



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**ESTIMATIVA DA f_{APAR} UTILIZANDO TRÊS
MÉTODOS PARA UMA FLORESTA DE TRANSIÇÃO
AMAZÔNIA-CERRADO**

MARICÉIA TATIANA VILANI

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Luciana Sanches

Cuiabá - MT
Fevereiro de 2007



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**ESTIMATIVA DA f_{APAR} UTILIZANDO TRÊS
MÉTODOS PARA UMA FLORESTA DE TRANSIÇÃO
AMAZÔNIA-CERRADO**

MARICÉIA TATIANA VILANI

*Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Física
e Meio Ambiente da Universidade
Federal de Mato Grosso, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Física e Meio Ambiente.*

Orientadora: Prof^a. Dr^a Luciana Sanches

Cuiabá – MT
Fevereiro de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

FOLHA DE APROVAÇÃO

**ESTIMATIVA DA f_{APAR} UTILIZANDO TRÊS MÉTODOS PARA
UMA FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO**

AUTORA: MARICÉIA TATIANA VILANI

Dissertação defendida e aprovada em _____ de _____ de 2006, pela
comissão julgadora:

Prof^ª. Dra. Luciana Sanches - Orientadora
Programa de Absorção Temporária de Doutores - ProDoc/CAPES

Prof. Dr. Marcos Heil Costa - Examinador Externo
Universidade Federal de Viçosa - UFV

Prof. Dr. Jorge Luiz Brito de Faria - Examinador Externo
Instituto de Ciências Exatas e da Terra - UFMT

Prof. Dr. José de Souza Nogueira – Examinador Interno
Instituto de Ciências Exatas e da Terra - UFMT

DEDICATÓRIA

- A Deus, pela vida, pela fé e força dada em todos os momentos da minha vida;
- À LUCIANA SANCHES, orientadora, por toda sabedoria, incentivo e amizade dadas no decorrer deste trabalho;
- A minha irmã, VALDIRENE VILANI, pelo incentivo, compreensão e paciência, durante essa jornada;
- Aos meus pais, pelo apoio e confiança que dedicaram em mim;
- A todos os demais professores e colegas, pelo apoio e amizade.

AGRADECIMENTOS

- À Deus por estar sempre ao meu lado, me dando força e guiando meus caminhos.
- À minha irmã, Valdirene Vilani, por estar sempre me apoiando, e me ajudando.
- Aos meus pais, Vilmar Vilani e Dulce T. Vilani, por confiarem e acreditarem em min.
- A minha querida orientadora, Professora Dr^a Luciana Sanches pela excelente orientação na realização deste trabalho de pesquisa, pelo carinho e amizade que para sempre ficarão.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), pelos seus ensinamentos, amizade, apoio e confiança.
- Ao Prof. Denilton Carlos Gaio, pela grande ajuda, para a realização deste trabalho.
- À Camila Fraga, pela ajuda, colaboração e amizade, para a realização deste trabalho.
- A todos os demais professores do Mestrado, pelos ensinamentos.
- À minha amiga Suelly Alegria, pela sua amizade e companheirismo.
- Ao meu amigo, de muitas ajudas Osvaldo Borges.
- A todos os demais amigos, que ficarão no meu coração para sempre.
- À todos os que não foram mencionados, e que de alguma forma auxiliaram na realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.
- Ao Departamento de Física, pela possibilidade de fazer este Mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	iv
LISTA DE SÍMBOLOS	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 FLORESTA AMAZÔNICA	4
2.2 FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO	6
2.3 RADIAÇÃO	6
2.3.1 <i>Interação da radiação solar com a planta e o dossel vegetativo</i>	7
2.3.2 <i>Radiação Fotossinteticamente Ativa</i>	9
2.3.2.1 <i>Transmitância</i>	10
2.3.2.2 <i>Refletância</i>	10
2.3.2.3 <i>Absortância</i>	11
2.3.2.3.1 <i>Estimativa da f_{APAR} por modelagem</i>	12
2.3.2.3.2 <i>Estimativa da f_{APAR} pelo produto MODIS</i>	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.2 INSTRUMENTAÇÃO	18
3.3 ESTIMATIVA DA TRANSMITÂNCIA.....	20
3.4 ESTIMATIVA DA REFLETÂNCIA.....	21
3.5 ESTIMATIVA DO ÂNGULO SOLAR ZENITAL	21
3.6 ESTIMATIVA DA f_{APAR}	22
3.6.1 <i>Medições de Campo</i>	22
3.6.2 <i>Modelagem</i>	22
3.6.3 <i>Produto do MODIS</i>	24
3.7 TRATAMENTO DOS DADOS	25
3.7.1 <i>Dados de Campo</i>	25
3.7.2 <i>Dados da Modelagem</i>	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 RESULTADOS OBTIDOS POR OBSERVAÇÕES DE CAMPO.....	28
4.1.1 <i>Caracterização do Microclima da Área em Estudo</i>	28
4.1.1.1 <i>Precipitação</i>	28
4.1.1.2 <i>Sazonalidade da Umidade Relativa do Ar, Temperatura do Ar, PAR e Radiação Solar Global</i>	30
4.1.1.3 <i>Variação diária da Umidade Relativa do Ar, Temperatura do Ar, PAR e Radiação Solar Global</i>	32

4.1.1.4	<i>Perfil da Temperatura do Ar nas Diferentes Alturas do Dossel</i>	34
4.1.1.5	<i>Temperatura do Ar e do Solo</i>	35
4.1.1.6	<i>Temperatura do Solo, Conteúdo de Água no Solo, Umidade relativa do ar e precipitação</i>	37
4.1.2	<i>Transmitância</i>	41
4.1.3	<i>Refletância</i>	46
4.1.4	<i>Absortância</i>	49
4.2	ABSORTÂNCIA OBTIDA POR MODELAGEM.....	51
4.3	ABSORTÂNCIA OBTIDA PELO PRODUTO MODIS.....	52
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE ESTIMATIVAS DA f_{APAR} BASEADAS EM MEDIÇÕES DE CAMPO, MODELAGEM E PRODUTO DO MODIS.....	54
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	58
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	59
6	BIBLIOGRAFIAS.....	60
6.1	BIBLIOGRAFIAS CITADAS.....	60
6.2	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtos utilizados para a geração do MOD15.....	15
Figura 2 - Localização da área de estudo.....	17
Figura 3 - Variação do dia médio da umidade relativa do ar, Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), Radiação Solar Global (Rsd) e temperatura do ar nas estações.....	33
Figura 4 - Média da temperatura do ar nas diferentes alturas do dossel no (a) ciclo diurno e (b) ciclo noturno para as diferentes estações.....	34
Figura 5 - Média diária da temperatura do ar e do solo na (a) estação úmida, (b) úmida-seca, (c) seca e (d) seca-úmida no ano de 2003.....	36
Figura 6 - Valores de umidade relativa do ar e o conteúdo de água no solo em dias consecutivos na (a) estação úmida (28 a 32d), (b) úmida-seca (97 a 101d), (c) seca (178 a 182d) e (d) seca-úmida (219 a 223d) no ano de 2003.....	40
Figura 7 - Correlação entre transmitância entre as alturas de 42 e 20 m ($t_{\text{topo-20}}$) e transmitância entre as alturas de 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$) para os anos de 2002 e 2003.	43
Figura 8 - Transmitância entre as alturas de 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$) em função do ângulo solar zenital, nos anos (a) 2001, (b) 2002 e (c) 2003. O gráfico representa uma distribuição assimétrica à direita, onde a distância do terceiro quartis à mediana é maior que a distância da mediana ao primeiro quartis, mostrando com isto que 75% dos dados da transmitância estão entre o terceiro quartis e o limite superior.....	45
Figura 9 - Refletância (r) para os anos de 2001, 2002 e 2003.	46
Figura 10 - Refletância do topo ao solo do dossel em função do ângulo zenital, nos anos de (a) 2001, (b) 2002 e (c) 2003. O gráfico representa uma distribuição assimétrica à direita, sendo a distância do terceiro quartis à mediana maior que a distância da mediana ao primeiro quartis, com 75% dos dados da refletância entre o terceiro quartis e o limite superior.....	48
Figura 11 - Correlação entre os valores mensais de transmitância entre as alturas de 42 e 0m ($t_{\text{topo-0}}$) e absorptância, para os anos de 2001, 2002 e 2003.....	50
Figura 12 - Correlação entre os valores mensais de refletância entre as alturas de 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$) e absorptância, para os anos de 2001, 2002 e 2003.....	50
Figura 13 – Valores mensais de f_{APAR} estimada por modelagem para os anos de 2001, 2002 e 2003.....	52

Figura 14 – *Box-Plots* dos métodos usados no período das 10h30min para a estimativa da f_{APAR} . O gráfico representa para os três métodos uma distribuição assimétrica à esquerda, sendo a distância do terceiro quartis a mediana menor que a distância da mediana ao primeiro quartis, representado com isto 75% da estimativa da f_{APAR} entre o primeiro quartis e o limite inferior..... 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Precipitação mensal nos anos de 2001 a 2003, média dos anos 2001 a 2003 (dados obtidos pela Fazenda Continental a 17 km do sítio experimental) e dados de precipitação de 2002 segundo PRIANTE FILHO <i>et al.</i> (2004), do sítio experimental.....	29
Tabela 2 - Média estacional da precipitação acumulada nos anos de 2001 a 2003 (dados obtidos pela Fazenda Continental a 17 km do sítio experimental).....	30
Tabela 3 - Valores das médias estacionais dos anos de 2001 a 2003 da umidade relativa do ar, temperatura, Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) e Radiação Solar Global (Rsd) (média \pm DP).....	32
Tabela 4 - Temperatura do solo, conteúdo de água no solo, umidade relativa do ar e precipitação acumulada estacional no ano de 2003.	38
Tabela 5 – Média mensal da transmitância entre as alturas de 42 e 0 m (t_{topo-0}), transmitância entre as alturas de 42 e 20 m ($t_{topo-20}$) e transmitância entre as alturas de 20 e 0 m (t_{20-0}) nos anos de 2001, 2002 e 2003.....	42
Tabela 6 - Média (\pm DP) da Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa (f_{APAR}), entre a altura de 42 e 0 m, para os anos de 2001, 2002 e 2003 e a média trienal (\pm DP).....	49
Tabela 7 - Valores das médias estacionais (média \pm DP) dos anos de 2001 a 2003 da Fração Absorvida da Radiação Fotossinteticamente Ativa (f_{APAR}), sem fator de correção (SFC) e com fator de correção (CFC).	51
Tabela 8 - Dados mensais da f_{APAR} e Controle de Qualidade (QA), estimada pelo MODIS, para os anos de 2001, 2002 e 2003.	53
Tabela 9 - Médias anuais da f_{APAR} calculadas com valores mensais diurnos e com valores mensais das 10h30min.....	54
Tabela 10 - Médias estacionais da f_{APAR} , calculadas com valores mensais, diurnos para Medições de Campo (SFC e CFC) e Modelagem e das 10h30min para o Produto do MODIS.	55

LISTA DE ABREVIATURAS

APAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida
APR-MT	Associação de Proprietários Rurais de Mato Grosso
CFC	Com Fator de Correção
CLM	<i>Common Land Model</i>
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBIS	<i>Integrated Biosphere Simulator</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAI	Índice de Área Foliar
LBA	Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia
PAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa
MOD09	Produto de refletância da superfície do MODIS
MOD12	Produto de cobertura do solo do MODIS
MOD13	Produto de índice de vegetação
MOD15	Produto f_{APAR}/LAI
MOD17d	Produto de produção primária líquida/fotossíntese líquida.
MOD15A1	Produto f_{APAR}/LAI diário do MODIS
MOD15A2	Produto f_{APAR}/LAI composto num período de 8 dias do MODIS
MOD15_BU	Produto f_{APAR}/LAI composto num período de um mês do MODIS
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NPP	<i>Net Primary Production</i>

QA	Controle de qualidade (<i>Quality Assessment</i>)
SAI	Índice de Área Foliar dos Galhos
SFC	Sem Fator de Correção

LISTA DE SÍMBOLOS

a_{1dif}	Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Difusa Absorvida pelo dossel inferior
a_{1dir}	Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Direta Absorvida pelo dossel inferior
$APAR_t$	Radiação Fotossinteticamente Ativa Total Absorvida
a_{udif}	Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Difusa Absorvida pelo dossel superior
a_{udir}	Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Direta Absorvida pelo dossel superior
β	Ângulo de elevação em relação ao horizonte
DP	Desvio Padrão
δ	Declinação solar
ϕ	Latitude local
J	Dia juliano
f_{APAR}	Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida
f_{dif}	Fração de radiação solar incidente difusa
f_{vis}	Fração da energia da radiação solar incidente na banda do visível
PAR_i	Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente no topo do dossel
PAR_{1dif}	Radiação Fotossinteticamente Ativa difusa incidente no dossel inferior
PAR_{1dir}	Radiação Fotossinteticamente Ativa direta incidente no dossel inferior
PAR_{udif}	Radiação Fotossinteticamente Ativa difusa incidente no dossel superior

PAR_{udir}	Radiação Fotossinteticamente Ativa direta incidente no dossel superior
PAR_{20}	Radiação Fotossinteticamente Ativa a 20 metros de altura do dossel
PAR_0	Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente no solo
PAR_r	Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida pelo dossel
PAR_{ro}	Radiação refletida pela parte inferior do dossel
r	Refletância da Radiação Fotossinteticamente Ativa
R_{sd}	Radiação Solar Global
t	Transmitância da Radiação Fotossinteticamente Ativa
t_z	Horário para o ângulo solar zenital
t_o	Hora do Sol ao entardecer
$t_{topo-20}$	Transmitância do topo a 20 m de altura do solo
t_{topo-0}	Transmitância do topo ao solo
X_i	Valor da série de dados a ser preenchido
X_p	Antecessor da falha da série de dados
X_{p-f-i}	Sucessor da falha da série de dados
Z	Ângulo solar zenital

RESUMO

VILANI, M. T. Estimativa da f_{APAR} utilizando Três Métodos para uma Floresta de Transição Amazônia - Cerrado. Cuiabá, 2006. Dissertação (mestrado) – Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso.

A floresta Amazônica tem sido um foco de atenção mundial em virtude dos possíveis efeitos que o desmatamento e queimadas em grande escala podem provocar, ocasionando mudanças climáticas. Estudos detalhados de variáveis micrometeorológicas são de suma importância para entender melhor a interação biosfera-atmosfera nestes ecossistemas. Este trabalho avaliou o microclima e a absorvância da Radiação Fotossinteticamente Ativa por meio de observações de campo, modelagem e produto do MODIS em uma floresta de Transição Amazônia Cerrado, no período de 2001 a 2003. Equipamentos de medidas micrometeorológicas foram instalados a 42 metros, situada a 50 km da cidade de Sinop, norte do Estado de Mato Grosso. O microclima apresentou sazonalidade com estações seca e úmida definidas. A f_{APAR} modelada foi estimada usando o Integrated Biosphere Simulator (IBIS) que simula os fluxos no sistema solo-vegetação-atmosfera. A f_{APAR} estimada por sensoriamento remoto utilizou o produto mensal da f_{APAR} com o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Os valores médio trienais da f_{APAR} foram 0,92, 0,71 e 0,82, para observações de campo, modelagem e produto do MODIS, respectivamente. A análise de médias dos escores entre os três métodos aplicados para a estimativa da f_{APAR} detectou diferença altamente significativa.

Palavras-chave: Microclima, modelagem, produto MODIS.

ABSTRACT

VILANI, M. T. Estimate f_{APAR} using three methods for Cerrado-Amazon Transition Forest. Cuiabá, 2006. Dissertation (magister) - Physical and Environment. Federal University of Mato Grosso.

The Amazonian forest has been a focus of world attention due possible effect produced by the large-scale deforestation and forest fires, occurring climatic changes. Detailed studies of micrometeorological variables are of maximum importance to better understand of the biosphere-atmosphere interaction in these ecosystems. This work evaluated the microclimate and the absortance of Photosynthetically Active Radiation estimated based on field measurements, modeling and MODIS f_{APAR} product in the Cerrado Amazon Transitional Forest, during the period from 2001 to 2003. Micrometeorological instruments were installed above 42 meters in a tower, situated at 50 km of the city of Sinop, northern of Mato Grosso. The microclimate is seasonal, with wet and dry seasons defined. The f_{APAR} was modeled using Integrated Biosphere Simulater (IBIS) which simulates the fluxes in the soil-vegetation-atmosphere system. The f_{APAR} estimated by remote sensing used the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) monthly f_{APAR} product. The 3-year average values the of f_{APAR} were 0.92, 0.71 and 0.82, for field measurements, modeling and MODIS product, respectively. The analysis of score averages between three methods applied for the estimate of f_{APAR} , detected significant difference highly.

keywords: microclimate, modeling, MODIS product.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

A floresta Amazônica tem sido um foco de atenção mundial em virtude dos possíveis efeitos que o desmatamento e queimadas em grande escala podem provocar, ocasionando mudanças climáticas. Ela é uma região de grande diversidade de vegetação, onde se estende por outros ecossistemas, cerrado, pantanal, floresta tropical úmida e floresta de transição (Amazônia-Cerrado), devido a isto muitos projetos de pesquisa estão sendo desenvolvidos nesta área. As florestas de transição possuem importantes biomas a serem estudados principalmente no norte do Mato Grosso, onde estão inseridas no arco do desmatamento; região que sofre constantemente as ações antrópicas, em que podem alterar sua composição e estrutura florestal e conseqüentemente alterar o microclima regional.

Das variáveis micrometeorológicas, a radiação solar incidente ou insolação é primordial, pois determina os processos físicos e biológicos num ecossistema, onde os níveis de radiação solar são um dos principais fatores que determinam a distribuição espacial das espécies e a dinâmica das florestas.

Existem fatores que definem a eficiência do uso da radiação por um ecossistema, como a produção de matéria seca, assim como a quantidade de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) absorvida ou interceptada pelo dossel. As variáveis mais significativas na determinação da Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (f_{APAR}) são a cobertura do solo, a área foliar, o ângulo solar, a proporção da radiação difusa e a refletância do solo.

Para uma estimativa mais precisa da f_{APAR} é necessário um monitoramento detalhado para poder verificar a produtividade de uma superfície vegetada. Sendo o dossel um dos fatores que influenciam na radiação, o seu aspecto na floresta pode trazer variações na refletância, transmitância e absorvância.

Técnicas de modelagem são uma ferramenta importante para o entendimento do sistema climático, assim como de variáveis como f_{APAR} , complementando as técnicas observacionais. Modelos acoplados que estudam a interação atmosfera-biosfera estão se tornando cada vez mais sofisticados, incorporando a circulação da atmosfera, o funcionamento dos ecossistemas terrestres, incluindo seus processos biofísicos e biogeoquímicos. Como desvantagem, estes modelos exigem grandes quantidades de dados de entrada e parâmetros para a sua operação, e esses dados são coletados por pesquisas de campo, ou via sensoriamento remoto. O modelo Integrado de Simulação da Biosfera – IBIS é denominado um modelo dinâmico da vegetação global. Este modelo compreende diversos processos, incluindo as interações entre a superfície e a atmosfera, ciclos de carbono e nutrientes e dinâmica da vegetação. Os processos do IBIS estão organizados hierarquicamente e operam em diferentes intervalos de integração, variando de 60 minutos a 1 ano, permitindo um acoplamento de processos ecológicos, biofísicos e fisiológicos que ocorrem em escalas de tempo distintas.

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um sensor a bordo do satélite Terra, lançado em dezembro de 1999. Ele observa a terra a cada 1 a 2 dias, obtendo dados em 36 bandas espectrais em resoluções espaciais que variam de 250 a 1000 m, cobrindo o espectro de 0,4 μm a 14,4 μm . O MODIS fornece estimativas de cobertura do solo, IAF, f_{APAR} , GPP (*Gross Primary Productivity*) e NPP (*Net Primary Production*), o que o torna extremamente conveniente para ser usado em conjunto com modelos de simulação e validação de ecossistemas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A caracterização do microclima de uma floresta possibilita um monitoramento ambiental, favorecendo a proteção dos recursos naturais e o desenvolvimento regional. O monitoramento da Biosfera Terrestre é importante para detectar os impactos que a floresta recebe e que podem alterar sua dinâmica, como o balanço de energia e o vapor d'água. Uma das principais fontes de energia para o crescimento e a produtividade das espécies vegetais é a Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (f_{APAR}) responsável pelo processo da fotossíntese. A estimativa da f_{APAR} pode também ser usada para propor e projetar um

índice da vegetação que pode descrever o estado do sistema em estudo. Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar o microclima de uma floresta de transição Amazônica-Cerrado e estimar a f_{APAR} baseada em dados de campo, modelagem e sensoriamento remoto.

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivos específicos:

- avaliar a sazonalidade da precipitação, Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente, Radiação Solar Global, temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, conteúdo de água do solo;
- avaliar a variação do ciclo diurno e noturno da temperatura do ar nas diferentes alturas do dossel;
- estimar a f_{APAR} por meio de observações de campo;
- estimar a f_{APAR} por meio de modelagem utilizando software Integrated Biosphere Simulator (IBIS), versão 0-D;
- estimar a f_{APAR} , por meio do produto do MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer);
- Comparar as estimativas de f_{APAR} baseadas em medições de campo, modelagem e sensoriamento remoto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FLORESTA AMAZÔNICA

Globalmente, a Amazônia contempla a maior floresta tropical permanente do mundo (FUJISAKA *et al.*, 1998), no seu interior, podem surgir vários outros tipos de florestas como: matas de várzea, aluviões fluviais, mata de terra firme, igapó, caatingas do rio Negro, e algumas savanas esparsas, podendo ser denominadas de Cerradão, que se encontra em boa parte em zonas de transição ou denominadas também de zona ecotonal (CECCON & MIRAMONTES, 1999). O número de espécies de vegetais é muito grande, onde existem mais espécies de árvores em poucos hectares do que em toda flora da Europa (RICKLEFS, 1996). Sendo a região Amazônica uma importante fonte de calor e vapor de água para a atmosfera global, possuindo um papel fundamental na circulação atmosférica global, vista como o maior reservatório de diversidade biológica do planeta.

A Amazônia Legal é compreendida em uma área que corresponde a 59% do território brasileiro, com aproximadamente 5,5 milhões de km², formado pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Acre e Amapá e parte dos estados do Maranhão e Mato Grosso (CECCON & MIRAMONTES, 1999). A maior parte (64%) da cobertura vegetal da Amazônia Legal é floresta. Os cerrados e campos representam 24%, enquanto cerca de 12% da Amazônia está alterada pela ação antrópica (a maioria, área desmatada) (LENTINI *et al.*, 2003).

Segundo estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2006), cerca de 25.500 km² da Amazônia Legal foram desmatados, no período entre agosto de 2001 e agosto de 2002. Um aumento de 40% em relação ao período anterior e uma área maior do que o estado de Alagoas. Este índice é o segundo maior

da história, inferior apenas ao de 1995, quando foram derrubadas 29.059 km². De acordo com esta projeção, a área cumulativa desmatada na Amazônia Legal chegou a 631.369 km² em 2002, correspondente a 15,7% de toda floresta Amazônica brasileira. O desmatamento além de provocar alterações no solo, água e atmosfera, age direta e indiretamente na biosfera, ocasionando mudanças em todo o clima, como por exemplo, o efeito estufa, que provoca o aquecimento global (PEREIRA *et al.*, 2002a).

Dentro da Amazônia Legal, a larga faixa climática ocupada pelo Cerrado (savana tropical mais seca) que separa a floresta de terra firme úmida da bacia central Amazônica, recebe especial atenção em função das trocas de massa e energia deste ecossistema e por ser em parte pouco conhecidas e quantificadas. A savana brasileira (Cerrado) inclui várias formações campestres, com vegetação gramínea, que mostram uma grande variabilidade estrutural e grandes diferenças em porte e densidade, no que influi na intensidade da ação antrópica. Essas formações ocorrem em vários tipos de clima, tanto sob climas estacionais tropicais com período de seca variando entre 3 e 7 meses, como sob climas ombrófilos sem período biologicamente seco. Representada por quatro subgrupos de formação: florestada, arborizada, parque e gramíneo-lenhosa (IBGE, 2004).

Os biomas terrestres não apresentam uma separação nítida entre si, apresentam em sua interface uma zona transicional denominada ecótono. A zona de transição entre o Bioma Amazônico e o Bioma Cerrado ocorre ao longo de toda interface da distribuição entre os dois biomas. Nesta zona de transição as duas vegetações coexistem, sobre as mesmas condições climáticas, dentro de um intenso regime de competição, formando um gradiente entre os biomas. Ao longo do tempo esta zona de transição se moveu, tendo tanto a floresta quanto o cerrado expandido e contraído os seus domínios em função das condições ambientais. A compreensão do funcionamento das áreas de ecótono entre a Floresta Amazônica e o Cerrado são fundamentais para compreender os mecanismos de deslocamento dos biomas e o destino destes perante as mudanças ambientais (TANNUS, 2004).

2.2 FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

As florestas de transição cobrem cerca de 129 mil km², onde grande parte desta extensão territorial esta na bacia Amazônica, predominada pela floresta ombrófila aberta, com transição entre a floresta Amazônica e o Cerrado (IBGE, 1997), sendo o território Mato-Grossense formado por 42% de floresta de transição e Cerrado, cerca de 379.410.321,36 ha (APR-MT, 2006).

A floresta de transição foi conceituada, como tendo uma fisionomia florestal composta de árvores mais espaçadas, com estrato arbustivo pouco denso e caracterizado pelas fanerófitas rosuladas, e pelas lianas lenhosas, com árvores perenes, de pálio alto (28-30 m, aproximadamente) e dossel fechado (VOURLITIS *et al.*, 2001). As áreas de transição são também conhecidas pela sua grande diversidade de espécies vegetais, sendo representada por três grupos de formação: aluvial, de terras baixas e submontana (IBGE, 2004).

Estudos em florestas de transição possibilitam conhecer o ecossistema melhor, compreendendo sua influência e sua contribuição nas interações entre o clima e nas mudanças da cobertura vegetal.

2.3 RADIAÇÃO

A radiação solar é a fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos e de processos físicos, químicos e biológicos observados em ecossistemas agrícolas, podendo ser aproveitada sob várias formas, tais como a captura pela biomassa, o aquecimento de ar e água para fins domésticos e industriais, fotoeletricidade para pequenos potenciais e fontes para ciclos termodinâmicos variados (PEREIRA, *et al.*, 2002b).

O sistema Terra-Atmosfera absorve aproximadamente, 70% da energia emitida pelo Sol. Os restantes, 30% são refletidos de volta ao espaço, sem serem absorvidos. O sistema energético global Terra-Atmosfera é, portanto, positivo: o percentual de energia absorvida é superior ao de energia refletida. A atmosfera apresenta balanço negativo (absorve 17% e reflete 30%), enquanto a Terra apresenta

balanço positivo (absorve 47% e reflete 6%). Isso demonstra que a Terra é uma fonte de calor para a atmosfera. Assim, a irradiação do calor da Terra aquece a troposfera (baixa atmosfera) mais do que a radiação direta do Sol (CPTEC, 2006).

Segundo MÖTTUS *et al.* (2001) quando a radiação solar se propaga por meio da atmosfera terrestre, ela é atenuada pela dispersão (devido às moléculas e aerossóis) e pela absorção do ozônio, vapor d'água, oxigênio e dióxido do carbono. Particularmente a alta variabilidade no tempo e espaço é devido a parte de vapor d'água assim como pelo conteúdo e propriedades das partículas ópticas dos aerossóis.

A quantidade de radiação solar que atinge a superfície da terra em dado local, tempo e época do ano são fundamentais para a produtividade de uma cultura, devido a sua proporcionalidade com relação à quantidade e distribuição durante o ano. A planta responderá a quantidades instantâneas da radiação solar e, valores máximos durante o dia são críticos para determinados processos da planta, por exemplo, crescimento, fotossíntese, aumento de peso úmido, reserva de açúcar, absorção de água, etc. A temperatura da planta, que governa a taxa de processos biológicos, depende da radiação solar global ou total incidente sobre a mesma (ASSIS, 2005), onde a radiação solar global é constituída pela radiação solar direta e a radiação difusa. Para ANHUF & WINKLER (1999), a distribuição da radiação solar e a luz influenciam não somente no crescimento das plantas, mas também no comportamento dos animais.

2.3.1 Interação da radiação solar com a planta e o dossel vegetativo

A radiação solar que chega a superfície da terra (radiação global), ao atingir a planta, interage com a mesma por meio de três processos: uma parte dessa radiação é *absorvida* pelos pigmentos contidos na folha. Essa quantidade que é absorvida participa na síntese de compostos ricos em energia (fotossíntese), altera estruturas moleculares (fotoconversão), acelera reações, como por exemplo, a foto-oxidação das xantofilas ou ainda destrói estruturas de uma molécula. A parte absorvida corresponde a aproximadamente 50% do total que chega até a planta. Outra parte é

refletida pelas folhas, fenômeno denominado de *reflexão*. Finalmente, uma terceira parte sofre o processo de *transmissão*, através das camadas de folhas que compõem a copa e através das camadas que constituem a folha, como a cutícula, o parênquima lacunoso e o paliçádico, entre outros (MOREIRA, 2001). As quantidades de energia absorvida, transmitida ou refletida pelas folhas das plantas podem diferir de uma espécie para outra ou até mesmo dentro da própria espécie, porque existem, dentre outros, os fatores ambientais que influenciam direta e indiretamente nesta interação.

Um dossel vegetativo pode ser composto por comunidades quase homogêneas, como áreas agrícolas ou comunidades bastante heterogêneas, como no caso de uma área ocupada por uma floresta natural. Sendo assim, um dossel vegetativo compõe as copas de uma comunidade de plantas, sendo caracterizado pelos seus componentes, sua organização e sua estrutura. Estudos recentes mostraram que a diferenciação estrutural nos dosséis de florestas tropicais é o maior responsável por variações nas propriedades da água e no balanço de energia (SHUTTLEWORTH, 1989; ANHUF *et al.*, 1999; SZARZYNSKI, 2000). O dossel representa uma parte distinta da floresta, funciona como uma superfície para a troca entre a vegetação e o ambiente abiótico. No que diz respeito às mudanças climáticas, o dossel da floresta tem o papel central no orçamento local e regional da água (SZARZYNSKI, 2000).

A interação da radiação solar com dosséis vegetativos se dá, principalmente, através dos pigmentos contidos nas folhas, portanto, os processos mencionados acima são válidos para a interação da radiação solar com dosséis.

Existem fatores que definem a eficiência do uso da radiação por um ecossistema, como a produção de matéria seca, assim como a quantidade de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) absorvida ou interceptada pelo dossel, (RADIN, 2003). Para os modelos de simulações de produção de biomassa, a radiação fotossinteticamente ativa é uma das informações essenciais, uma vez que constitui aproximadamente a metade da radiação solar (GOUDRIAAN, 1988).

2.3.2 Radiação Fotossinteticamente Ativa

A Radiação Fotossinteticamente Ativa ou *Photosynthetically Active Radiation* (PAR) é utilizada para medição da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos. Essa medição representa o número de fótons incidente entre 400 e 700 nanômetros por metro quadrado por segundo. Esses fótons podem ser usados pelas plantas verdes para o processo de fotossíntese, portanto a medida da PAR é um fator essencial para ser usado para verificar as interações da radiação com o ecossistema.

Um dossel é constituído por vários elementos, como folhas, galhos, frutos, flores e outros. As propriedades espectrais das folhas e de reflexões múltiplas entre elas fazem os dosséis vegetativos serem altamente absorventes de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), no intervalo do espectro visível (0,4 a 0,72 μm), e possuírem uma reflexão moderada na região próximo do infravermelho (0,72 a 4,0 μm). Quando a terra está sem cobertura vegetal, exhibe geralmente um aumento gradual na reflexão com comprimento de ondas entre 0,4 e 4,0 μm (SELLERS *et al.*, 1997).

O regime da radiação e mais especialmente a PAR dentro dos dosséis de floresta tem um papel importante com relação às mudanças da arquitetura e as trocas de massa e energia da floresta com a atmosfera. A PAR fornece a entrada da energia para os ciclos de carbono, do nitrogênio e da água das florestas: a disponibilidade do nitrogênio modera a capacidade fotossintética, a fotossíntese e a condutância estomática estão relacionadas, a condutância estomática regula a partição da energia solar em fluxos sensível e latente, entre outros. A PAR em um dado momento é dependente principalmente de dois fatores, posição do Sol e transmissividade da atmosfera. A posição do Sol segue um padrão regular, que pode ser usado para estimativa da PAR potencial de um dado momento e locação das condições de céu limpo (NÖJD & HARI, 2001).

Alguns modelos que descrevem a produção de fotossíntese usam dados instantâneos da PAR como uma importante variável de entrada. Esses modelos são mais úteis ao testar as produções das plantas por períodos longos. Entretanto, longos registros de medições da PAR instantâneas raramente estão disponíveis (NÖJD &

HARI, 2001). Conseqüentemente, há uma necessidade de séries de tempo longo de medições da PAR.

Contudo, para que se analise a interação entre a radiação eletromagnética e a superfície terrestre se faz necessária a obtenção de medidas radiométricas, e as medidas que descrevem o campo de radiação, resultante da interação das diferentes superfícies em estudos, são a transmitância, refletância e absortância.

2.3.2.1 *Transmitância*

A transmitância (t) é a fração de energia radiante que entra em uma camada de faces paralelas de um meio e consegue atravessá-la. Também pode ser definida como a razão entre a Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente transmitida para o interior de um dossel (PAR_0) e a Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PAR_i).

A transmitância da luz no dossel e a disponibilidade da PAR na superfície da floresta tem uma variação pronunciada entre as espécies das árvores (TURTON, 1985), e está relacionada com a fração de abertura do dossel, sendo influenciada pelo ângulo zenital e quantidade de radiação difusa (canopy clumping) (GOWER *et al.*, 1999). Abaixo de um dossel de floresta ocorre uma redução na quantidade da PAR (WHITMORE, 1998).

2.3.2.2 *Refletância*

A refletância é um parâmetro importante no estudo da interação da radiação solar com a Terra, e trata-se da relação entre o fluxo luminoso refletido por uma superfície e o que incide sobre ela, ou seja, é a razão entre a Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletida (PAR_r) por uma superfície pela Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PAR_i).

A refletância de uma superfície vegetada varia com o ângulo de elevação do Sol, tipo de vegetação, condições de umidade do ar e da superfície, umidade e tipo de solo, além da quantidade e do tipo de nuvens (AZEVEDO *et al.*, 1990; LEITÃO *et al.*, 2002). Para o caso de vegetação de floresta, como a folhagem é agrupada na

copa, com picos e depressões organizados nas superfícies dos dosséis, uma quantidade de radiação solar incidente penetra antes de ser refletida (SHUTTLEWORTH *et al.*, 1984a).

O albedo é a capacidade de reflexão da radiação solar de uma determinada superfície, pois é a razão entre a radiação eletromagnética refletida e a quantidade incidente, ele varia de 1 (reflexão total de corpo refletor perfeito) a 0 (absorção total de um corpo negro), que são extremos teóricos inexistentes na natureza. Mudanças antrópicas na cobertura da superfície e seu albedo afetam a fração de radiação solar refletida de volta ao espaço e, portanto constituem uma importante variável radiativa do clima (KAUFMAN *et al.*, 1998).

2.3.2.3 Absortância

A Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (f_{APAR}) é a proporção da radiação solar fotossintética disponível que um dossel absorve, na região visível do espectro solar (aproximadamente 400 a 700 nm). É definida pela razão APAR/PAR_i , em que PAR_i ($\mu\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ou $\text{W m}^{-2}\text{ d}^{-1}$) é a radiação incidente no topo do dossel e APAR ($\mu\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ou $\text{W m}^{-2}\text{ d}^{-1}$) é a radiação absorvida pelos tecidos fotossintetizantes do dossel. Esta fração varia de zero em terras sem cobertura vegetal e próximo de um para vegetação muito densa.

A evolução de ecossistemas terrestres é caracterizada por variáveis físicas, bioquímicas e fisiológicas, podendo, algumas delas, serem extraídas a partir de dados de sensoriamento remoto recolhidos no espaço com ótimo índice de aceitação, fazendo da Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (f_{APAR}) um ótimo indicador de status do dossel (GOBRON *et al.*, 2000). Com isso a f_{APAR} é uma variável que pode ser usada para quantificar a presença da vegetação com uma ótima confiabilidade em uma escala global.

Geralmente a f_{APAR} é medida diretamente com um método que utilize dados da APAR medidos a longo prazo. Entretanto, as medidas diretas de APAR em locais experimentais podem ser desafiadores, especialmente em dosséis heterogêneos como as florestas (GOWER *et al.*, 1999), onde as medidas instantâneas frequentemente podem sofrer interferências. A determinação da f_{APAR} depende da estrutura do

dossel, quantidade de folhagem, ângulo solar zenital, proporção de radiação difusa e a refletância do solo (MARISCAL *et al.*, 2000; NOUVELLON *et al.*, 2000). Em florestas, amostragens espaciais adequadas são extremamente difíceis de serem obtidas. Algumas vezes o Índice de Área Foliar (LAI) é estimado e a f_{APAR} calculada, assumindo um modelo do dossel padrão apropriado (GOWER *et al.*, 1999).

Para uma estimativa precisa da f_{APAR} é necessário um monitoramento detalhado, para verificar a produtividade de uma superfície vegetada. Sendo o dossel um dos fatores que influenciam na radiação, o seu aspecto na floresta pode trazer variações na refletância, transmitância e absorvância. A PAR absorvida pelas folhas verdes é suficiente para se estimar a fixação do carbono do dossel (GALLO *et al.*, 1993). Afortunadamente, os índices remotos de vegetação são mais bem relacionados com f_{APAR} (HALL *et al.*, 1990).

2.3.2.3.1 *Estimativa da f_{APAR} por modelagem*

As alterações da cobertura vegetal têm incentivado a elaboração de vários estudos, incluindo o desenvolvimento de uma variedade de modelos numéricos para simular o comportamento dos fluxos de carbono, água e energia nos ecossistemas (KUCHARIK *et al.*, 2000). O desenvolvimento destes modelos permitiu que diversos autores discutissem os prováveis efeitos da alteração da cobertura vegetal sobre os processos climáticos regionais e globais, concentrando-se na evolução dinâmica dos processos ecológicos, biofísicos, biogeoquímicos e biogeográficos que ocorrem em diferentes escalas de tempo (HURTT *et al.*, 1998).

Os modelos são as principais ferramentas para extrapolar as medições locais, para uma escala maior as medições locais, como por exemplo, a versão 2.6 pontual (0-D) do *Integrated Biosphere Simulator* (IBIS), que é um sofisticado modelo da interação atmosfera-biosfera, que incorpora os processos de transferência de calor e massa, alocação de carbono, crescimento de vegetação, ciclo do carbono terrestre completo, e competição entre biomas, sendo escrito em Fortran 77, com aproximadamente 30000 linhas de código. Uma das versões disponíveis gratuitamente é a versão 2-D do IBIS que está disponível em www.sage.wisc.edu. Modelos integrados como o IBIS, permitem estudar com mais profundidade as

interações entre a biosfera e a atmosfera, principalmente os diversos mecanismos de retroalimentação envolvidos. O módulo da superfície terrestre do IBIS simula as trocas de energia, água, CO₂ e *momentum* no sistema solo-vegetação-atmosfera. O modelo representa duas camadas de vegetação (árvores e gramíneas), oito camadas de solo e três de neve. Para capturar no ciclo diurno dos processos biofísicos e fisiológicos, o módulo da superfície terrestre usa um intervalo de integração relativamente curto, de 60 minutos.

Os dados de entrada para a estimativa da f_{APAR} no IBIS (versão 2-D), incluem seis variáveis de entrada (dados micrometeorológicos) obtidos por observações em campo ou estimados a partir de observações em campo como: velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar, saldo de radiação, precipitação e nebulosidade pelo dossel, e diversos fatores ecofisiológicos do dossel.

2.3.2.3.2 Estimativa da f_{APAR} pelo produto MODIS

O sensoriamento remoto, tido como uma fonte contínua e regular para a obtenção de dados da superfície terrestre, pode prover um monitoramento sistemático desse bioma, como o que vem sendo realizado pelos projetos LBA (“Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia”), PRODES Digital (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia - Versão digital) (DUARTE *et al.*, 2003), e SIAD (Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento) na região da Amazônia Legal, entre outros. Entre os sensores orbitais com dados disponibilizados para a comunidade científica destaca-se o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), um dos principais sensores de mapeamento global a bordo do satélite Terra, o EOS AM-1 Spacecraft, lançado em 18 de dezembro de 1999, começando a coletar dados em dezembro de 2000, com o horário de passagem as 10h30min da manhã.

O satélite EOS-AM possui órbita polar, sol-síncrona e carrega a bordo vários sensores: CERES, MOPITT, MISR, MODIS e o ASTER. Segundo BARKER *et al.* (1992), o MODIS apresenta inúmeras características, entre elas:

- Ampla cobertura espacial e espectral;

- Continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais, que já estão sendo estimadas por outros satélites, vindo a complementar as informações, já adquiridas por estes. Como exemplo, o conjunto de dados adquiridos pelo sensor AVHRR, usado para a meteorologia e monitoramento da temperatura da superfície do mar, gelo e vegetação; e pelo *Coastal Zone Color Scanner* (CZSC), usado para monitorar a biomassa oceânica e os seus padrões de circulação;
- É a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais.

O MODIS é um sensor de varredura muito versátil, com um espelho escaneador de movimento cruzado, coletor ótico e um conjunto e arranjos lineares com filtros de interferência espectral localizados em quatro planos focais. Adquire dados em 36 bandas espectrais distintas, com resoluções espaciais de 250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas) e 1 km (29 bandas) (COHEN & JUSTICE, 1999), o qual efetivamente e sistematicamente pode auxiliar no monitoramento de todo o bioma Cerrado, provendo mapas de cobertura e uso do solo (FERREIRA *et al.*, 2005).

Os produtos MODIS relacionados ao estudo da vegetação são basicamente três: MOD13 – *Vegetation Indices*, MOD15 – *Leaf Area Index / f_{APAR}* e MOD17 – *Net Primary Production / Net Photosynthesis*.

Por meio dos produtos do MOD15, como os produtos que estimam a f_{APAR} , assim como outras estimativas de cobertura do solo, pode-se fazer a análise da vegetação natural, pastagem e agricultura, que passam a ser realizadas numa escala multitemporal, que melhora o entendimento deste bioma, quanto a sua estrutura, funcionamento e papel ecológico.

O produto f_{APAR} do MODIS é produzido com uma resolução espacial de 1 km, podendo ser diário (MOD15A1), composto num período de oito dias (MOD15A2) baseado no valor máximo da f_{APAR} ou composto num período de um mês (MOD15_BU). O algoritmo para estimativa da f_{APAR} é baseado numa rigorosa teoria de transferência radiativa tridimensional que é otimizada por inversão usando tabelas de referência e aproximações sofisticadas para resolver a equação de transporte radiativo (PRIVETTE *et al.*, 2002; MYNENI *et al.*, 2002). Possui interfaces com os produtos de refletância da superfície (MOD09), cobertura do solo (MOD12) e

nuvens (MOD09). Um fluxograma dos algoritmos utilizados para a geração dos produtos do MOD15 é apresentado na Figura 1.

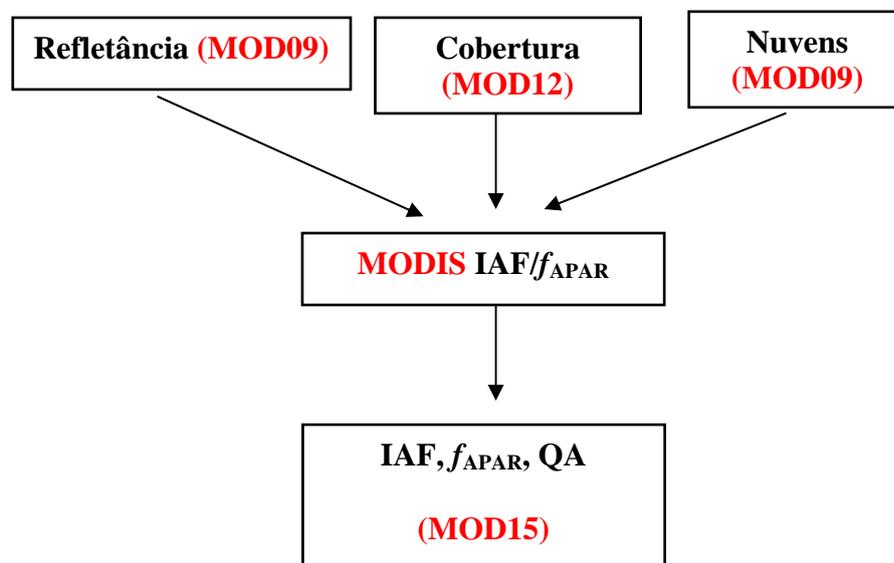


Figura 1 - Produtos utilizados para a geração do MOD15.
Fonte: INPE (2006).

Quando esse método falha ao localizar uma solução, um algoritmo reserva é utilizado baseado nas relações entre o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e a f_{APAR} (MYNENI *et al.*, 2002; KNYAZIKHIN *et al.*, 1999).

As imagens de sensoriamento remoto são resultados de uma varredura dos sensores sobre a área imageada. Esta varredura varia de acordo com a resolução espacial do sensor, ângulo de visada ou com o Campo de Visada Instantânea do Sensor (IFOV), porém, não isola objetos com resposta diferentes. Uma imagem qualquer é composta por diversos alvos diferenciados e estes se encontram distribuídos de forma “aleatória”, reproduzindo a superfície imageada. Assim, na imagem, sob a grade de *pixels* verticais e horizontais, os alvos se distribuem de forma disforme (disforme em relação à área dos *pixels*), de maneira que se deve considerar a presença de *pixels* misturados, em que a resposta de vários alvos está sendo refletida, e de *pixels* puros, em que a resposta de um único alvo está sendo refletida (FERREIRA *et al.*, 2005).

O desempenho do MODIS foi avaliado por [XIONG *et al.* \(2003\)](#) por mais de três anos de operação em órbita, junto com dados de pré-lançamento, os autores propuseram melhorias nas escolhas dos projetos, práticas e procedimentos que podem ser úteis no desenvolvimento de radiômetros multiespectrais lançados no espaço futuramente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo está situada na Fazenda Maracaí, localizada a aproximadamente 50 km NE de Sinop, Mato Grosso, Brasil ($11^{\circ}24,75'S$; $55^{\circ}19,50'O$), a 423 m acima do nível do mar, representando cerca de 20 km² da Amazônia Legal (Figura 2). Esta área é constituída por uma floresta tropical de transição, que ocupa o ecótono entre a floresta Amazônica e o Cerrado.

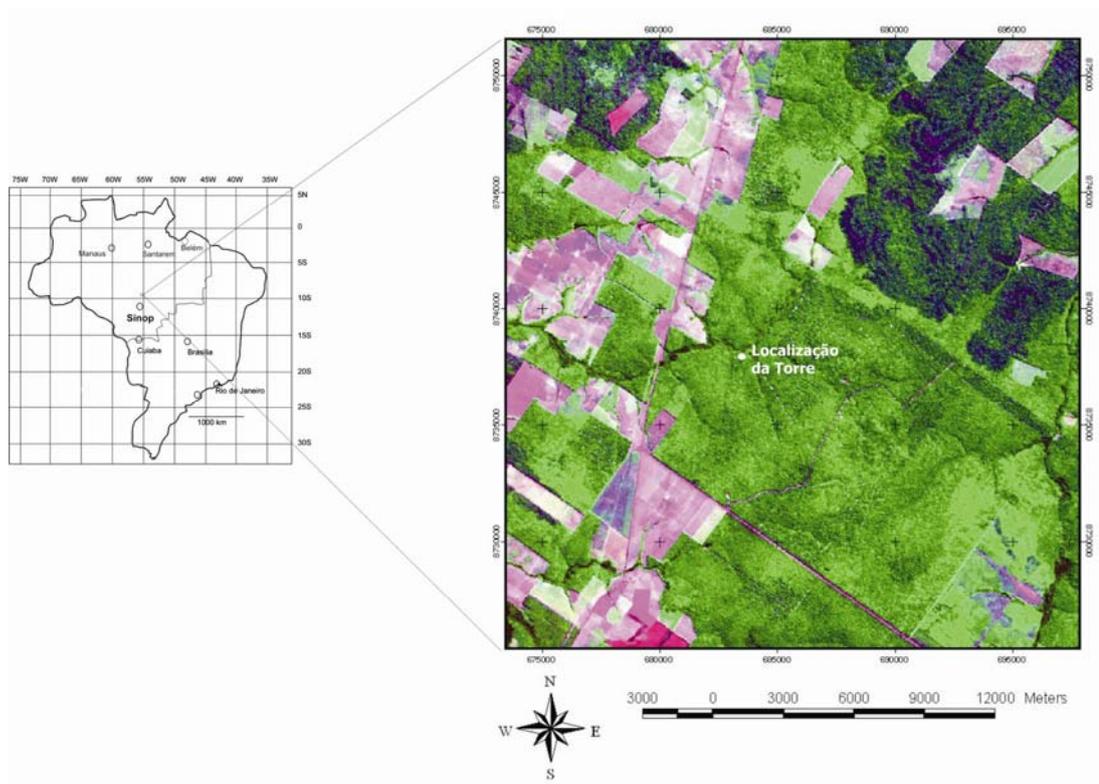


Figura 2 - Localização da área de estudo. (Imagem Landsat 7ETM+)
Fonte: PINTO-JR, 2007.

Segundo o [RADAN Brasil](#), numa escala de 1:1.000.000 esta floresta é classificada como uma transição da ombrófila para a estacional. A vegetação é constituída por espécies arbóreas cuja altura média das árvores varia de 28-30 m. As principais espécies identificadas no local são *Tovomita sp*, *Brosimum sp*, *Qualea sp*, *Vochysia sp*, *Ocotea spixiana*, *Dinizia Excelsa*, *Quina pteridophilla*, *Mezilaurus itauba* ([VOURLITIS et al., 2001](#); [VOURLITIS et al., 2002](#)).

De acordo com a classificação feita pelo laboratório de solos da UFMT, o solo é classificado como um neossolo quartzarênico órtico típico A moderado álico, sendo um solo extremamente arenoso, que apresenta na profundidade de 50 cm uma textura com 84% de areia, 4% de silte e 12% de argila ([PRIANTE FILHO et al., 2004](#)). Este solo tem elevada porosidade e drenam rapidamente a água após a precipitação (i.e., dentro de 4-7 dias) ([VOURLITIS et al., 2002](#)).

3.2 INSTRUMENTAÇÃO

Essa área tem uma torre micrometeorológica de 42 m de altura que participa do projeto LBA, onde estão instalados equipamentos que monitoram constantemente o microclima deste local.

Foram realizadas medidas de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) por meio de 4 sensores (LI-190SB, LI-COR) instalados em diferentes alturas e posições. Três sensores foram dispostos com a face sensível apontada para cima, na altura de 42 m, denominada com PAR_i registrando os valores de PAR incidente total; outros dois sensores dispostos nas alturas de 20 m e 1 m, denominados respectivamente como PAR_{20} e PAR_0 , que registraram os valores de PAR incidente parciais, filtrados pela ação do dossel. O quarto sensor também a 42 m, estava disposto com a sua face sensível apontada para baixo medindo a Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletida (PAR_r).

O sensor PAR_i e PAR_0 (LI-190SB, LI-COR) foram instalados no ano de 1999 quando foi nivelado e calibrado, anualmente foi realizada calibração do sensor por meio de comparação de valores obtidos por outros sensores PAR (LI-190SB, LI-

COR) e calibrado por um pelo piranômetro (LI-200SA *Pyranometer Sensor*) instalado para medição da radiação solar global, no período de 2001 e 2003. O sensor PAR₂₀ (LI-190SB, *LI-COR*) foi instalado em setembro de 2002.

As medidas de temperatura e umidade do ar foram realizadas por um psicrômetro (HMP-35, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland) instalado na altura de 42 m no período de 2001 a 2003.

A temperatura do ar nas diferentes alturas foi medida por meio de um analisador de gás (CO₂ e H₂O) de circuito fechado (Modelo LI-820/*LI-COR*, Inc. Lincoln, NE, USA) instalado na altura de 10 m em que recebia o gás bombeado por meio de uma válvula solenóide, que sugava o ar dos canos instalados nas alturas de 1, 4, 12, 20 e 28 m da torre no período de 2001 a 2003.

A temperatura do solo foi medida por meio de quatro termopares (tipo Cobre/Constantan) instalados nas profundidades de 0,01; 0,03; 0,05 e 0,07 m abaixo da superfície do solo a partir de 2002.

O conteúdo de água no solo foi medido por meio de um sensor de reflectometria no domínio do tempo (*Time Domain Reflectometry*, TDR) com orientação vertical (0 a 30 cm) (CS615, Campbell Scientific, Inc., Ogden, UT, USA), adjacente à torre micrometeorológica no período de 2001 a julho de 2003. Em agosto de 2003, devido a um acidente com um TDR foram instalados três sensores TDR com orientação horizontal nas profundidades de 5, 25 e 70 cm. Os sensores TDR foram calibrados em laboratório por meio de comparação de dados de umidade gravimétrica do solo do sítio experimental e realizados em laboratório.

Os dados micrometeorológicos obtidos na torre foram armazenados por um sistema de aquisição de dados, um Datalogger (CR10-X, Campbell Scientific, Inc., UT, USA), programado para fazer leituras das medidas a cada 30 segundos e armazenar uma média a cada 30 minutos.

Devido a problemas técnicos com o pluviômetro instalado na torre micrometeorológica na área experimental, optou-se por utilizar os dados de precipitação fornecidos pela estação meteorológica da Fazenda Continental, para o ano de 2001-2003, localizada a aproximadamente 17 km do local do experimento, que utiliza um pluviômetro tipo “tupy” e faz medições diárias. O pluviômetro na Fazenda Continental estava instalado em área de manejo florestal. Também foram

utilizados dados de precipitação de 2002 da presente área de estudo apresentado por [PRIANTE FILHO *et al.* \(2004\)](#) que utilizou para medições um pluviômetro tipo “monjolo” (Mod. 2501 Sierra-Misco Inc. Berkeley, CA, EUA). Os autores estimaram a precipitação mensal em função da umidade do solo devido às falhas nos meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro.

3.3 ESTIMATIVA DA TRANSMITÂNCIA

Estimou-se a transmitância entre as alturas de 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$), a transmitância entre as alturas 42 e 20 m ($t_{\text{topo-20}}$) e transmitância entre as alturas de 20 e 0 m (t_{20-0}).

Para a estimativa da transmitância ($t_{\text{topo-0}}$) foram utilizados dados de observação de campo, utilizando a equação 1.

$$t_{\text{topo-0}} = \frac{\text{PAR}_0}{\text{PAR}_i} \quad (1)$$

onde, PAR_0 é a Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente na altura de 1m e a PAR_i a Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente na altura de 42 m.

Para a estimativa da transmitância ($t_{\text{topo-20}}$) foram utilizados dados de observação de campo, utilizando a equação 2.

$$t_{\text{topo-20}} = \frac{\text{PAR}_{20}}{\text{PAR}_i} \quad (2)$$

onde, PAR_{20} é a Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente na altura de 20 m. E t_{20-0} é calculado pela equação 3.

$$t_{20-0} = \frac{\text{PAR}_0}{\text{PAR}_{20}} \quad (3)$$

3.4 ESTIMATIVA DA REFLETÂNCIA

A refletância (r) foi estimada com dados de observação de campo, utilizando a equação 4.

$$r = \frac{PAR_r}{PAR_i} \quad (4)$$

onde, PAR_r é a Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida pelo dossel.

3.5 ESTIMATIVA DO ÂNGULO SOLAR ZENITAL

Para a análise dos resultados de transmitância e refletância usou-se a estimativa do ângulo solar zenital. A localização do Sol no céu é descrita pela sua altitude (β , ângulo de elevação em relação ao horizonte) ou ângulo zenital (Z , ângulo medido na vertical) e seu ângulo azimutal (AZ , ângulo do norte verdadeiro ou sul medido no plano horizontal). O ângulo zenital Z é relatado por $\beta = 90 - Z$ (graus) que depende da hora do dia, da latitude local e do período do ano, segundo a equação 5.

$$\cos Z = \sin \beta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta [15 (t_z - t_0)] \quad (5)$$

onde ϕ é a latitude do local de estudo, δ é a declinação solar, t_z é a hora e t_0 é hora do Sol ao entardecer.

A Terra leva 24 horas para completar 360° , tendo fator 15 para conversão de horas em graus. O tempo t_z é a hora local, variando de 0 a 24. Como a declinação solar varia de $+23,45^\circ$ no inverno a $-23,45^\circ$ no verão (em relação à linha do equador), pode-se calcular a declinação solar pela equação 6.

$$\sin \delta = 0,39785 \sin [278,97 + 0,9856J + 1,9165 \sin (356,6 + 0,9856J)] \quad (6)$$

sendo J é o dia juliano. A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Declinação Solar (δ). Este ângulo varia de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites: $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.

A soma da declinação com a latitude local determina a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma dada localidade na Terra.

3.6 ESTIMATIVA DA f_{APAR}

3.6.1 *Medições de Campo*

Para estimar a f_{APAR} por observações de campo, utilizou-se a [equação 7](#), definida como a Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) que é absorvida pelo dossel ([GOWER *et al.*, 1999](#)),

$$f_{APAR} = [(PAR_i - PAR_r) - (PAR_0 - PAR_{r0})] / PAR_i \quad (7)$$

Onde PAR_i é a PAR incidente no topo do dossel, PAR_r é a PAR refletida pelo dossel, PAR_0 é a PAR incidente na parte inferior do dossel e PAR_{r0} é a PAR refletida na parte inferior do dossel, sendo desprezível. Logo a equação 7 pode ser reescrita como a equação 8.

$$f_{APAR} = 1 - r - t \quad (8)$$

Onde r significa refletância do dossel e t , a transmitância do dossel.

3.6.2 *Modelagem*

Para a estimativa da f_{APAR} pelo software *Integrated Biosphere Simulator* (IBIS), utilizou-se seis variáveis de entrada: velocidade do vento, temperatura do ar, precipitação, saldo de radiação, radiação infravermelha incidente e umidade relativa

do ar. Dos quais, a velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar e saldo de radiação foram observados com os dados do sítio experimental a aproximadamente 50 km da cidade de Sinop. A radiação infravermelha incidente foi estimada por um código, utilizando o saldo de radiação e o fluxo de radiação infravermelha emitida pelo dossel.

Para o cálculo do fluxo de radiação infravermelha emitida pelo dossel utilizou-se um código de leitura que é composto de alguns parâmetros, tais como: constante de Stephan-boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e emissividade do dossel ($em = 0,997521$), encontrado pela equação 9.

$$em = 1 - e^{-LAI} \quad (9)$$

onde LAI é o Índice de Área Foliar.

No IBIS a radiação solar é calculada para cada nível de vegetação com cálculos separados para a radiação direta e difusa em duas bandas de comprimento de onda (visível e infravermelho próximo). O cálculo da f_{APAR} foi estimado para cada 30min, por meio da equação 10.

$$f_{APAR} = \frac{APAR_t}{PAR_i} \quad (10)$$

Onde, $APAR_t$ é a Radiação Fotossinteticamente Ativa Total Absorvida e PAR_i é a Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente no topo do dossel. No IBIS, a PAR_i é calculada em função da radiação solar incidente por meio da equação 11.

$$PAR_i = PAR_{udir} + PAR_{udif}$$

$$PAR_i = [R_{sd} \cdot 4,59 \cdot f_{vis} \cdot (1 - f_{dif})] + [R_{sd} \cdot 4,59 \cdot f_{vis} \cdot f_{dif}] \quad (11)$$

Onde, PAR_{udir} é a PAR direta incidente no dossel superior, PAR_{udif} é a PAR difusa incidente no dossel superior, R_{sd} é a radiação solar global, f_{vis} é a fração de energia na banda do visível (0,427), f_{dif} é a fração da radiação difusa definida segundo [NIKOLOV & ZELLER \(1992\)](#) e [FRIEND \(1998\)](#) pela equação 12.

$$f_{dir} = 1,0045 + 0,0435 \cdot (0,76 - 0,509 \cdot c) - 3,5227 \cdot (0,76 - 0,509 \cdot c)^2 + 2,6313 \cdot (0,76 - 0,509 \cdot c)^3 \quad (12)$$

$$f_{dir} = 0,166 \text{ se } c < 0,02$$

em que c é a nebulosidade e varia de 0 a 1.

A $APAR_t$ é calculada como a soma da APAR do dossel superior e inferior, definida pela equação 13.

$$APAR_t = (PAR_{udir} \cdot a_{udir} + PAR_{udif} \cdot a_{udif}) + (PAR_{ldir} \cdot a_{ldir} + PAR_{ldif} \cdot a_{ldif}) \quad (13)$$

onde, a_{udir} é a fração da PAR direta absorvida pelo dossel superior, a_{udif} é a fração da PAR difusa absorvida pelo dossel superior. PAR_{ldir} é a PAR direta incidente no dossel inferior e a_{ldir} é a fração dessa radiação absorvida pelo dossel inferior. PAR_{ldif} e a_{ldif} têm o mesmo significado, porém para a PAR difusa.

Para a simulação da f_{APAR} , o modelo utilizou alguns parâmetros relativos às características biofísicas da vegetação, tais como: altura do dossel (28 m), altura onde os instrumentos foram instalados (42 m), tipo de vegetação predominante (floresta tropical semi-decídua), textura do solo (% areia e argila), para 6 camadas e Índice de Área Foliar (LAI). O LAI adotado como dado de entrada foi $5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (SULI, 2004).

3.6.3 Produto do MODIS

Para a estimativa da f_{APAR} através do MODIS, sensor abordo do satélite Terra, foi utilizado o produto mensal do MOD15_BU - coleção 4 (C 4.1), que é produzido e distribuído pela Universidade de Boston, disponível no endereço: <http://cybele.bu.edu/modisnisc/index.html>. O período estudado foi de janeiro de 2001 a dezembro de 2003. A média mensal da f_{APAR} foi obtida através da média aritmética de 20 pontos da grade, com 1 km^2 cada célula, região que inclui a torre micrometeorológica, com monitoramento local do satélite MODIS às 10h30min. Dos dados da f_{APAR} fez-se análise de codificação: (0-1) “escala de dados válidos”, (2) “valores fora da projeção”.

Dos mesmos pontos da grade também foram obtidos os valores de controle de qualidade (QA) que informa o tipo de algoritmo utilizado ou a inexistência de dados. Para os valores de QA também se analisou a codificação: (1-4) “nível de qualidade elevada”, definido como o número do *pixel* gerado pelo algoritmo principal sem saturação. De (5-8) “nível de qualidade baixa”, definido como 4 números a mais de *pixels* gerados pelo algoritmo principal, com saturação. Se for (255), *pixel* não computados, ou *pixels* faltantes. Quanto mais próxima de (1) for o QA melhor é a qualidade da f_{APAR} estimada.

3.7 TRATAMENTO DOS DADOS

3.7.1 Dados de Campo

Devido à falhas na estrutura ou em equipamentos, foi realizada uma análise criteriosa dos dados obtidos de Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida incidente nas alturas de 42, 20 e 1 m e Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletida a 42 m, com todos os dados pareados e não pareados, para a verificação da influência das falhas no produto final. Depois da rejeição dos dados errôneos por meio de limite máximo e mínimo permitido para cada variável foi calculada a média mensal dos parâmetros PAR_i , PAR_{20} , PAR_0 e PAR_r . Fazendo a análise das perdas dos dados, escolheu-se os dados pareados para serem trabalhados, pela menor variação percentual existente entre eles, com perda média de 44% dos dados da PAR_i , PAR_0 e PAR_r para os anos de 2001, 2002 e 2003 e 30% dos dados da PAR_{20} , para os anos de 2002 e 2003.

Para a análise sazonal, estacional e por ciclos (noturna e diurna), de variáveis micrometeorológicas como: temperatura do ar, umidade relativa do ar, PAR, conteúdo de água no solo e temperatura do solo, também se optou ao não preenchimento de falhas e sim a rejeição de dados considerados errôneos dentro de um limite máximo e mínimo adotado para cada variável estudada. Foram rejeitados devido às falhas e/ou dados errôneos 3% dos dados de temperatura do ar medido a 42 m, 40% dos dados de temperatura do ar medidos nas alturas de 1, 4, 12, 20 e 28 m,

16% dos dados de umidade relativa do ar, 16% dos dados de PAR, 38% dos dados de saldo de radiação, 48% dos dados de conteúdo de água no solo, 61% dos dados de temperatura do solo. Para cada variável analisada foram realizados cálculos de um dia médio a cada 30 minutos com todos os dados. A partir do dia médio foram calculadas as médias das estações. No presente trabalho considerou-se 3 meses de estação seca (junho-agosto), 3 meses de estação úmida (dezembro-fevereiro) e 3 meses de transição seca-úmida (setembro-novembro) e 3 meses de transição úmida-seca (março-maio).

3.7.2 Dados da Modelagem

Para a estimativa de f_{APAR} por modelagem utilizou-se como dados de entrada pelo IBIS dados micrometeorológicos obtidos por medições em campo. Os dados tiveram todas as suas falhas corrigidas empregando-se o tratamento por interpolação, de acordo com as seguintes condições:

- Se a falha (f) for menor ou igual a 3 horas (equação 14).

$$X_i = X_P + \frac{(X_{P-f-i} - X_P)}{f+1} \cdot (i - P) \quad (14)$$

Onde X_i é o valor a ser preenchido, X_P é o antecessor da falha e X_{P-f-i} é o sucessor da falha.

- Se a falha (f) for maior que 3 horas e menor que 24 horas (equação 15).

$$X_i = X_{i-24} + \frac{[(P+f+1)-i]}{f+1} \cdot (X_P - X_{P-24}) + \frac{(i-P)}{f+1} \cdot (X_{P-f-1} - X_{P-f-1-24}) \quad (15)$$

- Se a falha (f) for maior ou igual a 24 horas (equação 16).

$$X_i = X_{i-24m} + \frac{[(P+f+1)-i]}{f+1} \cdot (X_P - X_{P-24m}) + \frac{(i-P)}{f+1} \cdot (X_{P-f-1} - X_{P-f-1-24m}) \quad (16)$$

onde m é a parte inteira de $(f/24 + 1)$. Essas equações de interpolação fazem com que o período sem dados siga o mesmo comportamento de um período similar com dados, preenchendo as falhas de forma mais realística do que uma interpolação linear (SENNA *et al.*, 2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS OBTIDOS POR OBSERVAÇÕES DE CAMPO

4.1.1 *Caracterização do Microclima da Área em Estudo*

4.1.1.1 *Precipitação*

A média de precipitação para a bacia Amazônica é de 5,9 mm dia⁻¹ (MARENGO, 2004), ou aproximadamente 2154 mm ano⁻¹. A Tabela 1 apresenta dados de precipitação nos anos de 2001 a 2003 obtidos pela Fazenda Continental e dados de 2002 mencionados por PRIANTE FILHO (2004). Considerando os dados da Fazenda Continental, tem-se que a média de precipitação anual de 2001 a 2003 foi de 2171 mm. A precipitação na estação úmida (dezembro-fevereiro) representou aproximadamente 50% da precipitação total anual. Na estação seca (junho-agosto) praticamente não houve a incidência de precipitação (Tabela 2).

Segundo LIEBMANN & MARENGO (2001) a média anual de precipitação na Amazônia Brasileira varia de menos de 2000 mm na parte sul e na parte leste e extremo norte para precipitações superiores a 3000 mm. Estes valores estão de acordo com valores de precipitação média anual em uma floresta Amazônica localizada a 90 km Norte da cidade de Manaus (60°11'O; 02°58'S) em que a precipitação média entre os anos de 1961 e 1990 foi de 2285 mm; em uma floresta Amazônica localizada a 23 km da cidade de Rio Branco (67°62'O; 10°07'S), com uma precipitação medida entre 1969 a 1990 iguais a 1940 mm; e Floresta Nacional Tapajós localizada próximo a cidade de Santarém (54°95'O; 02°85'S) com uma

precipitação medida entre 1967 a 1990 de 1909 mm (VIEIRA *et al.*, 2004; NURMA, 2002; INMET, 2001). Na floresta Amazônica de Caxiuanã (51°31'O; 01°42'S) a precipitação média anual foi de 2000 mm (LISBOA & FERRAZ, 1999). E são menores que os valores apresentados em uma região de cerrado nativo aproximadamente a 16 km de Brasília (47°53'O; 15°26'S) a precipitação média anual foi de 1550 mm (ADUAN, 2003). As características climatológicas da floresta de transição são similares à precipitação de floresta tropical e cerrado, entretanto, nesta região a floresta recebe aproximadamente 200 mm menos de precipitação anual que a floresta úmida e 500 mm mais precipitação que o cerrado (VOURLITIS *et al.*, 2002).

Tabela 1 - Precipitação mensal nos anos de 2001 a 2003, média dos anos 2001 a 2003 (dados obtidos pela Fazenda Continental a 17 km do sítio experimental) e dados de precipitação de 2002 segundo PRIANTE FILHO *et al.* (2004), do sítio experimental.

Mês	2001*	2002*	2003*	Média 2001-2003*	2002 [#]
Jan	366	388	600	451	360
Fev	165	334	271	257	407
Mar	255	326	382	321	255
Abr	0	23	276	100	116
Mai	0	0	70	23	5
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	18
Ago	5	0	0	2	0
Set	177	62	25	88	13
Out	189	172	273	211	54
Nov	365	218	383	322	183
Dez	484	338	365	396	235
Total	2006	1861	2645	2171	1646

* Dados da Fazenda Continental, [#] Dados obtidos e/ou estimados por PRIANTE FILHO *et al.* (2004).

Tabela 2 - Média estacional da precipitação acumulada nos anos de 2001 a 2003 (dados obtidos pela Fazenda Continental a 17 km do sítio experimental).

Estação	Precipitação (mm)
Úmida	1103,7
Úmida-seca	444,0
Seca	1,7
Seca-úmida	621,3
Total	2170,7

O clima das regiões de floresta tropical úmida exhibe claramente uma variação considerável nos padrões de precipitação concordante com o mencionado por MALHI *et al.* (2004) em que a média de precipitação da floresta tropical tem um valor anual de 2180 mm, uma estação seca de 3 a 4 meses, correspondendo a uma temperatura média anual de 25,2 °C com uma variação sazonal de 3,2 °C.

4.1.1.2 Sazonalidade da Umidade Relativa do Ar, Temperatura do Ar, PAR e Radiação Solar Global

Em decorrência da elevada precipitação na estação úmida, a média estacional da umidade relativa do ar foi mais elevada, 85,8% sendo menor na estação seca, 70,3% (Tabela 3), tais valores foram próximos aos observados em uma floresta tropical de Manaus cuja média mensal da umidade relativa durante a estação seca esteve entre 72% e 88%, aumentando para 80% e 90% durante a estação úmida (MAITELLI & WRIGHT, 1996).

A média estacional da temperatura do ar variou de 25,6 a 27,8 °C (Tabela 3), com uma temperatura média anual na floresta de transição de 26,4 °C (anos 2001 a 2003). Estes valores foram maiores que a temperatura média na floresta tropical em Manaus e Marabá que apresentaram valores variando entre 24,5 e 26,6 °C e em Ji-Paraná com temperaturas médias variando entre 22,1 e 25,7 °C (CULF *et al.*, 1996). Geralmente a temperatura e as condições de umidade dentro e acima de uma floresta são resultados da reflexão, transmissão e absorção da energia solar na superfície do dossel, a sua conversão em calor sensível e latente e a alocação da luz e calor dentro de uma floresta (MOTZER, 2005).

Como a energia solar é extremamente importante, principalmente no que se refere aos processos de aquecimento do ar e do solo, evapotranspiração e fotossíntese exercendo uma forte influência nas variações climáticas que ocorrem em todo o globo, tem-se que as maiores incidências de PAR foram observadas nas estações seca e seca-úmida (Tabela 3; Figura 3), possivelmente porque nestas estações não houve a influência da cobertura de nuvens na área, presenciada nas estações úmida e úmida-seca. Esse comportamento concorda com maiores incidência de PAR observados na estação seca numa floresta Amazônica, em Ji-Paraná (AGUIAR, 2005) e em uma floresta Amazônica, em Santarém-PA (SENNÁ, 2004). Mudanças sazonais na cobertura das nuvens são os principais fatores que determinam a variação da radiação solar incidente, (ROCHA *et al.*, 2004).

O mesmo padrão pode ser observado com a radiação solar global que apresentou um maior valor médio na estação seca-úmida de $168 \pm 193 \text{ Wm}^{-2}$ (Tabela 3). SOUZA FILHO *et al.* 2002 verificaram na Floresta em Caixuanã menor valor de Radiação Solar Global (Rsd) no período chuvoso ($14,8 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e maior valor no período menos chuvoso ($19,3 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e CULF *et al.* (1996) observaram radiação solar em três florestas, na Reserva Ducke o máximo ($18,52 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no mês de setembro e mínimo ($13,75 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em abril, na Fazenda Dimona em Manaus o máximo ($11,30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foi em setembro e o mínimo ($14,54 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em janeiro, na Reserva Vale do Rio Doce em Marabá o máximo ($19,33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em junho e mínimo ($14,41 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em dezembro.

Entre as estações seca-úmida e úmida-seca houve um aumento de 16% na Rsd, e a sua variabilidade pode ser observada na Figura 3. No período da estação seca e úmida não houve variação na média diária da radiação solar global (Tabela 3), possivelmente devido ao fato que no período da seca os dias apresentaram maiores mudanças na cobertura de nuvens do que nas estações seca-úmida e úmida-seca.

Tabela 3 - Valores das médias estacionais dos anos de 2001 a 2003 da umidade relativa do ar, temperatura, Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) e Radiação Solar Global (Rsd) (média \pm DP).

Estação	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	PAR (μ mol m ⁻² s ⁻¹)	Rsd (W m ⁻²)
Úmida	26,0 \pm 2,7	85,8 \pm 11,0	767 \pm 377	149 \pm 175
Úmida-seca	25,8 \pm 2,5	83,4 \pm 13,2	803 \pm 384	141 \pm 158
Seca	25,6 \pm 5,0	70,3 \pm 20,6	816 \pm 469	149 \pm 179
Seca-úmida	27,8 \pm 4,0	76,4 \pm 15,5	834 \pm 473	168 \pm 193

4.1.1.3 *Variação diária da Umidade Relativa do Ar, Temperatura do Ar, PAR e Radiação Solar Global*

A maior amplitude térmica diária foi na estação seca e seca-úmida, possivelmente em consequência de uma maior radiação solar e radiação fotossinteticamente ativa e menor disponibilidade hídrica. Na estação seca houve uma diferença entre os ciclos diurno e noturno de aproximadamente 5,6 °C (Figura 3). Nas estações úmida e seca a temperatura no ciclo diurno foi maior 14,5 e 25,4% que no ciclo noturno, respectivamente. Esse comportamento é concordante com a menor taxa de cobertura de nuvens na estação seca, que propicia maior incidência de radiação solar durante o dia e maior perda de energia radiativa da superfície durante a noite.

As variações no ciclo diurno da umidade relativa do ar estão interligadas às variações no ciclo diurno da temperatura do ar. A diferença da umidade relativa do ar entre a estação seca e úmida foi em média de aproximadamente 23,6% no ciclo diurno. Na estação seca, a umidade relativa do ar foi maior no ciclo noturno que no ciclo diurno apresentando uma diferença entre os ciclos de 32,8% (Figura 3).

Os maiores valores de PAR e Rsd no ciclo diurno foram observados nas estações seca, e seca-úmida (Figura 3), com valores máximos entre as 12 e 13 horas de 1342 μ mol m⁻² s⁻¹, 45 W m⁻² e 1385 μ mol m⁻² s⁻¹, 56 W m⁻², respectivamente.

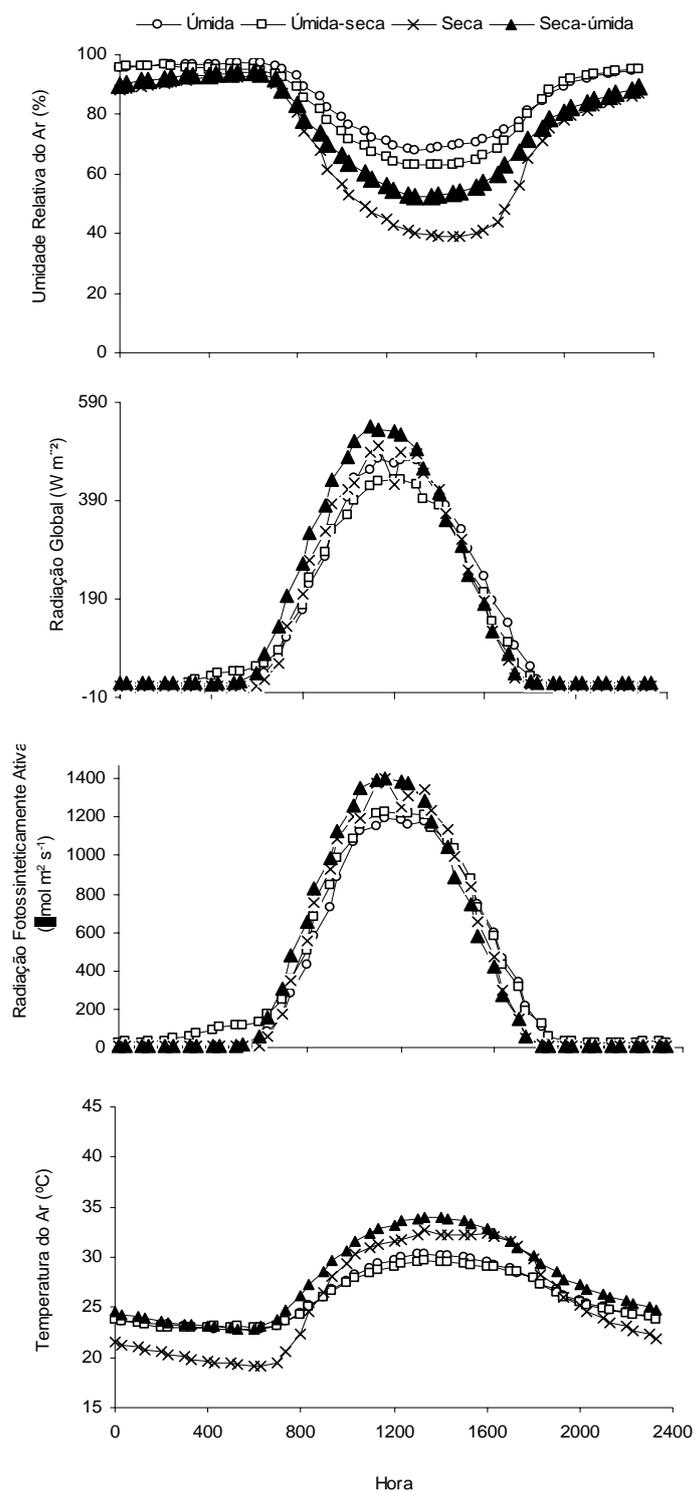


Figura 3 - Variação do dia médio da umidade relativa do ar, Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), Radiação Solar Global (Rsd) e temperatura do ar nas estações.

4.1.1.4 Perfil da Temperatura do Ar nas Diferentes Alturas do Dossel

A variação da rugosidade (ou da temperatura da superfície ou da umidade) em cada campo afeta a camada de ar que passa acima da superfície. Mudanças abruptas na rugosidade da superfície fazem com que os fluxos sejam modificados por essas novas condições da superfície (VERMA, 1990).

A Figura 4 mostra os resultados da temperatura do ar nos ciclos diurno e noturno nas diferentes alturas do dossel (1, 4, 12, 20 e 28 m) para cada estação. Nas estações de transição seca-úmida e úmida-seca, a temperatura do ar no ciclo diurno a altura de 28 metros foi superior a temperatura nas demais alturas. GALLON *et al.* (2006) verificaram nas estações úmida e seca acentuada concentração de CO₂ nesta mesma altura (28 m) que nas demais alturas do dossel, devido a maior atividade ecofisiológica com condições hídricas favoráveis.

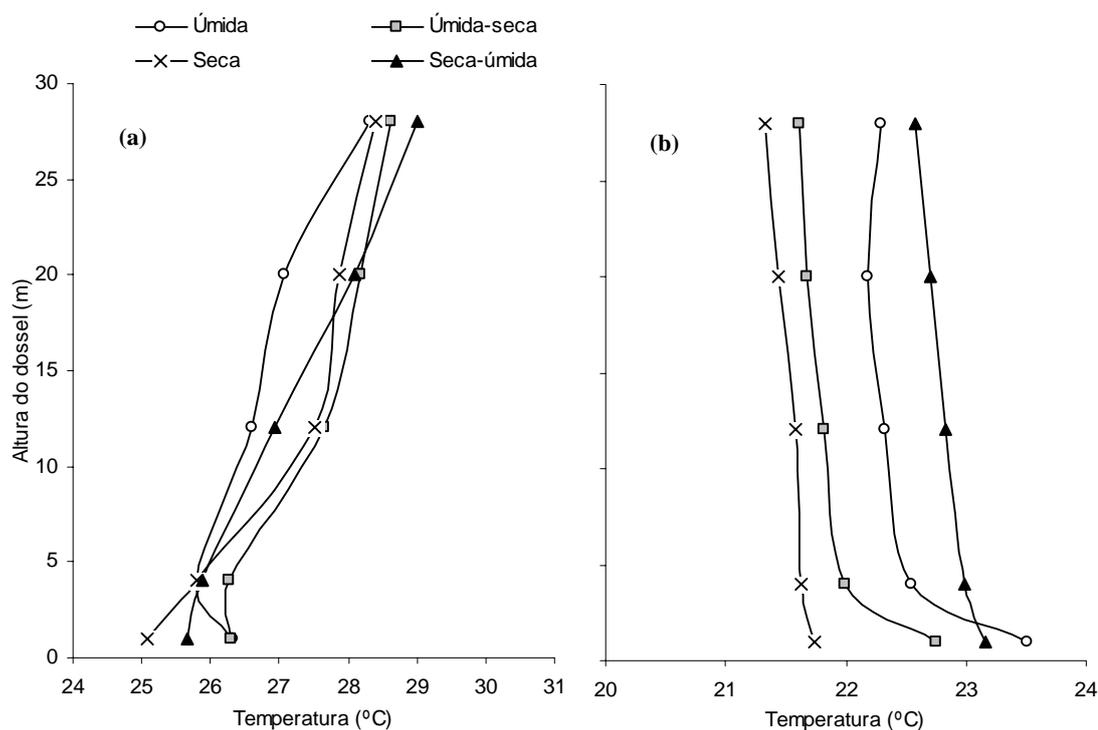


Figura 4 - Média da temperatura do ar nas diferentes alturas do dossel no (a) ciclo diurno e (b) ciclo noturno para as diferentes estações.

Em média a temperatura do ar na altura do dossel apresentou uma variação entre o ciclo diurno e noturno de 4,2 °C (estação úmida) a 5,6 °C (estação seca). A

diferença de temperatura média do ar no ciclo diurno na altura de 1-28 metros foi de 2,0 °C (estação úmida) e 3,4 °C (estação seca-úmida). No ciclo noturno, a temperatura do ar próxima ao solo foi superior à temperatura do ar na altura média do dossel (28 m); na estação úmida e seca, a temperatura do ar no estrato superior foi em média 1,2 °C e 0,6 °C, maior que a temperatura próxima ao solo, respectivamente.

ARAIN *et al.* (2000) verificaram o perfil da temperatura do ar na floresta Amazônica na Reserva de Jarú, Rondônia. A floresta nesta região possui uma altura média do dossel de 35 m, e a torre estava instalada a 52 m. Os autores constaram que entre 10 e 15 m ocorreram as maiores mudanças na temperatura do ar. Até os 10 m acima do solo a temperatura do ar foi razoavelmente constante com relação à altura e a variação diurna. Acima de 15 m de altura, a temperatura foi razoavelmente constante durante a tarde, caindo rapidamente por processos radiativos refringentes ao anoitecer. Assim, durante o dia e ao começar a noite, houve um gradiente positivo muito forte de temperatura do ar em consequência de uma atmosfera estável apenas acima do dossel da floresta. Entre as alturas de 20 e 26 m houve maiores temperaturas de ar nos horários de 10 e 12h da manhã. Os autores não fizeram medições de temperatura do ar até a altura média do dossel.

4.1.1.5 *Temperatura do Ar e do Solo*

O comportamento diário das médias estacionais da temperatura do ar e do solo para o ano de 2003, ano que apresentou menor porcentagem de falhas e dados errôneos, está apresentado na [Figura 5](#). Em todas as estações as médias horárias da temperatura do solo apresentaram um comportamento análogo, com valores maiores no ciclo diurno. Com relação à temperatura do ar houve uma diferença entre a máxima temperatura da superfície do solo e a do ar. No ciclo diurno o solo atua como um reservatório de calor devido à incidência da radiação solar tendendo a uma diminuição ao anoitecer. Em virtude da perda de radiação pela superfície do solo para a atmosfera o solo esfria-se rapidamente, tornando-se mais frio que o ar atmosférico como um sumidouro de energia, provocando a inversão do gradiente térmico. Na estação úmida os valores da temperatura do solo foram os mais elevados que nas demais estações, tal fato evidencia que, na estação úmida houve maior

freqüência de molhamento do dossel e maior disponibilidade hídrica para a floresta. A presença de água depositada sobre o dossel, ou internamente nas folhas (abundante suprimento de água pelo solo nesse período), gera menores índices de reflexão da radiação solar incidente, uma vez que a água apresenta coeficiente de transmissão de ondas curtas relativamente altas.

Em média, a temperatura do ar foi superior à temperatura do solo em aproximadamente 10 e 22% nas estações úmida e seca, respectivamente.

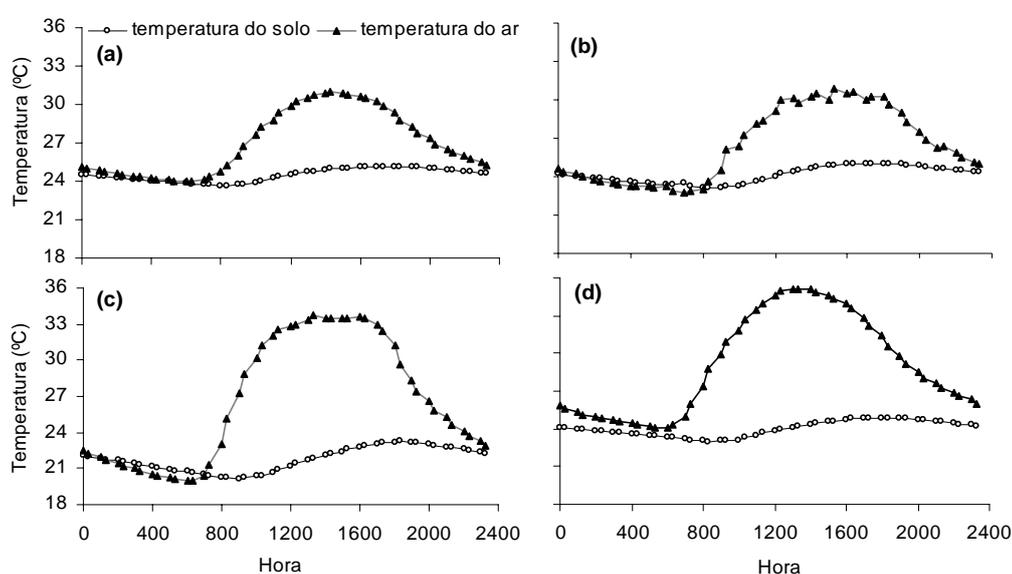


Figura 5 - Média diária da temperatura do ar e do solo na (a) estação úmida, (b) úmida-seca, (c) seca e (d) seca-úmida no ano de 2003.

A temperatura máxima do ar durante o dia é atingida as 13 e 14h ocorrendo depois do horário da máxima entrada de radiação solar incidente no dossel, entre 11 e 13h, (SPOLADOR *et al.*, 2006). Esse tipo de atraso é típico em sistemas em que a energia solar de entrada é significativa.

4.1.1.6 *Temperatura do Solo, Conteúdo de Água no Solo, Umidade relativa do ar e precipitação*

A temperatura do solo afeta também o crescimento das plantas diretamente (com seu efeito na atividade fisiológica) e indiretamente (com seu efeito na disponibilidade de nutrientes do solo) (PAUL *et al.*, 2003). As flutuações diárias e anuais na temperatura do solo influenciam nos processos biológicos e químicos do solo, nas taxas de decomposição e de mineração da matéria orgânica do solo e na liberação de CO₂. Na estação seca teve-se uma menor temperatura do solo ($21,8 \pm 1,0$ °C), apresentando uma diminuição de aproximadamente 3 °C com relação as demais estações (Tabela 4). Uma consideração a ser feita no regime térmico do solo da floresta é com relação à variação da radiação global na superfície, nesse caso pode-se mencionar que houve um atraso na sua resposta térmica com relação a fonte de calor. Esse atraso na resposta térmica do solo pode ser explicado devido ao conteúdo de água armazenado durante os meses precedentes a estação seca. Durante esse período, houve água para evaporação e o solo pôde permanecer com temperatura mais baixa.

A média estacional do conteúdo de água do solo foi de $0,142 \pm 0,0016$ e $0,075 \pm 0,0006$ m³ m⁻³, nas estações úmida e seca, respectivamente. As estações úmida e úmida-seca devido a ocorrência de precipitação, apresentaram maiores índices de umidade relativa do ar e conteúdo de água no solo que as demais estações (Figura 6a; Tabela 4).

Os valores de conteúdo de água do solo nas estações apresentado pelo presente estudo foram menores do que os reportados por ROCHA *et al.* (2004) que verificaram o conteúdo de água no solo numa floresta tropical Amazônica com valores variando entre $0,47$ m³ m⁻³ (estação úmida) e $0,30$ m³ m⁻³ (estação seca) a uma profundidade do solo de 5 cm.

Enquanto que em uma floresta Amazônica em Marabá no Pará com solo de franco a franco-siltosa o conteúdo de água no solo a uma profundidade de 0 a 0,6 m foi máximo nos meses março/abril com valores de aproximadamente $0,23$ m³ m⁻³ (estimado por gráfico) e valores mínimos nos meses de julho/agosto com valores de aproximadamente $0,18$ m³ m⁻³ (estimado por gráfico) (SOUZA *et al.*, 1996). Neste

mesmo trabalho, os autores verificaram que durante todo o ano valores máximos de conteúdo de água do solo na profundidade do solo 0,6 a 1,2 m.

Uma resposta rápida a variação no conteúdo do solo é o efeito de mudanças na fisiologia vegetal. Estudos realizados nesta área (SILVA *et al.*, 2006, SANCHES *et al.*, 2006) têm demonstrado uma característica sazonal na produção de liteira (queda de matéria seca sobre o solo) com aumento das produções nas estações seca e seca-úmida e decréscimo nas estações úmida e úmida-seca e isso pode ser atribuído a uma estratégia adotada por algumas espécies para sua sobrevivência em condições de déficit hídrico. Pode ser também que a estratégia da “liberação” de seus componentes vegetais seja adotada por espécies tropicais que utilizam a estação seca que é a mais desvantajosa para renovar seu tecido fotossintético. Em último caso, pode-se considerar que a estação seca tenha pouco impacto na produção de liteira, mas esteja relacionado com o sincronismo do início do brotamento de espécies provocado por um melhor foto período que pela precipitação, o que seria uma estratégia que pode reduzir o brotamento durante a estação úmida quando há maior força física da chuva.

Tabela 4 - Temperatura do solo, conteúdo de água no solo, umidade relativa do ar e precipitação acumulada estacional no ano de 2003.

Estação	Temperatura do solo (°C)	Conteúdo de água no solo (m ³ m ⁻³)	Umidade relativa do ar (%)	Precipitação (mm)
Úmida	24,5 ± 0,5	0,142 ± 0,0016	85,6 ± 11,1	1236
Úmida-seca	24,1 ± 0,6	0,130 ± 0,0014	82,7 ± 8,1	728
Seca	21,8 ± 1,0	0,075 ± 0,0006	70,1 ± 17,6	0
Seca-úmida	24,0 ± 0,6	0,122 ± 0,0005	75,8 ± 14,5	681

Com a redução da precipitação o conteúdo de água do solo diminui principalmente nas camadas superiores do solo. As florestas Amazônicas apresentam altas taxas de evapotranspiração, mesmo na estação seca (ARAÚJO *et al.*, 2002; MALHI *et al.*, 2002), inclusive na floresta de transição Amazônica Cerrado do presente estudo segundo PRIANTE FILHO *et al.* (2004). Isso ocorre porque as árvores da floresta Amazônica, na sua maioria, têm raízes profundas atingindo o lençol freático nas camadas inferiores do solo.

A Figura 6 apresenta as variações de 20 dias, 5 dias selecionados que representassem a estação em estudo. Observou-se que a menor variação da umidade relativa do ar entre o ciclo diurno e noturno ocorreu na estação úmida (Figura 6a)

quando houve um aumento na umidade do ar no ciclo diurno. Na estação úmida ocorrem picos de aumento do conteúdo de água no solo (dias 28 e 31; [Figura 6a](#)) em consequência das precipitações. Na estação úmida-seca ([Figura 6b](#)) observou-se que os picos no conteúdo de água do solo foram menores devido o decréscimo da precipitação nesta estação. A estação seca na [Figura 6c](#) está representada pelos dias julianos 178 a 182, observou-se que os valores de conteúdo de solo se mantêm constante e representam aproximadamente 52% ([Tabela 4](#)).

A menor variação diária da umidade relativa do ar ocorreu na estação úmida. Na estação úmida ocorrem picos de aumento do conteúdo de água no solo devido às precipitações diárias ([Figura 6a](#)) enquanto que na estação seca, os valores de conteúdo de água se apresentam constantes ([Figura 6d](#)). Segundo [SOUZA FILHO *et al.* \(2002\)](#) em uma floresta Amazônica de Caxiuanã os períodos chuvosos e menos chuvosos são fatores que determinam as trocas de vapor d'água nessas florestas, em razão da variação na quantidade de energia disponível e na disponibilidade de água no solo .

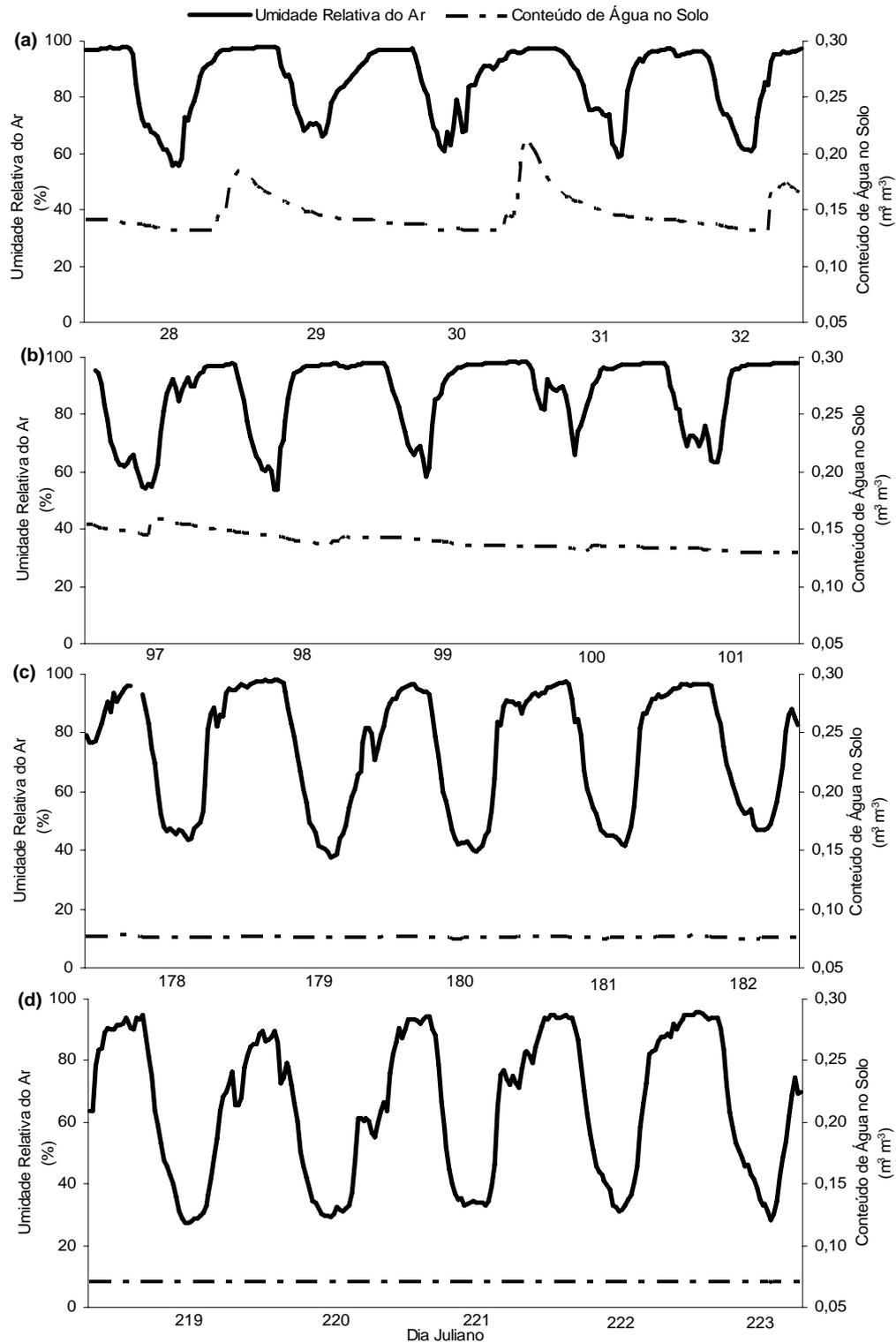


Figura 6 - Valores de umidade relativa do ar e o conteúdo de água no solo em dias consecutivos na (a) estação úmida (28 a 32d), (b) úmida-seca (97 a 101d), (c) seca (178 a 182d) e (d) seca-úmida (219 a 223d) no ano de 2003.

Na estação seca ([Figura 6c](#)), houve uma correlação mais significativa ($r=83\%$) entre o conteúdo de água no solo e a umidade do ar, já na estação de transição úmida-seca ([Figura 6b](#)) houve uma relação extremamente fraca ($r=26\%$). Na estação seca houve menor variação nas variáveis devido ao déficit hídrico, já na estação de transição úmida-seca possivelmente houve uma menor correlação devido a que os processos nesta estação sejam mais intensos e vários fatores estão interagindo entre si.

4.1.2 *Transmitância*

Analisando a média trienal mensal da $t_{\text{topo-0}}$ foi possível observar que o menor valor foi de $0,018 \pm 0,004$ para o mês de agosto, mês pertencente a estação seca, e o maior valor médio trienal no mês de março, $0,037 \pm 0,035$, estação úmida-seca.

A média anual da $t_{\text{topo-0}}$, de 2001, 2002 e 2003, foi de $0,034 \pm 0,008$, $0,027 \pm 0,013$ e $0,017 \pm 0,011$, respectivamente.

A [Tabela 5](#) apresenta os valores da média mensal da transmitância entre as alturas 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$), transmitância entre as alturas 42 e 20 m ($t_{\text{topo-20}}$) e transmitância entre as alturas de 20 e 0 m (t_{20-0}).

Para o ano de 2001, a $t_{\text{topo-0}}$ atingiu o menor valor médio na estação seca, no mês de agosto, aumentado ao atingir a estação úmida (dezembro-fevereiro). Um dos fatores que contribuem para o menor valor da transmitância é o ângulo de declinação solar, que na estação seca está mais distante da latitude local.

Para $t_{\text{topo-20}}$ foi observado um valor máximo (23%) em junho de 2003 e valor mínimo (11,6%) em dezembro de 2002. Possivelmente no mês de junho, o dossel apresenta-se maior presença de clareiras na estrutura do dossel, que pode ter permitido uma maior passagem de radiação incidente em determinadas horas do dia. Para 2002 e 2003, a $t_{\text{topo-0}}$ apresentou menores valores nos meses de outubro a dezembro, considerados como meses da estação seca-úmida e úmida.

Tabela 5 – Média mensal da transmitância entre as alturas de 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$), transmitância entre as alturas de 42 e 20 m ($t_{\text{topo-20}}$) e transmitância entre as alturas de 20 e 0 m (t_{20-0}) nos anos de 2001, 2002 e 2003.

Meses	2001	2002			2003		
	$t_{\text{topo-0}}$	$t_{\text{topo-0}}$	$t_{\text{topo-20}}$	t_{20-0}	$t_{\text{topo-0}}$	$t_{\text{topo-20}}$	t_{20-0}
Janeiro	0,037	0,040	-	-	0,018	0,139	0,1192
Fevereiro	0,034	-	-	-	0,021	0,184	0,0950
Março	0,042	0,053	-	-	0,016	0,151	0,1058
Abril	0,026	-	-	-	0,044	0,128	0,1471
Mai	0,024	-	-	-	0,023	0,144	0,1270
Junho	0,041	0,031	-	-	0,014	0,221	0,0438
Julho	0,030	0,023	-	-	0,016	0,207	0,0351
Agosto	0,021	-	-	-	0,015	0,169	0,0621
Setembro	0,047	0,020	0,137	0,123	0,012	0,122	0,0959
Outubro	0,035	0,019	0,158	0,118	-	-	-
Novembro	0,035	0,016	0,137	0,109	0,007	0,110	0,064
Dezembro	0,039	0,017	0,113	0,112	0,007	0,052	0,105
Total	0,034	0,027	0,144	0,116	0,017	0,148	0,091

HERNANDEZ *et al.* (2004) mencionam estudos na Amazônia, em floresta tropical úmida, com medições de transmissão de radiação realizadas ao nível do solo, em que foram verificadas variações de 1,2%, em Manaus, mencionam outro estudo em Tucuruí com variações de 4,7%, ANHUF & ROLLEMBECK (2001) obtiveram uma transmitância de 4,7% no Rio Surumoni, floresta Amazônica (Venezuela). PEREIRA (1997) analisando o regime radiativo desse tipo de floresta citou que menos de 10% da radiação solar que atinge o topo das florestas atinge a vegetação de sub-bosque.

A Figura 7 apresenta a correlação existente entre a $t_{\text{topo-0}}$ e do $t_{\text{topo-20}}$, para os anos de 2002 e 2003, mostrando um coeficiente de determinação baixo entre as variáveis ($R^2=0,035$), onde a média anual da $t_{\text{topo-0}}$ e do $t_{\text{topo-20}}$ foi de 1,5 e 16%, respectivamente.

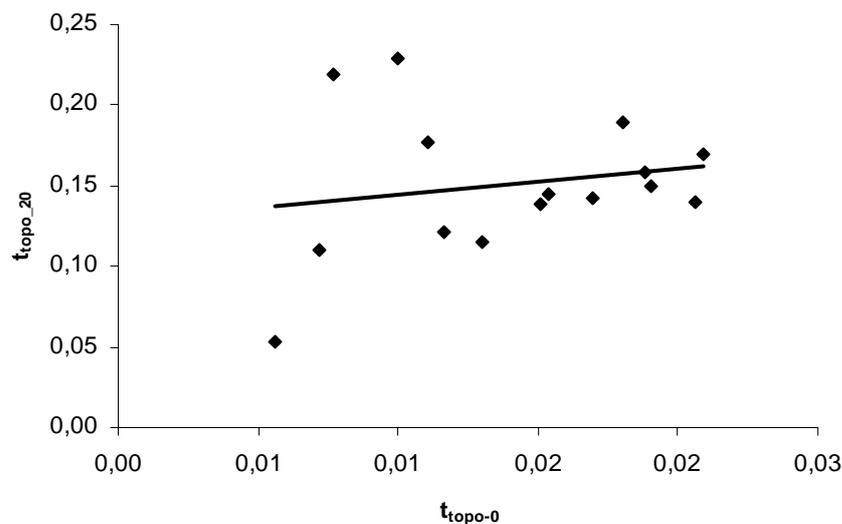


Figura 7 - Correlação entre transmitância entre as alturas de 42 e 20 m ($t_{\text{topo-20}}$) e transmitância entre as alturas de 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$) para os anos de 2002 e 2003.

A transmitância está relacionada com a fração de abertura do dossel, e é influenciada pelo ângulo solar zenital e quantidade de radiação difusa (canopy clumping) (GOWER *et al.*, 1999).

Segundo SENNA (2004), os menores valores da transmitância ocorrem geralmente nos maiores valores do ângulo solar zenital porque quanto maior o ângulo zenital, maior será o caminho percorrido pela radiação dentro do dossel, portanto a chance de ocorrer uma absorção por folhas e galhos aumenta. A Figura 8 ilustra a variação da $t_{\text{topo-0}}$ correspondente ao intervalo do ângulo solar zenital, para os três anos de estudo.

A $t_{\text{topo-0}}$ apresentou uma oscilação nos valores médios com o ângulo zenital. Isso ocorre devido à radiação, que ao penetrar no dossel, sofre influência da arquitetura do dossel onde as falhas podem contribuir para uma incidência direta da radiação sobre o sensor. À medida que o intervalo do ângulo zenital aumenta, as oscilações entre os valores da transmitância aumentaram. Também se pode observar que à medida que ocorre aumento do ângulo zenital, a transmitância tende a diminuir, concordando com a pesquisa de SENNA (2004).

Na sua pesquisa realizada na Floresta Nacional de Tapajós, SENNA (2004) concluiu que para ângulos zenitais pequenos menores que 5° os valores da

transmitância são maiores que os demais, pois permitem que maiores profundidades sejam atingidas pela luz no interior do dossel de uma floresta.

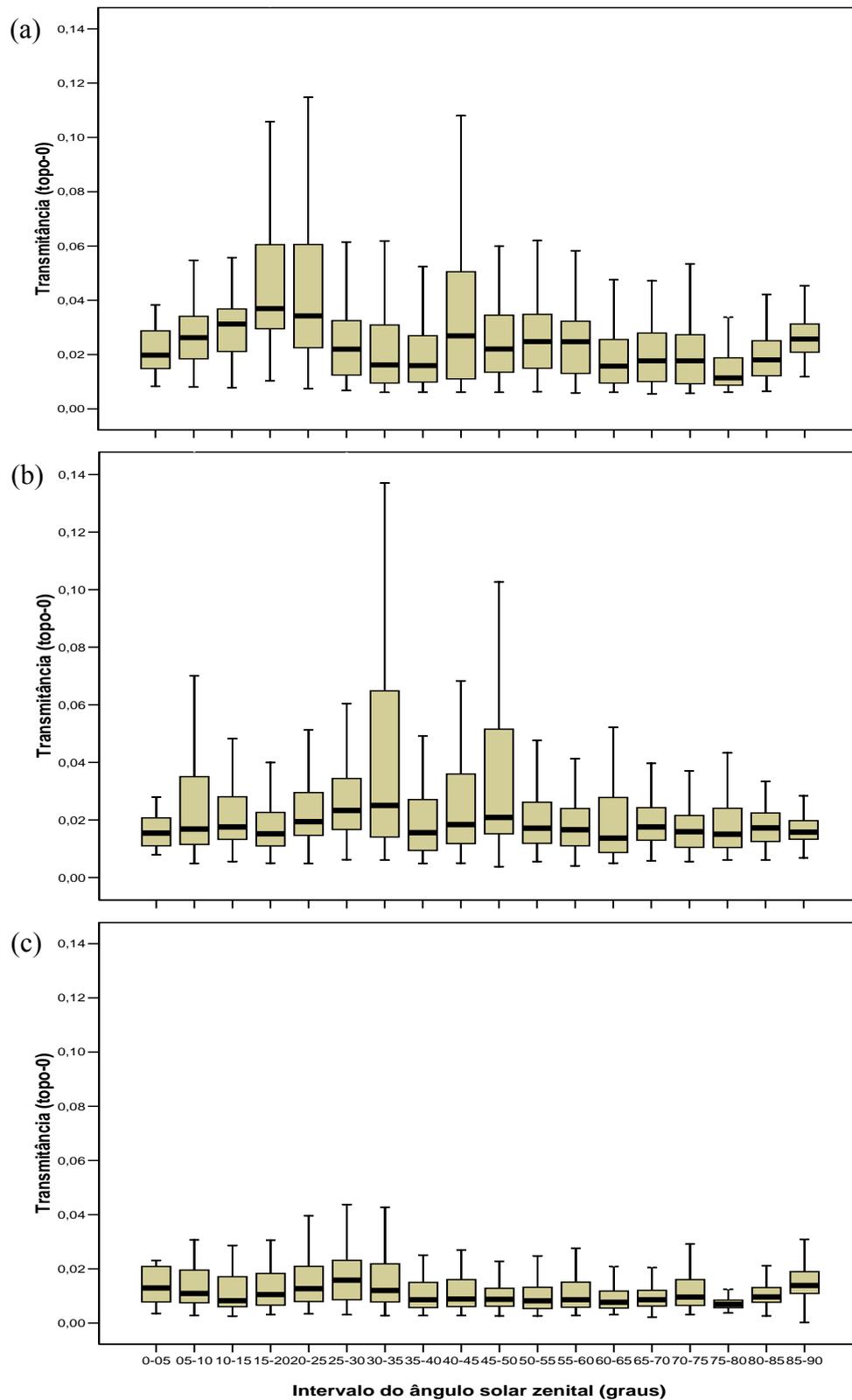


Figura 8 - Transmittância entre as alturas de 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$) em função do ângulo solar zenital, nos anos (a) 2001, (b) 2002 e (c) 2003. O gráfico representa uma distribuição assimétrica à direita, onde a distância do terceiro quartis à mediana é maior que a distância da mediana ao primeiro quartis, mostrando com isto que 75% dos dados da transmittância estão entre o terceiro quartis e o limite superior.

4.1.3 Refletância

Segundo GOWER *et al.*, (1999) os valores de refletância são frequentemente pequenos e não variam significativamente entre dosséis florestais. A média anual da refletância foi de $0,041 \pm 0,0026$ no ano 2001, $0,047 \pm 0,003$ para 2002 e $0,049 \pm 0,0024$ no ano de 2003.

A refletância apresentou maiores valores médios de 0,046 e 0,054 em junho de 2001 e 2003, respectivamente, mês da estação seca e valor máximo 0,052 em dezembro de 2002, mês da estação úmida. Em 2001 os valores máximos foram na estação seca, compreendido entre os meses de junho a agosto, com uma média estacional de 0,044 e menor valor na estação úmida, com média de 0,040 (Figura 9). Possivelmente a diferença entre os valores da refletância de um ano para o outro seja a perda de calibração dos sensores.

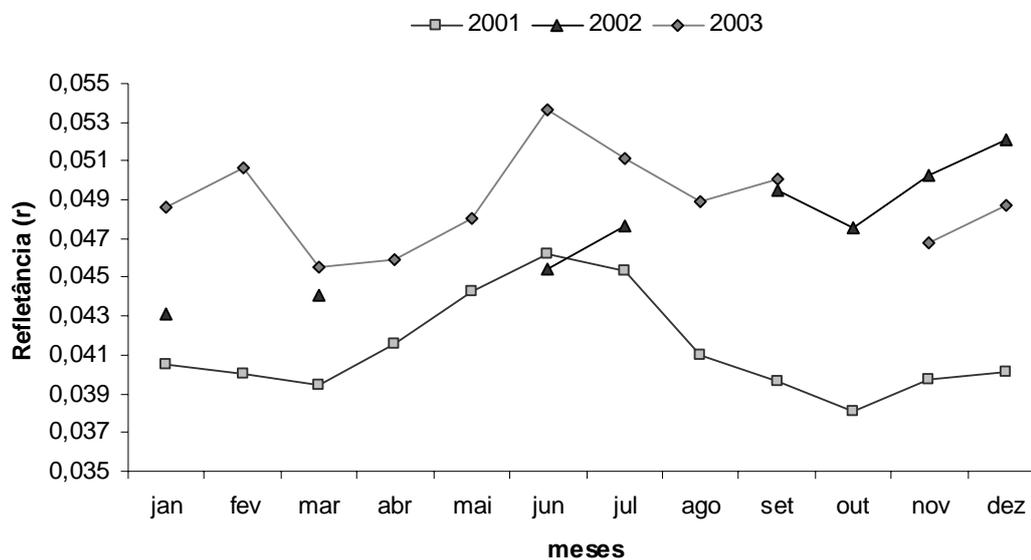


Figura 9 - Refletância (r) para os anos de 2001, 2002 e 2003.

A Figura 10 apresenta a variação da refletância (r) em função de intervalo do ângulo solar zenital nos anos de 2001, 2002 e 2003. Observou-se que o

comportamento da refletância foi o inverso da transmitância (Figura 8 e Figura 10), onde a refletância aumentou com o aumento do ângulo zenital.

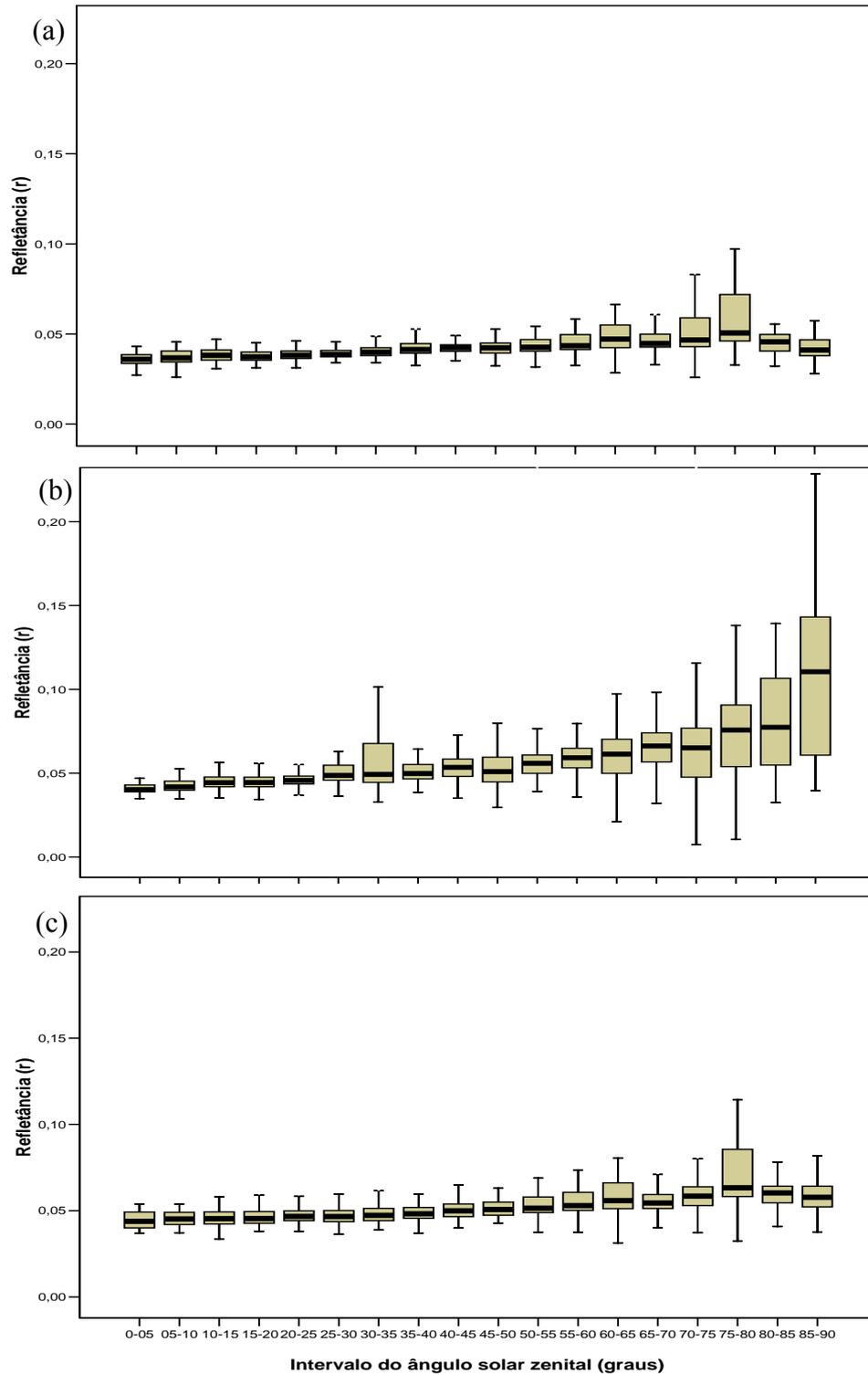


Figura 10 - Refletância do topo ao solo do dossel em função do ângulo zenital, nos anos de (a) 2001, (b) 2002 e (c) 2003. O gráfico representa uma distribuição assimétrica à direita, sendo a distância do terceiro quartis à mediana maior que a distância da mediana ao primeiro quartis, com 75% dos dados da refletância entre o terceiro quartis e o limite superior.

4.1.4 Absortância

As médias mensais da f_{APAR} para o anos de 2001 a 2003, assim como a média trienal estão apresentadas na [Tabela 6](#). Considerando a média trienal observou-se que os valores da f_{APAR} apresentaram pouca variação e menor valor no mês de março $0,920 \pm 0,018$, período da estação úmida-seca, e maior valor no mês de agosto $0,937 \pm 0,001$, mês da estação seca. As médias da f_{APAR} entre os anos de 2001 a 2003 foram de $0,924 \pm 0,008$, $0,925 \pm 0,011$ e $0,934 \pm 0,009$, respectivamente.

Tabela 6 - Média (\pm DP) da Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa (f_{APAR}), entre a altura de 42 e 0, para os anos de 2001, 2002 e 2003 e a média trienal (\pm DP).

Meses	2001	2002	2003	média trienal
Janeiro	$0,922 \pm 0,032$	$0,917 \pm 0,020$	$0,933 \pm 0,014$	$0,924 \pm 0,008$
Fevereiro	$0,926 \pm 0,027$	-	$0,928 \pm 0,046$	$0,927 \pm 0,002$
Março	$0,918 \pm 0,044$	$0,903 \pm 0,59$	$0,938 \pm 0,0143$	$0,920 \pm 0,018$
Abril	$0,932 \pm 0,032$	-	$0,910 \pm 0,053$	$0,921 \pm 0,015$
Maiο	$0,931 \pm 0,036$	-	$0,928 \pm 0,018$	$0,930 \pm 0,027$
Junho	$0,912 \pm 0,055$	$0,924 \pm 0,032$	$0,932 \pm 0,026$	$0,923 \pm 0,010$
Julho	$0,924 \pm 0,093$	$0,929 \pm 0,029$	$0,933 \pm 0,030$	$0,929 \pm 0,004$
Agosto	$0,937 \pm 0,017$	-	$0,935 \pm 0,019$	$0,937 \pm 0,001$
Setembro	$0,913 \pm 0,055$	$0,931 \pm 0,044$	$0,938 \pm 0,024$	$0,927 \pm 0,013$
Outubro	$0,926 \pm 0,026$	$0,933 \pm 0,037$	-	$0,930 \pm 0,005$
Novembro	$0,925 \pm 0,016$	$0,934 \pm 0,102$	$0,945 \pm 0,008$	$0,935 \pm 0,010$
Dezembro	$0,920 \pm 0,021$	$0,930 \pm 0,072$	$0,944 \pm 0,011$	$0,932 \pm 0,012$
Total	$0,924 \pm 0,008$	$0,925 \pm 0,011$	$0,934 \pm 0,009$	$0,923 \pm 0,016$

Para uma floresta Amazônica em Santarém, [SENNÁ \(2004\)](#) obteve valores médios mensais de f_{APAR} variando de 0,886 (agosto) a 0,935 (dezembro), com uma média de 0,914 para o período de julho de 2000 a julho de 2001. Observou-se que a f_{APAR} apresentou pequenas variações entre seus valores médios mensais obtidos na floresta de transição em estudo, com relação a variação dos valores médios mensais apresentados por [SENNÁ \(2004\)](#). Considerou-se que os valores da f_{APAR} no presente estudo estão de acordo com os da floresta Amazônica.

A [Figura 11](#) mostra uma correlação entre a f_{APAR} com a t_{topo-0} e a [Figura 12](#) uma correlação entre a f_{APAR} e a refletância, onde a correlação linear com a transmitância foi forte ($R^2=89\%$), e com a refletância foi extremamente fraca ($R^2=17\%$), mostrando com isto que a f_{APAR} é mais dependente da transmitância.

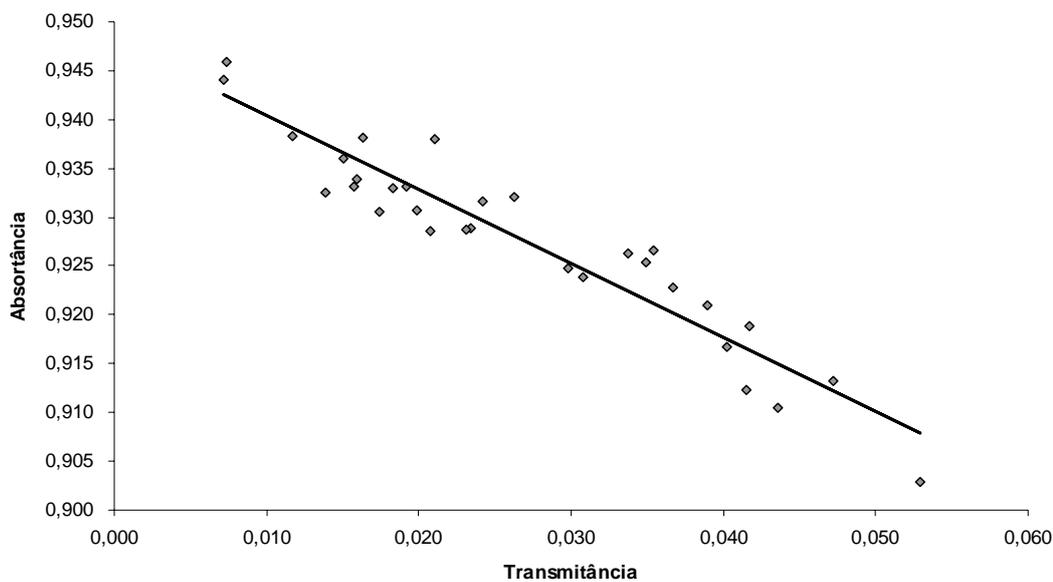


Figura 11 - Correlação entre os valores mensais de transmitância entre as alturas de 42 e 0m ($t_{\text{topo-0}}$) e absortância, para os anos de 2001, 2002 e 2003.

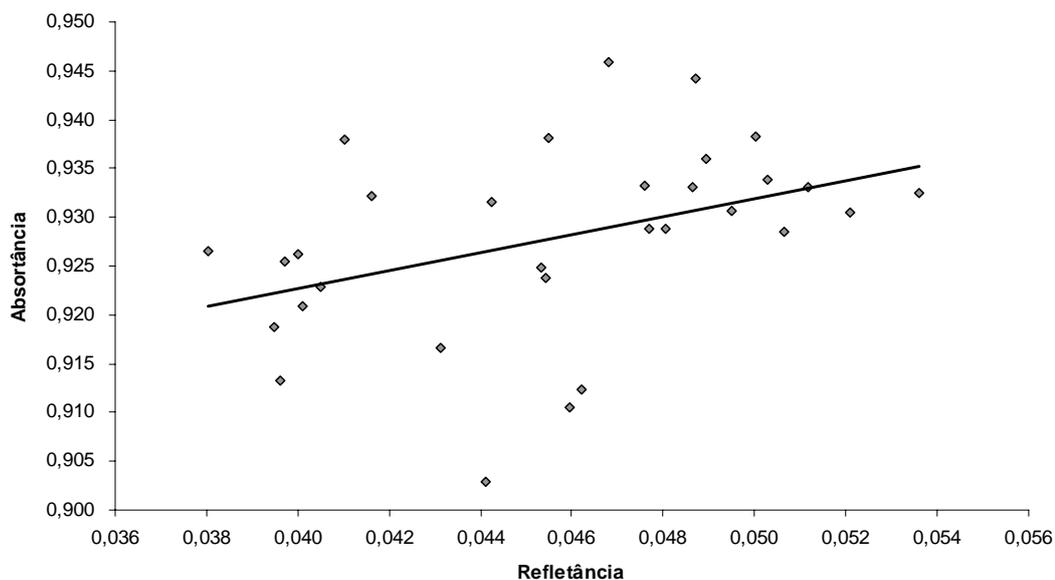


Figura 12 - Correlação entre os valores mensais de refletância entre as alturas de 42 e 0 m ($t_{\text{topo-0}}$) e absortância, para os anos de 2001, 2002 e 2003.

[NOUVELLON *et al.* \(2000\)](#) estudaram o efeito da nebulosidade na absorção da PAR para uma cobertura gramada no México, concluíram que para ângulos zenitais pequenos a f_{APAR} difusa foi maior que a direta e para ângulos zenitais grandes

ocorreu o inverso. Entretanto, para altos valores da LAI a f_{APAR} de dias nublados pode ser levemente menor que para os dias claros.

A estimativa da f_{APAR} por observações de campo considera a PAR absorvida por folhas e galhos. Pode-se corrigir as medidas de campo com um fator de correção (FC) que considera a f_{APAR} das folhas, dado pela equação 17:

$$FC = 0,951 \left[e^{(-0,5)(LAI+SAI)} / e^{(-0,5)(LAI)} \right] \quad (17)$$

Assumindo, índice de área foliar da área em estudo ($LAI = 4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) e índice de área foliar dos galhos ($SAI = 0,1$).

A Tabela 7 mostra os valores das médias estacionais dos anos de 2001 a 2003 da f_{APAR} , sem fator de correção (SFC) e com fator de correção (CFC), onde verificou-se que os maiores valores estão na estação seca e seca-úmida, possivelmente devido a menor nebulosidade que ocorre nestas estações com relação as estações úmida e úmida-seca.

Tabela 7 - Valores das médias estacionais (média \pm DP) dos anos de 2001 a 2003 da Fração Absorvida da Radiação Fotossinteticamente Ativa (f_{APAR}), sem fator de correção (SFC) e com fator de correção (CFC).

Estação	f_{APAR} (SFC)	f_{APAR} (CFC)
Úmida	0,928 \pm 0,007	0,899 \pm 0,039
Úmida-seca	0,919 \pm 0,032	0,898 \pm 0,048
Seca	0,929 \pm 0,005	0,904 \pm 0,033
Seca-úmida	0,930 \pm 0,009	0,902 \pm 0,036

4.2 ABSORTÂNCIA OBTIDA POR MODELAGEM

A Figura 13 apresenta a estimativa mensal da f_{APAR} estimada por modelagem, para o ano de 2001, o período de simulação foi de janeiro a junho, para 2002, agosto a outubro e 2003, janeiro a setembro. Verificou-se que a média, para o período de cada ano simulado, foi de $0,714 \pm 0,018$, para 2001, $0,709 \pm 0,011$, $0,707 \pm 0,010$, para 2002 e 2003, respectivamente.

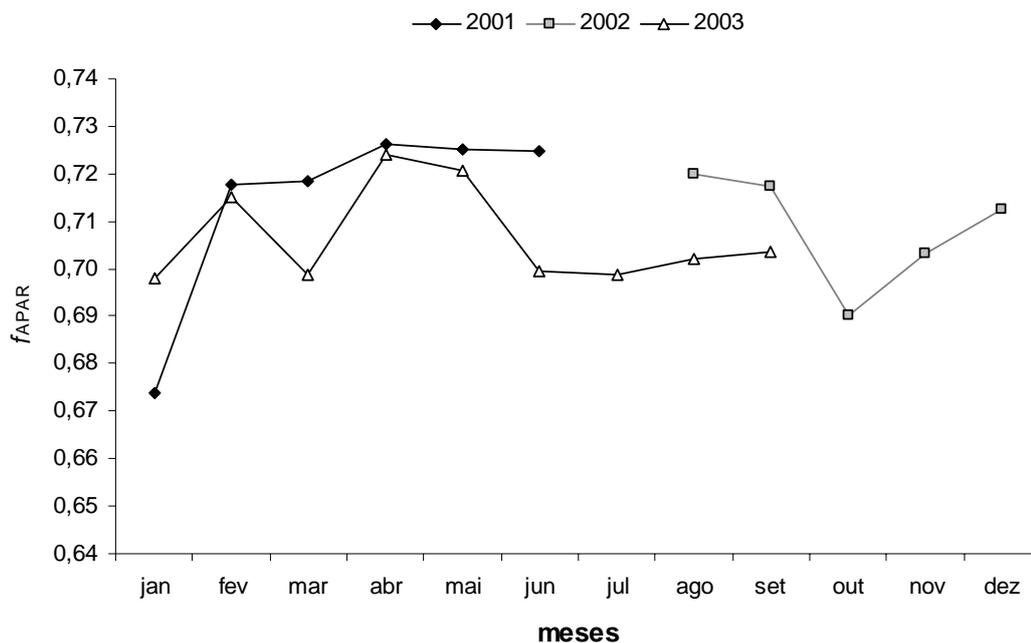


Figura 13 – Valores mensais de f_{APAR} estimada por modelagem para os anos de 2001, 2002 e 2003.

Segundo SENNA (2004), para uma floresta Amazônica em Santarém a f_{APAR} simulada pelo IBIS, para o ano de 2001, variou ligeiramente entre 0,755 e 0,763. TIAN *et al.* (2004) simularam a f_{APAR} sobre a Amazônia usando o *Common Land Model* (CLM) e os valores variaram entre 0,80 e 0,85 para o ano de 2001, considerando apenas o valor da f_{APAR} das 10h30min. Observou-se que a f_{APAR} apresentou pequenas variações entre seus valores médios mensais simulados para a floresta de transição em estudo, com relação a variação dos valores médios mensais apresentados por SENNA (2004) em seu estudo.

4.3 ABSORTÂNCIA OBTIDA PELO PRODUTO MODIS

A f_{APAR} mensal estimada pelo produto do MODIS para os anos de 2001, 2002 e 2003 estão apresentadas na Tabela 8. A média anual ($\pm DP$) para os anos de 2001, 2002 e 2003 foram, respectivamente, de $0,82 \pm 0,034$, $0,83 \pm 0,02$ e $0,82 \pm 0,03$.

Tabela 8 - Dados mensais da f_{APAR} e Controle de Qualidade (QA), estimada pelo MODIS, para os anos de 2001, 2002 e 2003.

Meses	2001		2002		2003	
	f_{APAR}	QA	f_{APAR}	QA	f_{APAR}	QA
Janeiro	0,77	4	0,82	4	0,83	5
Fevereiro	0,82	4	0,83	3	0,80	5
Março	0,82	4	0,85	5	0,84	5
Abril	0,82	2	0,80	3	0,78	3
Mai	0,82	4	0,82	3	0,74	4
Junho	0,80	4	0,83	5	0,86	4
Julho	0,86	3	0,86	5	0,86	3
Agosto	0,88	2	0,84	5	0,85	4
Setembro	0,85	5	0,84	4	0,82	5
Outubro	0,84	5	0,79	5	0,82	4
Novembro	0,82	5	0,84	6	0,84	5
Dezembro	0,75	3	0,84	4	0,81	5
Média anual	0,82	-	0,83	-	0,82	-

Pela codificação do controle de qualidade (QA), pode-se observar que aproximadamente 58% dos dados são de nível de qualidade elevada, nível de QA entre 1-4. Os meses com menor confiabilidade para os anos de 2001, 2002 e 2003 (Tabela 8), são os que possuem as maiores taxas de precipitação na área estudo, conforme Tabela 1, pois segundo SENNA (2004), a estimativa está mais contaminada pela presença de nebulosidade.

TIAN *et al.* (2004), estudaram a variação sazonal da f_{APAR} estimada pelo produto do MODIS sobre a Amazônia para o ano de 2001, obtendo um valor médio aproximado de 0,85, e também observou uma forte contaminação dos dados.

Quando se trata de imagens geradas a partir do sensoriamento remoto, a radiação detectada pelo sensor é causada pela mistura da resposta de diferentes alvos e os efeitos atmosféricos, que podem causar alterações importantes nos dados. Os fatores relacionados a cada sistema sensor (diferença na resolução espacial, variações nas respostas radiométricas), e ao meio ambiente (absorção e espalhamento atmosféricos, quantidade de moléculas dispersas na atmosfera, presença de nuvens e suas sombras, variação na irradiância e ângulo solar, variações na fenologia vegetal e nos componentes do solo segundo as mudanças estacionais) podem também interferir nos resultados das detecções (ANDERSON *et al.*, 2003).

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE ESTIMATIVAS DA f_{APAR} BASEADAS EM MEDIÇÕES DE CAMPO, MODELAGEM E PRODUTO DO MODIS

A [Tabela 9](#) mostra a média anual da f_{APAR} diária e a média anual das 10h30min, para os três anos de estudo. Observou-se que os maiores valores são os estimados por medições de campo, seguidos pelas estimativas do MODIS. Os valores simulados pelo IBIS são inferiores às demais estimativas.

Tabela 9 - Médias anuais da f_{APAR} calculadas com valores mensais diurnos e com valores mensais das 10h30min.

Ano	Método aplicado	f_{APAR}	
		Média Diurna	Média das 10h30min
2001	Medições de Campo (SFC)	0,924 ± 0,007	0,932 ± 0,010
	Medições de Campo (CFC)	0,901 ± 0,037	0,909 ± 0,053
	Modelagem	0,714 ± 0,018	0,792 ± 0,002
	Produto do MODIS	-	0,821 ± 0,034
2002	Medições de Campo (SFC)	0,925 ± 0,049	0,922 ± 0,042
	Medições de Campo (CFC)	0,893 ± 0,057	0,905 ± 0,036
	Modelagem	0,712 ± 0,013	0,780 ± 0,025
	Produto do MODIS	-	0,830 ± 0,021
2003	Medições de Campo (SFC)	0,934 ± 0,009	0,936 ± 0,010
	Medições de Campo (CFC)	0,908 ± 0,0233	0,912 ± 0,031
	Modelagem	0,707 ± 0,010	0,764 ± 0,030
	Produto do MODIS	-	0,821 ± 0,037

Segundo [SENNA \(2004\)](#), mudanças nas condições atmosféricas como aerossóis e presença de nuvens afetam a f_{APAR} . Outra razão que causa as diferenças entre os resultados é que o algoritmo do MODIS determina a f_{APAR} instantaneamente e apenas pela contribuição das folhas, enquanto as observações de campo e as simulações do IBIS incluem também a PAR absorvida pelos galhos e os valores são horários.

Nas estimativas da f_{APAR} em medições de campo com fator de correção pode-se observar que tanto nas médias anuais diurnas como nas 10h30min para os três

anos, foram menores que as estimativas sem o fator de correção, onde os valores de f_{APAR} podem ser considerados mais próximos dos valores do MODIS, no entanto, não se deve ignorar o fato de que as estimativas do MODIS estão afetadas por condições atmosféricas, tais como presença de nuvens e aerossóis.

SENNÁ (2004) e TIAN *et al.* (2004), também encontraram valores menores da f_{APAR} para a modelagem. Para a média anual diária, do ano de 2001, SENNA (2004) encontrou 0,91 para medições de campo e 0,76 para a modelagem (IBIS), na média anual das 10h30min, obteve 0,93, 0,77 e 0,85, para medições de campo, modelagem e MODIS, respectivamente. TIAN *et al.* (2004), em seu estudo, também para o ano de 2001, na média anual das 10h30min encontrou 0,83 para a modelagem (CLM) e 0,85 para o produto do MODIS. Os valores médios anuais da f_{APAR} encontrados as 10h30min, em ambos os estudos, foram maiores do que os diários.

A Tabela 10 mostra as médias estacionais da f_{APAR} para os três anos de estudo, para cada método aplicado. Para as medições de campo (SFC e CFC), houve variação dos valores no decorrer das estações, enquanto que na modelagem, os valores menores, foram nas estações seca e seca-úmida. Para o MODIS, as médias foram menores nas estações úmida, úmida-seca.

Tabela 10 - Médias estacionais da f_{APAR} , calculadas com valores mensais, diurnos para Medições de Campo (SFC e CFC) e Modelagem e das 10h30min para o Produto do MODIS.

Ano	Estação	f_{APAR}			
		Medições de Campo (SFC)	Medições de Campo (CFC)	Modelagem	Produto do MODIS
2001	Úmida	0,923	0,901	0,696	0,780
	Úmida-Seca	0,928	0,904	0,723	0,820
	Seca	0,925	0,899	0,725	0,850
	Seca-Úmida	0,922	0,902	-	0,840
2002	Úmida	0,924	0,891	0,712	0,830
	Úmida-Seca	0,903	0,887	-	0,823
	Seca	0,926	0,905	0,720	0,843
	Seca-Úmida	0,933	0,888	0,704	0,823
2003	Úmida	0,935	0,908	0,706	0,813
	Úmida-Seca	0,926	0,902	0,714	0,787
	Seca	0,934	0,908	0,700	0,857
	Seca-Úmida	0,942	0,915	0,703	0,827
Média total		0,923	0,901	0,711	0,824

A Figura 14 mostra os *box-plot* dos três métodos usados na estimativa da f_{APAR} , onde apresenta-se a não superposição entre as medidas de tendência central, indicando com isto suas diferenças significativas.

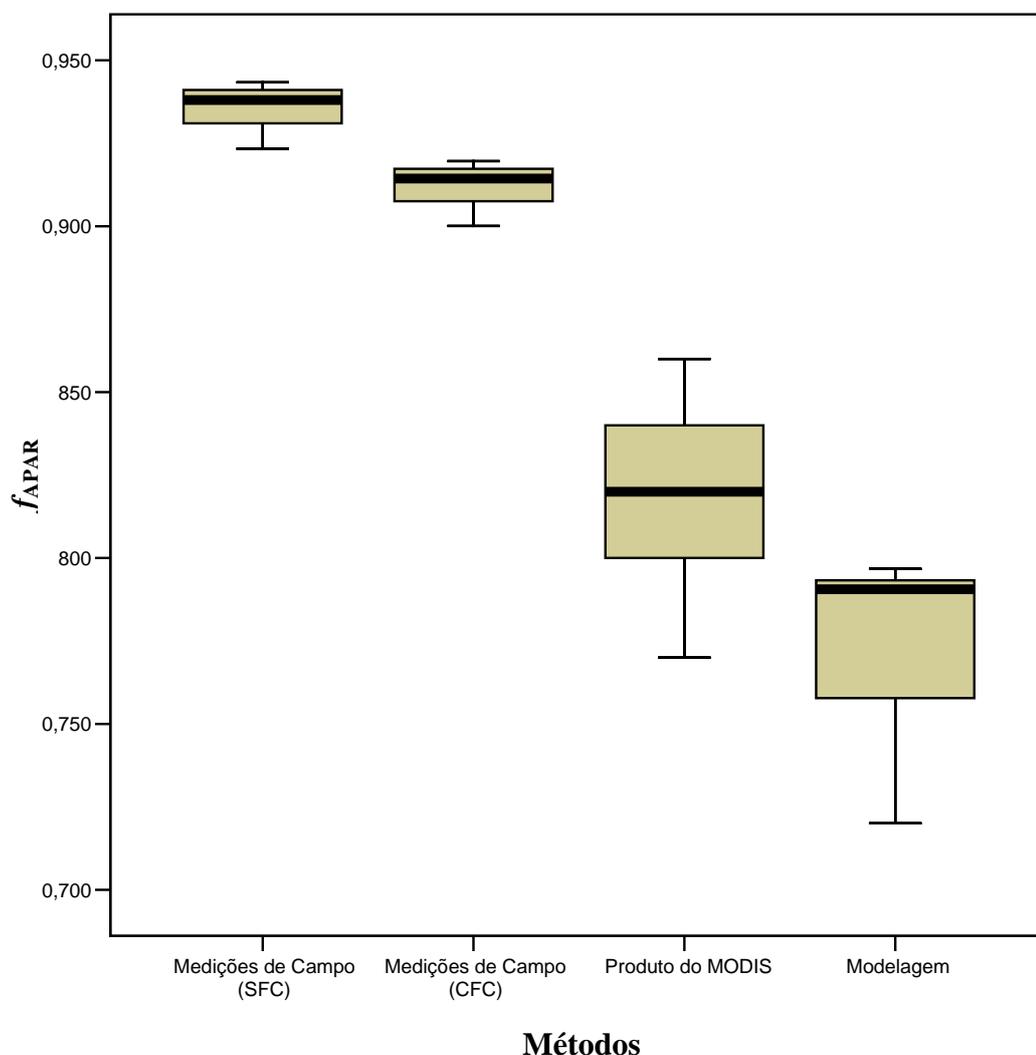


Figura 14 – *Box-Plots* dos métodos usados no período das 10h30min para a estimativa da f_{APAR} . O gráfico representa para os três métodos uma distribuição assimétrica à esquerda, sendo a distância do terceiro quartil a mediana menor que a distância da mediana ao primeiro quartil, representado com isto 75% da estimativa da f_{APAR} entre o primeiro quartil e o limite inferior.

Observou-se que as estimativas da f_{APAR} por observações de campo apresentaram menor oscilação que nos demais métodos aplicados, (Tabela 10 e Figura 14). Ao analisar os três métodos de estimativa da f_{APAR} , verificou-se que os conjuntos de valores são não-paramétricos, e ao aplicar o teste de Kruskal-Wallis foi

detectado diferença altamente significativa entre as médias dos escores ($\alpha < 0,01$), onde a modelagem possui uma média de escores menores 14,10 em seguida pelo produto do MODIS 36,50 e observações de campo (CFC) 73,45 e (SFC) 101,00.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Das análises dos resultados obtidos da caracterização do microclima da área em estudo por observações de campo, e das estimativas da f_{APAR} em uma Floresta de Transição Cerrado-Amazônica com base em medições de campo, modelagem e sensoriamento remoto, conclui-se que:

- Houve uma variação sazonal das variáveis micrometeorológicas e conteúdo de água no solo.
- Aproximadamente 50% da precipitação ocorreu na estação úmida.
- A temperatura do solo foi superior à temperatura do ar em aproximadamente 10 e 22% nas estações úmida e seca, respectivamente. Nas estações seca e de transição seca-úmida, a temperatura do solo e o conteúdo de água no solo foram menores que nas estações úmida e úmida-seca.
- As maiores temperaturas do perfil da altura do dossel foram apresentadas nas estações de transição seca-úmida e úmida-seca.
- A floresta de transição apresentou padrão de sazonalidade similar à floresta Amazônica, entretanto, o presente trabalho apresentou alguns valores diferentes de variáveis micrometeorológicas devido à diferença da composição florística e estrutura do dossel.
- Os valores médios trienais diurna da f_{APAR} foram de 0,923 (SFC), 0,901 (CFC) para medições de campo e 0,71 para modelagem, enquanto a média trienal das estimativas das 10h30min foram 0,930 (SFC), 0,909 (CFC) para medições de campo, 0,78 e 0,84, para modelagem e sensoriamento remoto, respectivamente.

- Os valores da f_{APAR} obtidos via modelagem (IBIS) foram inferiores aos demais métodos de estimativa, mas concordam com os obtidos pelo IBIS (SENNA, 2004) e pelo modelo CLM (TIAN *et al.*, 2004) que estimaram f_{APAR} em floresta tropical Amazônica.
- Houve diferença altamente significativa entre as médias dos escores, dos métodos utilizados na estimativa da f_{APAR} .

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

De acordo com as conclusões, recomenda-se:

- Dar continuidade as observações de campo em anos decorrentes para uma melhor análise de dados temporais das características do microclima.
- A calibração do modelo IBIS com dados micrometeorológicos da área em estudo para a estimativa da f_{APAR} .
- Avaliar o produto do MODIS com índices vegetativos obtidos por imagens de satélites com diferentes sensores.

6 BIBLIOGRAFIAS

6.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ADUAN, R. E. **Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil Central**. 149 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

AGUIAR, R. G. **Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2005.

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO, O. A. J. **Sensor MODIS: Uma Abordagem Geral**. INPE. São José dos Campos. 2003.

ANHUF, D.; MOTZER, Th.; ROLLENBECK, R.; SCHRÖDER, B.; SZARZYNSKI, J. Water budget of the Surumoni crane site (Venezuela). **Selbyana**. v. 20, p. 179-185, 1999.

ANHUF, D.; ROLLENBECK, R. Canopy structure of the Rio Surumoni rain forest (Venezuela) and its influence on microclimate. **Ecotropica** v. 7; p. 21-32, 2001.

ANHUF, D.; WINKLER, H. Geographical and ecological settings of the Surumoni-crane-project (upper Orinoco, Estado Amazonas, Venezuela). **Anzeiger Mat.- Nat. KI. Abt.1**. v. 135, p. 3-23, 1999.

ARAIN, M. A.; SHUTTLEWORTH, W. J.; FARNSWORTH, B.; ADAMS, J.; SEN, O.L. Comparing micrometeorology of rain forests in Biosphere-2 and Amazon basin. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 100; p. 273-289, 2000.

ARAÚJO, A. C.; OBRE, A. D.; KRUIJT, B.; ELBERS, J. A.; DALLAROSA, R.; STEFANI, P.; RANDOW, C.; MANZI, A. O.; CULF, A. D.; GASH, J. H. C.; VALENTINI, R.; KABAT, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**. v. 107, p. 58-20, 2002.

ASSIS, S. V. **Apostila de Radiação Solar – Disciplina: Agrometeorologia**. Pelotas/RS, UFPe. Disponível em: <www.ufpel.tch.br>. Acesso em: 15 ago. 2005.

AZEVEDO, P. V.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SOUZA, I. F.; MACIEL, G. F.; Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Rio de Janeiro. v. 5, n. 1, p. 403 – 410, 1990.

BARKER, J. L.; HARDEN, M. K.; ANUTA, E. A.; SMID, J. E HOUGT, D. **MODIS spectral sensivity study: requirements and characterization**. Washington: NASA, Oct, 1992, 84p.

CECCON, E.; MIRAMONTES, O. Mecanismos y actors sociais de la deforestación em la Amazonia Brasileña. **Interciência**. México, v. 24, n. 2, p.112-119, mar-abr. 1999.

COHEN, W. B.; JUSTICE, C. O. Validating MODIS terrestrial ecology products: linking in situ and satellite measurements. **Remote Sens. Environ**. v. 70, p.1-3, 1999.

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

CPTEC. **Radiação Solar e Terrestre**. Disponível em:

<<http://www.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/radsat/radiacao.htm>> Acesso em: 17 Abr. 2006.

CRESESB. **Energia Solar**. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergiasolar.htm>> Acesso em: 18
Abr. 2006.

CULF, A. D., ESTEVES, J. L., MARQUES FILHO, A. O., OCHA, H. R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In: AMAZONIAN DEFORESTATION AND CLIMATE. (eds Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.). p. 175-191. J.M. **Wiley and Sons**, New York. 1996.

DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E.; AULICINO, L. C. M. Metodologia para padronizar e atualizar o banco de dados do projeto “PRODES Digital”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, MG. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2705-2712. Disponível em: <http://www.ltid.inpe.br>.

FERREIRA, M. E.; PECCININI, A. A.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Análise da sazonalidade de paisagens antrópicas e natives do bioma Cerrado através dos produtos MODIS índices de vegetação, área foliar e atividade fotossintética. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia, GO. **Anais**. INPE. p. 505-512, 2005.

FRIEND, A. D. Parameterisation of a global daily weather generator for terrestrial ecosystem modeling. **Ecological Modeling**. v. 109, n. 2, p. 121-140, 1998.

FUJISAKA, S.; ASTILLA, C.; SCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E.J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 69, p. 17-26, 1998.

FOLEY, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; LEVIS, S.; POLLARD, D.; SITCH, S.; HAXELTINE, A. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. **Global Biogeochemical Cycles**. v. 10, p. 603-628, 1996.

GALLO, K. P.; DAUGHTRY, C. S. T.; WIEGAND, C. L. Errors in measuring absorbed radiation and computing canopy crop radiation use efficiency. **Agron. J.** v. 85, p. 1222-1228, 1993.

GALLON, M.M.P.; SANCHES, L.; PAULO, S.R.de. Fluxo e perfil de dióxido de carbono no dossel de uma floresta tropical de transição Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia.** 2006.

GOBRON, N.; PINTY, B.; VERSTRAETE, M. M.; WIDLOWSKI, JEAN-LUC. Advanced Vegetation Indices Optimizad for Up-Coming Sensors: Design, Performance, and Applications; **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**; v. 38, n. 06, 2000.

GOUDRIAAN, J. The bare bornes of leaf-angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. **Agricultural and Forest Meteorology.** Amsterdam, n. 43, p. 155-169, 1988.

GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J.; NORMAN, J. M.; Directo and Indirect Stimation of Leaf Área Index, *Fapar*, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems; **Remote Sens. Environ.** v. 70, p. 29-51, 1999.

HALL, F. G.; HUEMMRICH, F.; GOWARD, S. N. Use of narrow-band spectra to estimate the fraction of absorbed photosynthetic active radiation. **Remote Sens. Environ.** v. 32, p. 47-54, 1990.

HERNANDEZ, J. L.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BARDIN, L. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua; **Sociedade de Investigações Florestais.** v. 28, n. 2, p. 167-172, 2004. <http://www.aprmt.com.br/>

HURTT, G. C.; MOORCROFT, P. R.; PACALA, S. W.; LEVIN, S. A. Terrestrial models and global change: challenges for the future. **Global Change Biology.** v. 4, p. 581-590, 1998.

IBGE, 1997 in LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L.; **Fatos Florestais da Amazônia** 2003. Belém. Imazon. 2003. 110p

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 09 de Março. 2001.

INPE. The Large Scale Biosphere-atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). Disponível em: <http://lba.cptec.inpe.br>. Acesso em: 10 de Março. 2006.

KAUFMAN, Y. J.; HOBBS, P. V.; KIRCHHOFF, V. W. J. H.; ARTAXO, P.; REMER, L. A.; HOLBEN, B. N.; KING, M. D.; WARD, D. E.; PRINS, E. M.; LONGO, K. M.; MATTOS, L. F.; NOBRE, C. A.; SPINHIRNE, J. D.; J. I. Q., THONPSON, A. M.; GLEASON, J. F.; CHRISTOPHER, S. A.; ETSAY, S. C. Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) experiment. **Journal of Geophysical Research**. v. 103, n. 24, p. 31783-31808, 1998.

KUCHARIK, C. J.; FOLEY, J. A.; DELIRE, C.; FISHER, V. A.; COE, M. T.; GOWER, S. T.; LENTERS, J. D.; YOUNG-MOLLING, C.; NORMAN, J. M.; RAMANKUTTY, N. Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: Water balance, carbon balance end vegetation structure. **Global Biogeochemical Cycles**. v. 14, p.795-825. 2000.

KNYAZIKHIN, Y.; GLASSY, J.; PRIVETTE, J. L. TIAN, Y.; LOTSCH, A.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; MORISETTE, J. T.; VOTAVA, P.; MYNENI, R. B.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. MODIS leaf area index (LAI) and fraction of photosynthetically active radiation absorbed by vegetation (FPAR) product (MOD15) algorithm theoretical basis document, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA. <http://eosps0.gsfc.nasa.gov/atbd/modistables.html>, 1999.

LEITÃO, M. V. B. R., SANTOS, J. M; OLIVEIRA G. M.; Estimativa 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. 110 p., 2003.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **J. Climate**, v. 14, p. 4308-4318, 2001.

LISBOA, P. L. B.; FERRAZ, M. G. Estação Científica Ferreira Penna. CNPq/**Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará**. 151p., 1999.

MAITELLI, G. T.; WRIGHT, I. R. (1996) The climate of a riverside city in the Amazon Basin: urban-rural differences in temperature and humidity. In: **Amazonian deforestation and climate**. (eds Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.). p. 193-206. J.M. Wiley and Sons, New York.

MALHI, Y.; PEGORARO, E.; NOBRE, A. D.; PEREIRA, M. G. P.; GRACE, J.; CULF, A. D.; CLEMENT, R. Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**. v. 107, p. 4517-4527, 2002.

MALHI, Y.; WRIGHT, J. (2004) Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. **The Royal Society**. v. 359, p. 311-329.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 78, p. 79-96, 2004.

MARISCAL, M. J.; ORGAZA, F.; VILLALOBOS, F. J. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 100, p. 183-197, doi: 10.1016/S0168-1923(99)00137-9, 2000.

MYNENI, R. B.; HOFFMAN, S.; KNYAZIKHIN, Y.; PRIVETTE, J. L.; GLASSY, J.; TIAN, Y.; WANG, Y.; SONG, X.; ZHANG, Y.; SMITH, G. R.; LOTSCH, A.; FRIEDL, M.; MORISETTE, J. T.; VOTAVA, P.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sens. Environ.** v. 83, p. 214-231, 2002.

MYNENI, R. B.; WILLIAMS, D. L. On the relationship between f_{APAR} and NDVI. **Remote Sens. Environ.** v. 49, p. 200-211, 1994.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

MÖTTUS, M.; ROSS, J.; SULEV, M. Experimental study of ratio of PAR to direct integral solar radiation under cloudless conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 109, p. 161-170, doi: 10.1016/S0168-1923(01)00269-6. 2001.

MOTZER, T. Micrometeorological aspecto of a tropical mountain forest. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 135, p. 230-240. 2005.

NIKOLOV, N. T.; ZELLER, K. F. A. Solar radiation algorithm for ecosystem dynamic models. **Ecological Modelling**. v. 61, p. 149-168, 1992.

NOJD, P.; HARI, P. Instantaneous PAR estimated using long records of daily temperature and rainfall. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 109, p. 47-59. doi: 10.1016/S0168-1923 (01) 00258-1. 2001.

NOUVELLON, Y.; BEGUE, A.; MORAN, M. S.; SEEN, D. LO; RAMBA, S. L.; LUQUET, D.; UNI, H. C.; INOUE, Y. – PAR extinction in shortgrass ecosystems: effects of clumping, sky conditions and soil albedo. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 105, p. 21-41, 2000.

NURMA. 2002. Núcleo de monitoramento agroclimático. BHBrasil – Balanços hídricos climáticos de 500 localidades brasileiras. Disponível em: <http://ce.esalq.usp.br/dce/nurma.htm>. Acesso em: 10 Março. 2006.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P. J.; SMETHURST, P. J.; O'CONNELL, A. M.; CARLYLE, C. J.; KHANNA, P. K. Soil temperature under forest: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 121, p. 167-182, 2003.

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

PEREIRA, A. R. Radiation regime of tropical rain forest. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria. v. 5, n. 2, p. 1-8, 1997.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia, fundamentos e aplicações práticas**. 1º ed. Guaíba: Livraria e Ed. Agropecuária. 478 p., v. 1, 2002b.

PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G. L.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S. de, CAMPELO Jr, J. H.; NUNES, P. C.; SANCHES, L.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. **Global Change Biology**. v. 10, p. 863-876, 2004.

PRIVETTE, J. L., MYNENI, R. B., KNYAZIKHIN, Y., MUKELABAI, M., Roberts, G., TIAN, Y., WANG, Y. e LEBLANG, S. G. Early spatial and Temporal Validation of MODIS LAI product in the Southern África Kalahari. **Remote Sens. Environ**. v. 83, p. 232-243, 2002.

RADIN, B.; BERGAMANCHI, H.; REISSER, Jr. C.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A.; Eficiência de uso da radiação Fotossinteticamente Ativa pela Cultura do Tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 470 p., v. 1, 1996.

ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D. C.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D. V. O.; FREITAS, H. C.; FIGUEIRA, A. M. S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest In: **East Amazonia, Ecological Applications**. v. 14, n. 4, p. S22-S32, 2004.

SANCHES; L.; SULI, G.; VALENTINI, C. M. A.; NOGUEIRA, J. S.; LOBO, F. A.; PRIANTE FILHO, N.; AGUIAR, R. G.; VOURLITIS, G. L. Structure, litter and soil

CO₂ efflux dynamics at an Amazonian transitional tropical forest. **(Submetido)**. 2006.

SELLERS, P. J.; DICKINSON, R. E.; RANDALL, D. A.; BETTS, A. K.; HALL, F. G.; BERRY, J. A.; COLLATZ, G. J.; DENNING, A. S.; MOONEY, H. A.; NOBRE C. A.; SATO, N.; FIELD, C. B.; HENDERSON-SELLERS, A. Modeling the Exchanges of Energy, Water, and Carbon Between Continents and the Atmosphere. **Science**. v. 275, p. 502-509, 1997.

SENNA, M. C. A.; **Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida pela Floresta Tropical Amazônica: Uma comparação entre estimativas baseadas em Modelagem, Sensoriamento Remoto e Medições de Campo**; 2004. 54f, Dissertação de Mestrado; Prog. Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa–MG. 2004.

SHUTTLEWORTH, W. J. Micrometeorology of temperate and tropical forest. **Royal Soc**. v. 324, p. 299-334, 1989.

SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J. H.; LLOYD, C. R.; MOORE, C. J.; ROBERTS, J.; MARQUES FILHO, A. O.; FISCH, G.; SILVA FILHO, V. P.; RIBEIRO, M. N. G.; MOLION, L. C. B.; SA, 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**. London. v. 97, p. 541-564, 1984a.

SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J. H. C.; LLOYD, C. R.; MOORE, C. J.; ROBERTS, J.; MARQUES, A. de O.; FISCH, G.; SILVA, V. P.; RIBEIRO, M. N. G.; MOLION, L. C. B.; ABREU SÁ, L. D.; NOBRE, C.; CABRAL, O. M. R.; PATEL, S. R.; MORAES, J. C. Eddy coorelation measurements of energy partition for Amazonian forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v. 110, p. 1143-1162, 1984b.

SILVA, C. J.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J. S.; PRIANTE FILHO, N. Produção de Serrapilheira em áreas de Cerrado e Floresta Transição Amazônia Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **(Submetido)**, 2004.

SOUZA FILHO, J. D. **Variação sazonal dos componentes do balanço de radiação e energia sobre a floresta de Caxiuanã.** 67 f., Dissertação (Meteorologia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais - MG. 2002.

SOUZA, J. R. S.; PINHEIRO, F. M. A.; ARAÚJO, R. L. C.; PINHEIRO Jr, H. S.; HODNETT, M. G. In: **AMAZONIAN DEFORESTION AND CLIMATE.** (eds Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.). p. 125-137. J.M. Wiley and Sons, New York. 1996

SPOLADOR, J.; SANCHES, L.; COSTA, M. H. Radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta de transição Cerrado-Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2006.

SULI, G. S.: **Comparações Empíricas entre Medições Multiespectrais de Sistemas Sensores e Índices de Área Foliar Verde em Floresta Amazônica de Transição;** 2004, Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, Dez. 2004.

SZARZYNSKI, J. Energie-und Wasserhaushalt eines amazonischen Regenwalds. *Mannheimer Geographische Arbeiten* 53, 2000.

TANNUS, R. N. Funcionalidade e Sazonalidade sobre Cerrado e sobre ecótono Floresta-Cerrado: uma investigação com dados micrometeorológicos de energia e CO₂. 2004. 92p. Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 2004.

TIAN, Y.; DICKINSON, R. E.; ZHOU, L.; ZENG, X.; DAI, Y.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; ZHANG, X.; FRIEDL, M.; YU, H.; WU, W.; SHAIKH, M. Comparison of seasonal and spatial variations of LAI/FPAR from MODIS and common land model. **J. Geophys.** v. 109, n. D1, D0110310.1029/2003JD003777, 2004.

TURTON, S. M., The relative distribution of photosynthetically active radiation within four tree canopies. Craigieburn Range, New Zealand. *Aust. For. Res.* v. 15, p. 383-394, 1985.

VERMA, S.B. Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. *Remote Sensing Reviews*, v. 5, p. 99-115, 1990.

VIEIRA, S.; CAMARGO, P. B. de; SELHORST, D.; SILVA, R.; HUYTRA, L.; CHAMBERS, J. Q.; BROWN, I. F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; STEVEN, C. W.; TRUMBORE, S. E.; MARTINELLI, L. A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian Tropical Rain Forests. *Oecologia*. v. 140, p. 468-479, 2004.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F. T.; CAMPELO JR, J. H. Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian transitional tropical forest (cerradão). *Functional Ecology*. v. 15, p. 388-395, 2001.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F. CAMPELO JR.; J. H. Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brasil. *Water Resources Research*. v. 38, n. 6, p. 1-30, 2002.

WHITOMORE, T. C. An Introduction to Tropical Rainforests, 2nd ed. **Oxford University Press**, New York, 282 p., 1998.

XIONG, X.; BARNES, W. L.; GUENTHER, B.; MURPHY, R. E. Lessons Learned from Modis. *Adv. Space Res.* v. 32, n.11, p. 2107-2112, 2003.

6.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ANDERSON D. R.; SWEENEY D. J.; WILLIAMS T. A. **Estatística Aplicada à Administração e Economia**. 2ª ed. São Paulo: Pioneira, 2002.

BARBOSA JUNIOR, J. A. F., CAPISTRANO, V. B., REZENDE, S. D. P., MIRANDA, E. J., BIUDES, M. S., **Variação Sazonal da Área foliar em Três Extratos da Floresta Amazônica na Região de Sinop**; Resumo 34.9-P; III Conferência Internacional do LBA; Brasília-2004.

BUSSAB W. O.; MORETTIN P. A. **Estatística Básica**. 5ª ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

CALLEGARI-JACQUES S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. 1ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A.; **Modelagem de Sistemas Ambientais**; Editora Blucher, 1º edição, São Paulo, 1999.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A. Climate effects of Amazonian deforestation: some results from ABRACOS. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 78, n. 5, p. 823-830, 1997.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. An overview of ABRACOS. In: **AMAZONIAN DEFORESTATION AND CLIMATE**. Wiley, Chichester, UK, 611 p.

GUIMARÃES, R. C.; CABRAL, J. A. S. **Estatística**. Lisboa: McGraw-Hill, 1997.

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

MARTINELLI, L. A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian Tropical Rain Forests. **Oecologia**. v. 140, p. 468-479, 2004.

MARTINS, G. A. **Estatística geral e aplicada**. São Paulo: Atlas, 2001.

KING, M. D.; KAUFMAN, Y. J.; TANDRÉ, D.; NAKAJIMA, T.; Remote sensing of Tropospheric Aerosols From Space: Past, Present, and Future; **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 80, n. 11, 1999.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 1992. 747p.

SANTOS S. N. M.; **Modelos de Fluxos de Energia, Água e CO₂ Aplicado em Ecossistema de Floresta Tropical**; 2001. Dissertação de Mestrado; Prog. Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa-MG. 2001.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife/Brasil. Março de 2006.

SULI, G. S.; SILVEIRA, M.; YOSHITAKE, N. M.; PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G. L.; SANTOS, V. A; KREMER, E. J.; **“Proposta metodológica para avaliação estatística de Biodiversidade Arbórea de Floresta de Terra firme Amazônica, Centro-Norte de Mato Grosso”**. Anais do VI Congresso de Ecologia do Brasil. Fortaleza, Ceará. p. 66-68, 2003.