partículas de aerossóis a partir de uma rede de radiômetros solares**. São Paulo. 255p. Tese (Doutorado em Física no Clear) Instituto de Física de São Paulo. Universidade de São Paulo, 1999.