

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE VEGETAÇÃO
MONODOMINANTE DO PANTANAL E
VEGETAÇÃO DE CERRADO, UTILIZANDO
PARÂMETROS BIOFÍSICOS ESTIMADOS POR
IMAGENS DE SATÉLITES**

GUILHERME BARROS SEIXAS

Prof. Dr. JOSÉ HOLANDA CAMPELO JÚNIOR
Orientador

Cuiabá, MT
Dezembro de 2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE VEGETAÇÃO
MONODOMINANTE DO PANTANAL E
VEGETAÇÃO DE CERRADO, UTILIZANDO
PARÂMETROS BIOFÍSICOS ESTIMADOS POR
IMAGENS DE SATÉLITES**

GUILHERME BARROS SEIXAS

Tese apresentada ao programa de pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Física Ambiental.

Prof. Dr. JOSÉ HOLANDA CAMPELO JÚNIOR
Orientador

Cuiabá, MT
Dezembro de 2013

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S462a Seixas, Guilherme Barros.

Avaliação de vegetação monodominante do Pantanal e vegetação de Cerrado, utilizando parâmetros biofísicos estimados por imagens de satélites / Guilherme Barros Seixas. -- 2013

102 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: José Holanda Campelo Júnior.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2013.

Inclui bibliografia.

1. evapotranspiração. 2. precipitação. 3. índice de vegetação. 4. sensoriamento remoto. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

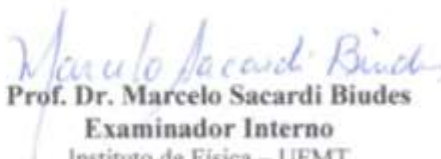
FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DE VEGETAÇÃO MONODOMINANTE DO PANTANAL E VEGETAÇÃO DE CERRADO UTILIZANDO PARÂMETROS BIOFÍSICOS ESTIMADOS POR IMAGENS DE SATÉLITE

AUTOR: GUILHERME BARROS SEIXAS

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 16 de dezembro de 2013, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. José Holanda Campelo Júnior
Orientador
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária
UFMT


Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes
Examinador Interno
Instituto de Física – UFMT


Prof. Dr. Flair José Carrilho Sobrinho
Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT


Profa. Dra. Carla Maria Abido Valentini
Examinadora Externa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Mato Grosso – IFMT


Profa. Dra. Rozilaine Aparecida Pelegrine Gomes de Faria
Examinadora Externa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e
a minha família...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Holanda Campelo Júnior pelos ensinamentos sobre fazer ciência e também, sobre a necessidade de buscar equilíbrio no cotidiano da vida.

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela dedicação e empenho em fazer do PGFA-UFMT, um programa de pós-graduação de excelência.

Aos professores do PGFA que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos Professores Osvaldo Borges, Marcelo Biudes, Francisco Lobo e Carmem Eugênia, pelas orientações e companheirismo nos trabalhos de campo.

Aos companheiros da Pós-graduação em especial: Higo, Fran, Flair, Osvaldo (Fú), Geraldo, Thiago e Renan.

Ao Cesário e Soilce pelo auxílio técnico na secretaria da Pós-Graduação em Física Ambiental (UFMT).

A todos os colegas e amigos da Pós-graduação pelo companheirismo e convívio saudável.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram no desenvolvimento desta pesquisa.

A FAPEMAT pela bolsa recebida através do Edital de Bolsas FAPEMAT – nº 007/2011

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E A ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS	3
2.2. SATÉLITE TERRA	7
2.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	11
3.2. DADOS METEOROLÓGICOS	13
3.2.1. Torre micrometeorológica	13
3.2.2. Estação meteorológica convencional.....	15
3.2.3. Radar meteorológico	15
3.3. ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO COM DADOS DE SUPERFÍCIE	16
3.3.1. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) por Interceptação de luz..	16
3.3.2. Evapotranspiração real estimada pelo método da Razão de Bowen..	17
3.4. PRODUTOS MODIS	18
3.5. IMAGENS DE SATÉLITE	21
3.6. PROCESSAMENTO DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS	22
3.7. STATUS DA UMIDADE DA SUPERFÍCIE DO SOLO POR MEIO DO ÍNDICE DE SECA TVDI.....	25

3.8.	ANÁLISE DOS DADOS.....	26
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1.	CLIMATOLOGIA	27
4.1.1.	Precipitação estimada pelo Radar instalado no satélite TRMM... ..	31
4.2.	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	37
4.2.1.	Índices de vegetação obtidos pelo satélite de resolução moderada - MODIS.....	37
4.2.2.	Índices de vegetação obtidos pelo satélite de alta resolução - LANDSAT.....	45
4.3.	TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE	50
4.3.1.	Temperatura da superfície obtida pelo satélite de resolução moderada - MODIS	50.
4.4.	ÍNDICE DE SECA VEGETAÇÃO-TEMPERATURA (TVDI).....	54
4.5.	EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL	59
5.	CONCLUSÃO	70
5.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	71
6.	BIBLIOGRAFIA.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triângulo TS-NDVI usado para monitoramento da umidade na superfície.	06
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.....	11
Figura 3 – Mapa temático de cobertura do solo, produzido por meio de classificação de imagem Landsat 7 ETM+	12
Figura 4 – Normais Climatológicas da Precipitação (Prec), Temperatura média compensada (Tmc), Temperatura máxima (Tmáx) e Temperatura mínima (Tmin) – Estação Cuiabá/MT	13
Figura 5 – Visualização do Tile selecionado (V10, H12) cobrindo o Estado de Mato Grosso	18
Figura 6 – Fluxograma do algoritmo da evapotranspiração (ET) - MODIS. LAI: índice de área foliar; FPAR: Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa – Produto MODIS MOD16A2	20
Figura 7 – Mapa da passagem do Satélite Landsat5-TM (órbita/ponto) sobre o Estado de Mato Grosso.....	21
Figura 8 – Visão parcial da interface gráfica para processamento de imagens e construção de modelos utilizando o Software ERDAS IMAGINE 9.2	22
Figura 9 – Fluxograma das etapas de processamento para obtenção da temperatura da Superfície.....	23
Figura 10 – Precipitação acumulada mensal média para o período de 2000 a 2009 (barras) observadas nas estações ANA- Porto Cercado / Município de Poconé e INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT; e Normal climatológica para precipitação de 1961 a 1990 – INMET – Cuiabá/MT....	27
Figura 11 – Temperatura média mensal para o período de 2000 a 2009 observadas na estação INMET – Padre Ricardo Remeter / Município de Santo Antonio de Leverger/MT e Normal climatológica (1961-1990) para temperatura média – INMET – Cuiabá/MT.	28
Figura 12 – Representação da estação seca e chuvosa para 96,34 mm de precipitação média mensal observada no período de 2000 a 2009, na estação ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé e INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT.	29

Figura 13 – Dinâmica da precipitação mensal estimada por meio dos dados do Satélite TRMM – produto 3B43, na RPPN – Sesc Pantanal/Município de Barão de Melgaço-MT, no período de 2000 a 2009.....32

Figura 14 – Precipitação mensal média (barras) estimada por meio dos dados do Satélite TRMM – produto 3B43, na RPPN – Sesc Pantanal/Município de Barão de Melgaço-MT, no período de 2000 a 2009.....32

Figura 15 – Relação da precipitação total mensal: (a) estimada pelo satélite TRMM e medida na estação ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé, e (b) estimada pelo satélite TRMM e medida pela estação INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT, no período de 2000 a 2009.....34

Figura 16 – Variação do nível (cota) do rio Cuiabá (—○—) medida na estação ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé/MT, e precipitação mensal (—) estimada pelo satélite TRMM para a localização da Torre no Cambarazal da RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009.....35

Figura 17 – Representação do valor da cota mínima (—) estimada para a ocorrência de inundação no Cambarazal da RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT e Variação do nível (cota) mensal médio do rio Cuiabá, em Porto Cercado – Município de Poconé/MT: cota máxima (—■—), cota média (—○—) e cota mínima (—▲—), no período de 2000 a 2009. Fonte: estação ANA- Porto Cercado.36

Figura 18 – Relação entre o índice de área foliar (IAF) estimado pelo método da interceptação luminosa e o IAF estimado pelo sensor Modis no Cambarazal da RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2006 a 2009.....37

Figura 19 – Dinâmica anual do Índice de área foliar (IAF) estimado pelo método da interceptação luminosa (○) e pelo produto Modis MOD5A2 (●), em: (a) 2006, (b) 2007, (c) 2008 e (d) 2009, no Cambarazal da RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT.38

Figura 20 – Comportamento do Índice de área foliar (IAF) anual do Cerrado na Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no Cambarazal da RPPN Sesc pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009: (a) Variação das médias anuais do IAF; (b) Variação Sazonal do IAF na Fazenda Miranda; (c) Variação Sazonal do IAF no Cambarazal.....40

Figura 21 – Comportamento dos Índices de Vegetação no Cerrado - Fazenda Miranda/MT, no período de 2000 a 2009: (a) Variação da média anual do EVI e do NDVI; (b) Variação Sazonal do EVI; (c) variação Sazonal do NDVI.....42

Figura 22 – Comportamento dos Índices de Vegetação no Cambarazal – RPPN Sesc Pantanal/MT, no período de 2000 a 2009: (a) Variação da média anual do EVI e do NDVI; (b) Variação Sazonal do EVI; (c) Variação Sazonal do NDVI.....43

Figura 23 – Comportamento do EVI (média $\pm$ i.c^{*}), estimados pelo produto Modis MOD13Q1: no Cerrado - Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no Cambarazal - RPPN Sesc Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009. * intervalo de confiança, $\alpha = 0,05$44

Figura 24 – Evolução dos Índices de Vegetação: NDVI (—●—) e EVI (---○---), estimados a partir dos dados do satélite LANDSAT-TM5, para os pixels onde estão localizadas as torres micrometeorológicas: (a) no Cerrado - Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e (b) no Cambarazal - RPPN Sesc Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, em 2009.....46

Figura 25 – Relação entre os Índices de Vegetação obtidos pelo sensor MODIS e os obtidos pelo satélite LANDSAT, em 2009: (a) NDVI do Cerrado, (b) EVI do Cerrado, (c) NDVI do Cambarazal, (d) EVI do Cambarazal. ($p < 0,05$).....47

Figura 26 – Histograma do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), na FM e RPPN, referente às imagens de 16/04/2009 (estação chuvosa) e 07/09/2009 (estação seca).....48

Figura 27 – Mapas de Temperatura da Superfície (°C) para as datas de 16/04/2009 (A) e 07/09/2009 (B), na Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Laverger / MT e na RPPN – Sesc Pantanal – Município de Barão de Melgaço / MT.....52

Figura 28 – Histograma da Temperatura da Superfície (Ts), na FM e RPPN, referente às imagens de 16/04/2009 (estação chuvosa) e 07/09/2009 (estação seca).....53

Figura 29 – Espaço definido pela temperatura da superfície (Ts) e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), na Fazenda Miranda (esq.) e Cambarazal (dir.) em: (a) 16/04/2009 e (b) 07/09/2009.....56

Figura 30 – Mapa da variabilidade do índice de umidade (TVDI) na região da Fazenda Miranda – Santo Antonio de Leverger/MT, em : (a) 10/01/09, (b) 16/04/2009, (c) 03/06/2009, (d) 06/08/2009, (e) 07/09/2009, (f) 09/10/2009.....57

Figura 31 – Dinâmica da Evapotranspiração real medida pelo sensor MODIS, a intervalos de 8 dias, no: (—) Cerrado, Fazenda Miranda – Município de Santo

Antonio de Leverger/MT e no (---) Cambarazal, RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009.....60

Figura 32 – Evolução da evapotranspiração real diária acumulada, estimada pelo método da razão de Bowen, com dados obtidos na torre micrometeorológica: no Cerrado (---), da fazenda Miranda / Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no pantanal (—), da RPPN – Sesc Pantanal / Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 12/04/2009 a 1/11/2009.....60

Figura 33 – Precipitação total anual estimada pelo satélite TRMM (▨) e Evapotranspiração real (ET_r) total anual estimada pelo sensor MODIS (—), no: (a) Cerrado - Fazenda Miranda/MT (b) Cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal/MT, no período de 2000 a 2009.....65

Figura 34 - Sazonalidade da Evapotranspiração real média no período de 2000 a 2009, no: (a) Cerrado - Fazenda Miranda/MT (b) Cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal/MT.....66

Figura 35 - Dinâmica Evaporação relativa (FET) estimada pelo sensor MODIS, a intervalos de 8 dias, no (—) Cerrado, Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no (---) Cambarazal, RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009.....67

Figura 36 – Sazonalidade da FET - Fração entre Evapotranspiração real média e Evapotranspiração Potencial média no período de 2000 a 2009, no: (a) Cerrado - Fazenda Miranda/MT (b) Cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal/MT.....68

Figura 37 – Dinâmica dos valores obtidos, a cada 8 dias, da razão entre a Evapotranspiração real e a Evapotranspiração Potencial, para os anos de 2000 e 2009, no Cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal, em Barão de Melgaço/MT.....69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis micrometeorológicas, tipo de sensor utilizado e posição do sensor em relação à superfície do solo, em medidas realizadas em ambiente de Cerrado e de Cambarazal, no período de 2007 a 2009.....	14
Tabela 2 – Descrição dos produtos MODIS utilizados	19
Tabela 3 - Critérios de interpretação do desempenho dos métodos pelo índice "c", segundo Camargo & Sentelhas (1997).....	26
Tabela 4 – Precipitação acumulada anual observada para o período de 2000 a 2009 nas estações ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé e INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT.....	28
Tabela 5 – Média anual da temperatura e da umidade relativa do ar observadas no Cerrado, período de 2000 a 2009, na estação INMET – Padre Ricardo Remeter.....	30
Tabela 6 – Média anual da temperatura e da umidade relativa do ar, observadas no Cambarazal, período de 2006 a 2009, na Torre da RPPN Sesc Pantanal.....	31
Tabela 7 – Média estacional da temperatura e da umidade relativa do ar, observadas no período de 2006 a 2009, no Cerrado (estação INMET – Padre Ricardo Remeter) e no Cambarazal (Torre da RPPN Sesc Pantanal).....	31
Tabela 8 - Relação entre a precipitação estimada por meio dos dados do Satélite TRMM e aqueles medidos nas estações de superfície da ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé/MT e INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT, no período de 2000 a 2009.....	35
Tabela 9 - Matriz de correlação de Pearson da temperatura da superfície (T_s), obtida do sensor MODIS- MOD11A2 (n = 74), temperatura média diária, obtida das temperaturas máxima e mínima (T_{xn}), temperatura máxima (T_{max}), temperatura obtida às 12 UTC (9 h da manhã - hora local) (T₁₂₀₀), na estação INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT, no período 2008-2009. O símbolo (**) indica que p-valor < 0,001 e n indica o número de dados disponíveis.....	50

Tabela 10 – Valores instantâneos dos parâmetros biofísicos estimados por meio das medidas radiométricas obtidas dos sensores orbitais à bordo do Satélite Landsat-TM5, no Cerrado e no Cambarazal, em 2009.....54

Tabela 11 – Temperatura mínima da superfície (Ts) e Equações da Temperatura máxima da superfície (Tsmáx), obtidas das imagens do satélite Landsat-TM5, em 2009, nas áreas experimentais: Cerrado (Fazenda Miranda) e Cambarazal (RPPN-Sesc Pantanal), em MT.....55

Tabela 12 –Valores instantâneos do TVDI, estimados por meio de medidas radiométricas obtidas dos sensores orbitais à bordo do Satélite Landsat-TM5, em 2009, nas áreas experimentais: Cerrado (Fazenda Miranda) e Cambarazal (RPPN-Sesc Pantanal), em MT.....58

Tabela 13 - Estatísticas de comparação entre a Evapotranspiração real diária estimada pelo sensor MODIS e pelo método da razão de Bowen.....61

Tabela 14 - Matriz de correlação de Pearson, para intervalos de 16 dias, da evapotranspiração real (**ETr**), precipitação (**P**), nível do rio Cuiabá (**Cota**), índice de vegetação estendido (**EVI**), índice de vegetação da diferença normalizada (**NDVI**), saldo de radiação (**Rn**), temperatura média (**Tmed**), temperatura máxima (**Tmax**), e temperatura mínima (**Tmin**), no Cambarazal (RPPN – Sesc Pantanal/Barão de Melgaço-MT) e no Cerrado (Fazenda Experimental da UFMT/ Santo Antonio de Leverger-MT), para período de 2000 a 2009. O símbolo (*) indica que p-valor < 0,05, (**) indica que p-valor < 0,01, (***) indica que p-valor < 0,001 e ^{ns} indica não significativo (p-valor > 0,05).....63

Tabela 15 - Exemplos de relação entre variáveis (evapotranspiração real (ETr), precipitação (P) e índices de vegetação (EVI, NDVI), estimadas por satélite; radiação líquida (Rn), temperatura média (Tmed), temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin), medidas em superfície) obtidas em outras áreas de estudo.....64

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANA	Agência Nacional de Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	Agência Espacial Americana
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
MODIS	Sensor (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)
LANDSAT	Satélite americano para observação da Terra
TRMM	Radar (Tropical Rainfall Measuring Mission)
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
EVI	Índice de vegetação realçado
IAF	Índice de Área Foliar
SAVI	Índice de vegetação ajustado para os efeitos do solo
SEBAL	Algoritmo (Surface Energy Balance Algorithm for Land)
TVDI	Índice de seca (Temperature-Vegetation Dry Index)
ET _o	Evapotranspiração de referência
ET _r	Evapotranspiração real
FET	Evaporação relativa
T_s	Temperatura da superfície
f	Fração de radiação interceptada
I	Radiação fotossinteticamente ativa diária incidente no topo do dossel
I_0	Radiação diária transmitida pelo dossel
I_r	Radiação diária refletida pelo dossel
k	Coefficiente de extinção do dossel
H	Fluxo de calor sensível
LE	Fluxo de calor latente
β	Razão de Bowen
R_n	Saldo de radiação
G	Fluxo de calor no solo
$L_{\lambda i}$	Radiância espectral de cada banda
$\rho_{\lambda i}$	Reflectância monocromática de cada banda
DJ	Dia Juliano
ρ_{IV}	Refletividade no infravermelho próximo
ρ_V	Refletividade no vermelho
T	Temperatura do ar
UR	Umidade relativa do ar
CV	Coefficiente de variação
r	Coefficiente de correlação
r^2	Coefficiente de determinação

RESUMO

SEIXAS, G.B. *Avaliação de vegetação monodominante do Pantanal e vegetação de Cerrado, utilizando parâmetros biofísicos estimados por imagens de satélites*. 2013. 102f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

O objetivo da presente pesquisa foi determinar a variabilidade de parâmetros biofísicos, da precipitação pluviométrica e da evapotranspiração em área de Cambarazal e de Cerrado, utilizando imagens dos satélites Landsat e Terra e do radar meteorológico TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). A área de estudo localiza-se na sub-região pantaneira de Barão de Melgaço, no Estado de Mato Grosso, inserida entre os paralelos 15° a 17° S e meridianos 55° a 57° W, a uma altitude média de 140 m. Três subáreas foram selecionadas para coleta de dados meteorológicos: duas em área de Cerrado, na Fazenda Miranda e na Fazenda Experimental da UFMT, ambas situadas no município de Santo Antônio de Leverger - MT; e uma em área de Cambarazal, na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) SESC-Pantanal, no município de Barão de Melgaço – MT. As medidas de superfície foram realizadas em torres micrometeorológicas e em estações meteorológicas localizadas na área de estudo, cujos dados foram extraídos da base da Agência Nacional de Águas e do Instituto Nacional de Meteorologia. Dados de precipitação cobrindo a área de estudo foram obtidos por meio do radar meteorológico TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Foram adquiridas, imagens dos produtos MOD11A2, MOD15A2, MOD16A2, MOD13Q1 originadas do sensor MODIS a bordo do satélite TERRA e imagens do sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat 5, para dias de céu claro. Aplicando-se as primeiras etapas do algoritmo SEBAL-Surface Energy Balance Algorithm for Land, foram mapeados os índices de vegetação e temperatura da superfície, para toda a área de estudo, com resolução de 30 m. A precipitação estimada pelo TRMM revelou forte correlação com os dados de superfície e foi possível verificar que a correlação aumenta com o aumento da escala temporal (produto MODIS 3B43, $r=0,85$). Os índices de vegetação obtidos pelo sensor MODIS revelaram sazonalidade, tanto no Cerrado quanto no Cambarazal. O IAF MODIS apresentou diferença significativa ($p<0,05$) entre Cerrado e Cambarazal, sendo que a média anual para o Cerrado foi de $1,4 \pm 0,5$ e para o Cambarazal foi de $5,3 \pm 0,9$. O valor médio anual encontrado para o NDVI foi de $0,58 \pm 0,09$ e para o EVI foi de $0,34 \pm 0,10$ no Cerrado. No Cambarazal, o valor médio anual encontrado para o NDVI foi de $0,82 \pm 0,04$ e para o EVI foi de $0,47 \pm 0,07$. Os dados de evapotranspiração real revelaram que o consumo hídrico médio anual do Cambarazal foi 66 % superior ao do Cerrado. A evapotranspiração real média foi de $25,2 \pm 10,7 \text{ mm } 8\text{dia}^{-1}$ no Cambarazal, enquanto que no Cerrado foi de $15,2 \pm 8,2 \text{ mm } 8\text{dia}^{-1}$, para todo o período de estudo.

Palavras-chave: evapotranspiração, precipitação, índice de vegetação, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

SEIXAS, G.B. *Evaluation of monodominant wetland vegetation and Cerrado vegetation, using biophysical parameters estimated from satellite images*. 2013. 102f. Thesis (Doctorate in Environmental Physic); Institute of Physic, Federal University of Mato Grosso.

This study aimed to determine the variability of biophysical parameters of rainfall and evapotranspiration in area Cambarazal and Cerrado, using Landsat and Terra satellite images and meteorological radar TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). The study area is located in the subregion of Barão Melgaço Pantanal, Mato Grosso State, Brasil, inserted between the parallels 15 ° and 17 ° S and meridians 55 ° to 57 ° W, at an average altitude of 140 m. Three sub-areas were selected for collection of meteorological data: two in Cerrado, in Miranda Farm and Experimental Farm UFMT, both located in the municipality of Santo Antônio de Leverger - MT, and one in area Cambarazal in Particular Reserve of Patrimônio Natural (RPPN, Serviço Social do Comércio-Pantanal), in Barão de Melgaço-MT. The surface measurements were performed on micrometeorological towers and weather stations located in the study area and data were extracted from the National Water Agency and the National Institute of Meteorology. Rainfall data covering the study area were obtained from TRMM. We acquired images of products MOD11A2, MOD15A2, MOD16A2, MOD13Q1 originated from MODIS onboard Terra satellite and sensor images TM (Thematic Mapper) Landsat 5, for a clear sky days. Applying the first steps of the algorithm SEBAL -Surface Energy Balance Algorithm for Land, were mapped vegetation indices and surface temperature for the entire study area, with a resolution of 30 m. Rainfall estimated by TRMM revealed a strong correlation with the surface data and we found that the correlation increases with increasing time scale (MODIS product 3B43, $r = 0,85$). The vegetation indices obtained by MODIS revealed seasonality in both Cerrado and in Cambarazal. The IAF, obtained by light interception for the upper stratum of Cambarazal, was strongly correlated ($r = 0,72$) with LAI estimated by MODIS. The MODIS LAI showed a significant difference ($p < 0.05$) between Cerrado and Cambarazal, and the annual average for the Cerrado was $1,4 \pm 0,5$ and for Cambarazal was $5,3 \pm 0,9$. The annual average value found for the NDVI was $0,58 \pm 0,09$ and the EVI was $0,34 \pm 0,10$ in the Cerrado. Cambarazal on the annual average value found for the NDVI was $0,82 \pm 0,04$ and EVI was $0,47 \pm 0,07$. The actual evapotranspiration data revealed that average annual water consumption Cambarazal was 66 % higher than the Cerrado. Average actual evapotranspiration was $25,2 \pm 10,7 \text{ mm } 8\text{dia}^{-1}$ in the Cambarazal, while the Cerrado was $15,2 \pm 8,2 \text{ mm } 8\text{dia}^{-1}$ for the entire study period.

Keywords: evapotranspiration, precipitation, vegetation index, remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

O Pantanal é a maior planície inundada da América do Sul e um elo entre os biomas vizinhos como a Amazônia, o Cerrado e os Chacos Boliviano e Paraguaio, apresentando prolongamentos naturais na área circunvizinha.

Esse bioma tem a maior área contínua inundável do planeta, com ciclo de alagamento anual que abrange aproximadamente 30% do seu território. O regime de inundações é o fator ecológico fundamental do Bioma Pantanal, que determina os pulsos de seus principais processos bióticos e abióticos, e as composições específicas das unidades de paisagem. Entretanto, assim como no Cerrado, no Pantanal se verifica a ocorrência de uma estação seca, que causa frequente estresse hídrico nas plantas locais, regulando sua fenologia e produção de fitomassa.

Entre as espécies vegetais encontradas no Cerrado e no Pantanal, o cambará (*Vochysia divergens* Pohl) se destaca por apresentar rápido espalhamento e dominância em áreas sazonalmente inundadas, contrapondo-se à ocorrência mais dispersa no Cerrado. Entre as características do cambará, destaca-se: alta taxa de crescimento sob intensa luminosidade, tolerância à condição de prolongado alagamento, capacidade de suas plântulas em manter suas folhas intactas embaixo da superfície da água e elevada produção de sementes espalhadas pelo vento.

As alterações na paisagem pantaneira, promovidas por condições ambientais desfavoráveis, causam impacto ecológico e econômico pela redução na diversidade da vegetação e na disponibilidade de pastagem natural

O comportamento das variáveis atmosféricas e do meio ambiente estabelecem condições ambientais cujo monitoramento e estudo são imprescindíveis na avaliação dos efeitos sobre o clima, a hidrologia e os ciclos biogeoquímicos.

O estudo da distribuição espacial e temporal de parâmetros biofísicos, da precipitação pluviométrica e da evapotranspiração, em área monodominante de cambará (Cambarazal), em comparação com o Cerrado, pode contribuir para identificar as causas das diferenças de comportamento dessa planta nos dois ambientes, que, eventualmente poderão auxiliar no planejamento de atividades que permitam estimular ou limitar a sua propagação.

O uso de imagens de satélite e seus produtos e as técnicas de mapeamento de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração, tem se mostrado uma importante ferramenta para o conhecimento da dinâmica do consumo hídrico e da vegetação, em escala regional.

Este trabalho teve como objetivo determinar a variabilidade de parâmetros biofísicos, da precipitação pluviométrica e da evapotranspiração em área de Cambarazal e de Cerrado, utilizando imagens dos satélites Landsat e Terra e do radar meteorológico TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Para atingir este objetivo foram definidos os seguintes objetivos específicos: (a) Avaliar a precipitação pluviométrica na região de estudo por meio da comparação da precipitação obtida pelo radar do TRMM com a obtida na estação meteorológica de superfície; (b) Avaliar a aplicabilidade dos índices de vegetação e temperatura da superfície estimados a partir de imagens Landsat e produtos MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para o Cambarazal e Cerrado, por meio de comparação com dados medidos em superfície; (c) Avaliar a aplicabilidade da evapotranspiração estimada pelo produto MOD16 do MODIS para o Cambarazal e Cerrado, por meio de comparação com a evapotranspiração obtida pelo método da Razão de Bowen, a partir de dados medidos em torre micrometeorológica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E A ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS

As análises realizadas em coberturas do solo (agrícolas, florestais e pastagens) e a detecção de suas mudanças temporais objetivam monitorar a cobertura vegetal e avaliar as condições de produção. A detecção qualitativa é estudada desde a década de 60, e mais recentemente, a estimativa quantitativa da vegetação verde têm sido uma das principais aplicações do sensoriamento remoto na tomada de decisões econômicas e de gerenciamento ambiental. Ponzoni (2001) destaca que o desenvolvimento de relações funcionais entre as características da vegetação e dados coletados remotamente tem sido meta de muitos profissionais com atuação nos setores agrícola e florestal. Inúmeras informações podem ser extraídas a partir da análise de uma banda espectral. Porém, a disponibilidade atual de várias bandas permite uma análise mais eficiente das características espectrais dos alvos, ou seja, quanto maior o número de bandas espectrais disponíveis, maiores serão as possibilidades de extração de informações do objeto de estudo (EPIPHANIO & FORMAGGIO, 1990). Essas informações podem ser obtidas por meio de diferentes métodos de análise de dados, sendo que a utilização de índices espectrais de vegetação é um deles (ASRAR, 1989; JENSEN, 2009).

Diversos estudos utilizando índices espectrais de vegetação, ou simplesmente, índices de vegetação, estão sendo realizados objetivando obter a correlação da resposta espectral com as características da vegetação. Esses índices são algoritmos que transformam valores de refletância de imagens, gerando uma nova imagem com valores do índice em cada pixel, e calculados por meio da razão, diferença, razão das diferenças e somas ou outra combinação linear de respostas espectrais. Ponzoni (2001) destaca que os dados obtidos por meio dos índices de vegetação servem como indicadores do crescimento e do vigor de vegetação verde e podem ser utilizados no diagnóstico de parâmetros biofísicos (SILVA et al., 2011; ANDRADE et al., 2012).

Para um índice de vegetação ser considerado ideal, ele deve responder a variações sutis no estado fenológico da vegetação, e não pode ser fortemente influenciado por variações nas condições e tipos de solo, na geometria de iluminação e visada e nas condições atmosféricas (JACKSON & HUETE, 1991).

Ponzoni (2001) define alguns critérios para a mensuração dos índices de vegetação que devem ser considerados nas atividades de processamento digital de imagens: a) maximizar sua sensibilidade a parâmetros biofísicos, preferencialmente, de uma forma linear; b) normalizar efeitos externos, tais como ângulos solar e de visada, nuvens e atmosfera; c) minimizar a contaminação da influência do solo; e d) conduzir à geração de produtos que permitam a comparação das condições de vegetação em escalas globais.

Para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, a refletância espectral tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação, sendo os mais estudados, aqueles que utilizam informações contidas nas refletâncias de dosséis referente às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, combinado-as sob a forma de razão (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

A assinatura espectral característica da vegetação verde e sadia evidencia o contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho, e a do infravermelho próximo. Quanto maior for esse contraste, maior será o vigor da vegetação na área imageada. Este é o princípio no qual se baseiam os índices de vegetação que combinam a informação espectral nestas duas bandas do espectro eletromagnético (SHIMABUKURO et al., 1997).

Dessa forma, o contraste da resposta da vegetação nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo fazem com que a vegetação seja realçada em relação aos demais alvos da superfície terrestre, facilitando sua identificação e monitoramento por meio de dados oriundos do sensoriamento remoto (ASRAR et al. 1984; BARET & GUYOT, 1991, JENSEN, 2009).

Instrumentos de sensoriamento remoto podem observar vários locais ao mesmo tempo sendo, portanto, um método eficiente para observar a variabilidade espacial dos processos que ocorrem na superfície da terra. Grandes regiões (10^4 para 10^6 km²) podem ser escaneadas por sensores com uma cobertura de 100%, incluindo

locais que não podem ser cobertos pelas técnicas de medição convencionais (BASTIAANSSEN et al., 1998).

Nas últimas décadas ocorreram avanços consideráveis no âmbito de satélites ambientais, aumentando a quantidade de informações disponíveis sobre a superfície terrestre. Assim, tornou-se possível o monitoramento da evolução espacial e temporal das mudanças na cobertura vegetal.

A distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma região é fortemente influenciada por um conjunto de fatores ambientais incluindo condições climáticas, topografia, solos e suas propriedades associadas. Sendo a vegetação um indicador das condições ambientais (CO_2 , ozônio, temperatura, ciclo hidrológico etc.), as mudanças na sua dinâmica, avaliadas por meio de índices de vegetação, são indicadores úteis das variações destas condições.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é descrito na literatura como um dos mais utilizados para indicar a existência de vegetação sobre a superfície e seu status quanto ao vigor. Este índice está associado a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar (Ponzoni & Shimabukuro, 2007), e que pode ser obtido a partir da energia solar refletida da superfície terrestre que é detectada pelo sensor orbital em intervalos de comprimento de onda situados na região do visível e do infravermelho próximo. Assim, o NDVI é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde da área e seus valores variam de -1 a +1.

A temperatura radiante na superfície pode ser estimada a partir dos valores obtidos pelos sensores a bordo do Landsat-TM e ETM+, e é um importante componente para entendimento dos mecanismos de troca de energia entre a superfície do solo e a atmosfera (ANDRADE et al., 2012). Há vários estudos (NEMANI et al., 1993; SANDHOLT et al., 2002; CARLSON, 2007) que sugerem que combinado-se a temperatura de superfície (T_s) e o NDVI obtém-se informação consistente sobre o estresse da vegetação e as condições de umidade na superfície. Considerando níveis de NDVI baixo espera-se que a relação T_s -NDVI seja alterada pelo aumento da T_s . Isto conduz a um espaço triangular utilizado para extrair a umidade da superfície do solo (SMITH & CHOUDHURY, 1991; NEMANI et al., 1993; CARLSON et al., 1995; GILLIES & CARLSON, 1995; GOETZ, 1997;

SANDHOLT et al., 2002). O TVDI - temperature vegetation dry index (SANDHOLT et al., 2002; PETROPOULOS et al., 2009), é um índice baseado na interpretação empírica do espaço triangular NDVI-Ts (Figura 1), que permite investigar a umidade na superfície (TANG, et al., 2010). O NDVI é fortemente correlacionado com o verde da vegetação (SELLERS et al., 1992), mas ele é referido como um índice do “verdor” mais do que um índice de umidade (JACKSON et al., 2004). A T_s é mais sensível ao estresse hídrico (GOETZ, 1997) devido à relação entre temperatura da folha e a transpiração. Quando a taxa de transpiração é reduzida, devido ao déficit de água da planta, a temperatura da folha aumenta em relação à temperatura do ar (WANG et al., 2004)

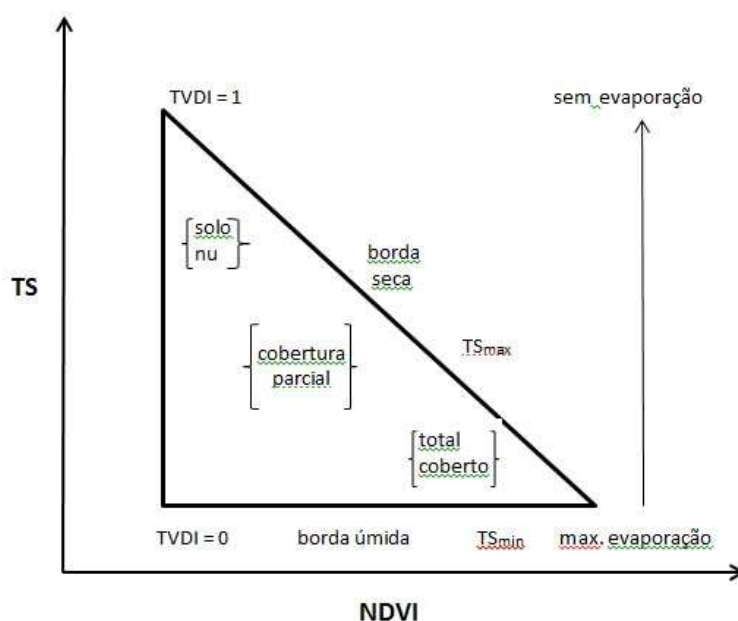


Figura 1 - Triângulo TS-NDVI usado para monitoramento da umidade na superfície.
Fonte: Sandholt et al., 2002

2.2 - SATÉLITE TERRA

O satélite Terra, lançado em 18 de dezembro de 1999 como parte do programa Earth Observing System (EOS), financiado pelo programa ESE (Earth

Science Enterprises) da NASA, leva a bordo cinco sensores: MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer), ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System Network), MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer) e MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere).

O sensor MODIS, projetado para adquirir dados relativos à interação terra, oceano e atmosfera, possui 36 bandas com cobertura espectral de 0,4 – 14,4 μm e espacial de 250 m (bandas 1 e 2), 500 m (bandas 3 a 7) e 1000 m (bandas 8 a 36), oferecendo cobertura global com tempo de revisita de 1 a dois dias. Uma imagem representa no solo uma área de largura igual a 2330 Km. Suas características orbitais são: órbita polar heliossíncrona com altitude de 705 km, velocidade de 6,7 km/s, cruzamento equatorial por volta das 10,5 horas. Esse sensor mede a percentagem da superfície do planeta que está coberta por nuvens quase todos os dias. Esta ampla cobertura espacial permite ao MODIS, em conjunto com MISR e CERES, determinar o impacto das nuvens e dos aerossóis sobre o balanço energético da Terra. Quase todos os dias por todo o globo terrestre, o sensor monitora mudanças na superfície terrestre, construindo assim uma base de dados iniciada pelo Landsat (fonte: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

As 36 bandas espectrais do sensor MODIS estão localizadas em função de um comprimento de onda, cuidadosamente escolhido para a observação de feições das propriedades das nuvens, dinâmica e das propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e da temperatura da superfície continental e dos oceanos no mundo todo (XIONG et al., 2009; TONMLINSON et al., 2011). Pode-se observar que as primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm e 2155 nm, de forma que as bandas 1 a 7 estão direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8 a 16 para as observações oceânicas e as bandas 17 a 19 para as medições atmosféricas. As bandas 20 a 36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (Anexo 1).

Uma importante característica desse sensor é o fato de seus dados serem disponibilizados georreferenciados e corrigidos para efeitos atmosféricos. Atualmente existem 44 produtos de dados que estão compreendidos em calibração, atmosfera, terra, criosfera e oceano. As imagens MODIS e seus produtos têm sido

utilizados em trabalhos para o estudo da fenologia da cobertura vegetal (FERREIRA JÚNIOR & HUETE, 2004; FREITAS & SHIMABUKURO, 2008), monitoramento da dinâmica espaço-temporal de biomas (ADAMI et al., 2008) e para a detecção das mudanças ocorridas no uso e na cobertura do solo (GALFORD et al., 2008; EPIPHANIO et al., 2010).

Os produtos MODIS estão disponíveis gratuitamente via internet, cd-rom ou dvd, por meio dos centros de pesquisa da NASA. O produto MOD13 contém os índices de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index) produzidos em escala global nas resoluções 1 km, 500 m e 250 m em composições de imagens ou mosaicos de 16 dias. Os índices produzidos pelo MOD13 permitem realizar estudos, tanto ao longo do tempo quanto no espaço, sobre as condições da cobertura vegetal, descrevendo e reconstituindo dados de variações fenológicas e discriminando variações interanuais na vegetação nas escalas global e regional (JUSTICE et al., 2002; RUDORFF et al., 2007).

As imagens índices de vegetação são derivadas a partir das respostas espectrais oriundas da superfície terrestre, e a reflectância da cobertura vegetal depende das propriedades estruturais e ópticas da vegetação e do solo. A reflectância na faixa do vermelho (0,55 – 0,70 μm) reduz com o aumento do índice de área foliar, enquanto que na faixa do infravermelho próximo (0,70-1,30 μm) é verificado que a reflectância é diretamente proporcional ao aumento do índice de área foliar (MATSUMOTO & BITTENCOURT, 2001).

O NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos da vegetação responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho, enquanto que o EVI é mais sensível à variação na estrutura do dossel, incluindo o IAF, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (HUETE et al., 2002).

2.3 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração de referência (ET_o) é um processo de perda de água para a atmosfera através de uma superfície natural, padrão, sem restrições hídricas às

necessidades da evaporação e da transpiração. A ETo em condições normais depende principalmente do suprimento de energia, aliado aos fatores climáticos (SMITH, 1991).

A evapotranspiração real é aquela que ocorre sob as condições atuais do ambiente e da planta. As condições hídricas do solo e da planta e a demanda atmosférica são as vigentes. Em áreas do conhecimento, como a meteorologia e a hidrologia, a quantificação das perdas de água de uma superfície para a atmosfera é de suma importância. Neste contexto, para um manejo adequado dos recursos hídricos, no âmbito de bacias hidrográficas e em regiões onde a disponibilidade hídrica é irregular ao longo do ano, as informações quantitativas das ofertas e demandas hídricas, como a evapotranspiração real, são indispensáveis (GIACOMONI, 2005).

Doorenbos & Pruitt (1977), determinaram que a "grama" seria a cultura de referência e definiram a evapotranspiração de referência como sendo aquela que ocorre em uma superfície extensa de gramíneas, com oito a quinze centímetros de altura, uniforme, de crescimento ativo, sombreando totalmente o solo, sem restrição de água para as plantas.

Campelo Júnior (1985), descreveu a evapotranspiração potencial ou de referência como uma medida da demanda hídrica atmosférica, representando o efeito das condições climáticas sobre as necessidades hídricas das culturas, uma vez que o efeito do estágio da planta é obtido considerando-se principalmente a área foliar.

Smith & Choudhury (1991), apresentaram condições bem específicas para a ETo. Consideraram que a ETo é a taxa de evapotranspiração que ocorre na cultura hipotética de referência com altura de 12 cm, resistência do dossel vegetativo de 69 s m^{-1} , albedo de 23%, em fase de pleno desenvolvimento vegetativo e sem restrições de água.

O efeito combinado de temperatura, radiação solar, umidade relativa, e velocidade do vento define a demanda atmosférica por vapor de água. Além dos fatores meteorológicos, fatores relativos à planta e à disponibilidade de água no solo também afetam a evapotranspiração. A espécie da vegetação está relacionada a fatores que exercem influência direta na evapotranspiração, como a distribuição espacial da folhagem, a resistência interna da planta ao transporte de água, ao albedo

da superfície evapotranspirante, etc. A profundidade do sistema radicular indica o potencial de absorção de água pelas raízes. Visto que a água em profundidades maiores pode estar disponível em épocas de estiagem, plantas com sistema radicular superficial estariam suscetíveis por não alcançar este volume líquido.

A disponibilidade de água no solo é condicionada principalmente pela magnitude do déficit hídrico da planta e pelo tipo de solo. Solos argilosos podem armazenar maior quantidade de água do que os arenosos, mantendo a evapotranspiração por mais tempo. A presença de horizontes de solos rígidos ou impermeáveis podem limitar o desenvolvimento de culturas e reduzir a evapotranspiração (ALLEN et al., 1998; PEREIRA et al., 2002).

O estágio de desenvolvimento da planta relaciona-se ao índice de área, que é a razão entre a área total da superfície transpirante (folhas) por área de solo. Para o solo nú, quase 100% da evapotranspiração vem da evaporação do solo, enquanto que para a condição de completa cobertura pela vegetação mais de 90% vem da transpiração (ALLEN et al., 1998; PEREIRA et al., 2002; PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no Pantanal norte, sub-região de Barão de Melgaço, no Estado de Mato Grosso, inserida entre os paralelos 15° a 17° S e meridianos 55° a 57° W, a uma altitude média de 140 m. Três subáreas foram selecionadas para coleta de dados meteorológicos: duas em área de Cerrado, na Fazenda Miranda e na Fazenda Experimental da UFMT, ambas situadas no município de Santo Antônio de Leverger - MT; e uma em área de cambarazal, na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) SESC-Pantanal, no município de Barão de Melgaço – MT. (Figura 2).

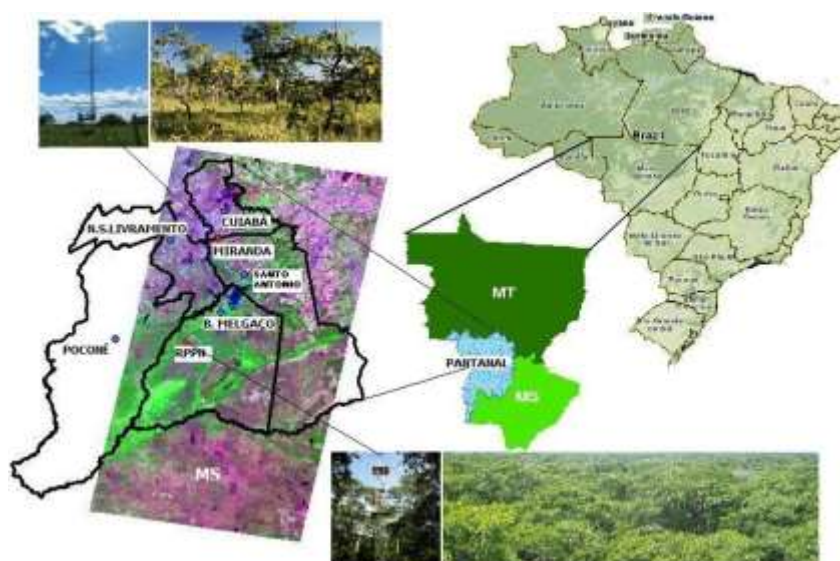


Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo

A caracterização da fitofisionomia da vegetação no município de Santo Antonio de Leverger – MT é de Cerrado *stricto sensu*, contendo áreas onde a vegetação original foi substituída por pastagem. O solo dessa região foi classificado como PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário lítico (Fazenda Miranda) e PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico (Fazenda experimental da UFMT) (EMBRAPA, 2006). Na RPPN Sesc Pantanal as principais fisionomias vegetais encontradas são: Cerrado *stricto sensu*, cerradão, cambarazal, campo com murunduns, floresta estacional com acuri, e campo (HASENACK et al., 2003). Na Figura 3, é possível verificar que a RPPN apresenta vegetação monodominante de cambará (*Vochysia divergens* Pohl), conhecida localmente como cambarazal, com altura do dossel variando entre 28 e 30 m e em uma forma de faixa contínua de

aproximadamente 25 km de extensão e 4 km de largura, paralela ao rio Cuiabá (ARIEIRA & NUNES DA CUNHA, 2006; VOURLITIS et al., 2011).

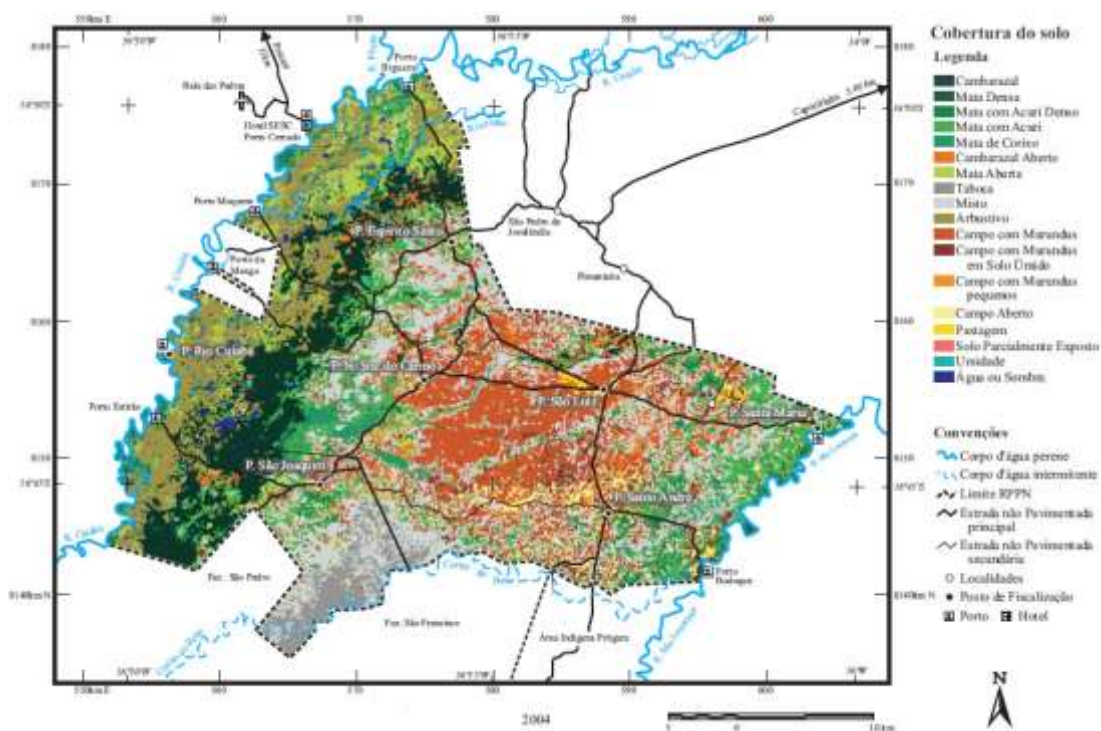


Figura 3 - Mapa temático de cobertura do solo, produzido por meio de classificação de imagem Landsat 7 ETM+.

Fonte: CORDEIRO (2004)

O solo da RPPN foi classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico (EMBRAPA, 2006).

O clima da área de estudo é tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, apresentando sazonalidade característica, com uma estação chuvosa (outubro-abril) e outra seca (maio-setembro). A precipitação média anual é de 1342 mm e a temperatura média mensal varia entre 21°C e 32°C (Figura 4), conforme mais recente normal climatológica divulgada pelo INMET para estação mais próxima da região de estudo.

As temperaturas médias na região do Pantanal oscilam no verão entre 26°C nas porções mais elevadas e 29°C nas porções mais baixas, ao centro e no extremo sul da região. No inverno, as temperaturas variam entre 20°C na borda leste e sul e 23°C no centro e no norte. O sul do Pantanal apresenta amplitude térmica superior ao norte, 8°C e 5°C, respectivamente (HASENACK et al., 2003).

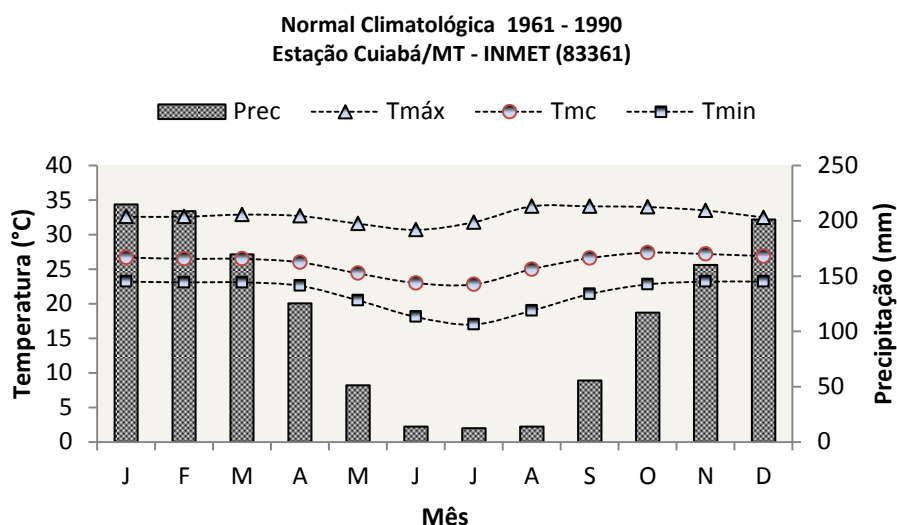


Figura 4 – Normais Climatológicas da Precipitação (Prec), Temperatura média compensada (Tmc), Temperatura máxima (Tmáx) e Temperatura mínima (Tmin) – Estação Cuiabá/MT.

Fonte: INMET

3.2 DADOS METEOROLÓGICOS

3.2.1 Torre micrometeorológica

Foram utilizados os dados micrometeorológicos coletados em uma torre instalada no Cerrado, na Fazenda Miranda ($15^{\circ}43'52,84''$ S ; $56^{\circ}04'17,90''$ W), durante o ano de 2009, e em uma torre instalada no cambarazal, na RPPN-Sesc Pantanal ($16^{\circ}33'19''$ S ; $56^{\circ}17'11''$ W), durante o período de 2007 a 2009. A instalação e manutenção destes equipamentos e a coleta de dados eram objeto de outros estudos, independentes do presente trabalho, realizado pelo Grupo de Pesquisa em Física e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Mato Grosso. Na Tabela 1 estão relacionados os equipamentos utilizados no presente trabalho.

Tabela 1 – Variáveis micrometeorológicas, tipo de sensor utilizado e posição do sensor em relação à superfície do solo, em medidas realizadas em ambiente de Cerrado e de Cambarazal, no período de 2007 a 2009.

VARIÁVEL (UNID)	cerrado	posição (m)	cambarazal	posição (m)
Temperatura do ar (°C)	Termohigrômetro Vaisala –	5/8/10	Termohigrômetro	33,7/35,7/37,7

HMP45C			Vaisala – HMP45C	
Umidade Relativa (%)	Termohigrômetro Vaisala – HMP45C	5/8/10	Termohigrômetro Vaisala – HMP45C	33,7/35,7/37,7
Precipitação (mm)	Pluviômetro Campbell TB4-L25	5	Pluviômetro Texas TR-525M	34
Veloc. do vento (m.s^{-1})	Anemômetro Met-One / A014	5/10/18	Anemômetro Rm Young 03101L	33,7/35,7/37,7
Irrad.solar global Incid./Refletida (W.m^{-2})	Piranômetro LI-200XL	4	Piranômetro LI-200	33
RFA Incidente e Refletida (W.m^{-2})	Licor Quantum LI-190	4	Licor Quantum LI-190SB-L	33
Saldo de Radiação (W.m^{-2})	Saldo radiômetro Kipp & Zonen	4	Saldo radiômetro Kipp & Zonen	32
Fluxo de calor solo (W.m^{-2})	REBS HFT3.1	- 0,01	Rukseflux HFP01	- 0,02
Temperatura solo ($^{\circ}\text{C}$)	Termopar tipo T	-0,01/-0,03 -0,05/-0,10 -0,20	Termopar tipo T	-0,01/-0,03 -0,07/-0,15 -0,30

Nas duas torres, os dados produzidos por sinais e pulsos elétricos dos sensores foram processados por dois dataloggers (CR 10X, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah), que armazenaram os dados médios a cada 15 minutos.

3.2.2 Estação meteorológica convencional

Os totais diários de precipitação, do período de 2000 a 2009, medidos na estação hidrológica de Porto Cercado, pertencente à rede da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada no município de Poconé/MT, a 10,7 km de distância da torre micrometeorológica instalada no cambarazal), foram obtidos em <http://www.ana.gov.br/PortalSuporte/fmSelecaoEstacao.aspx>). Os valores diários de precipitação, umidade relativa e temperatura do ar, do período de 2000 a 2009,

medidos na estação meteorológica convencional pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na Fazenda experimental da UFMT, localizada no município de Santo Antonio de Leverger/MT, distante 13,5 Km da torre micrometeorológica instalada no Cerrado), foram obtidos em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.

3.2.3 Radar meteorológico

Os dados estimados de precipitação de uma área de aproximadamente 25 km x 25 km, correspondente a um pixel TRMM, ou a $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de resolução espacial, aproximadamente, contendo a localização dos pluviômetros das estações convencionais já mencionadas, foram obtidos por meio do radar meteorológico TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), disponibilizados pela GES DISC DAAC (Distributed Active Archive System) no site (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas/>) TRMM Online Visualization and Analysis System. Foram utilizados os dados do produto 3B43 e 3B42 V7, de 2000 a 2009. O produto 3B42 utiliza estimativas de precipitação por micro-ondas do imageador de micro-ondas (TMI) corrigidas por informações da estrutura vertical das nuvens obtidas do radar de precipitação (PR) e o 3B43 estima a precipitação mensal combinando dados de satélite e medidas *in situ* sobre áreas continentais.

3.3 – ESTIMATIVAS DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO COM DADOS DE SUPERFÍCIE.

3.3.1 Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) por Interceptação de Luz.

O IAF do cambarazal foi estimado por método indireto a partir da transmitância de luz no dossel. Esse método foi proposto por Monsi e Saeki (1953) e foi baseado na atenuação da radiação que atravessa um corpo, de acordo com a Lei de Lambert-Beer. A fração de radiação interceptada foi calculada a partir dos valores

diários acumulados da radiação fotossinteticamente ativa, acima e abaixo do dossel, de acordo com a Equação 1.

$$f = \frac{I_o}{(I - I_r)} \quad (1)$$

em que f é fração de radiação interceptada, segundo Monsi e Saeki (1953), I a radiação fotossinteticamente ativa diária incidente no topo do dossel ($\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), I_r a radiação fotossinteticamente ativa diária refletida pelo dossel ($\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e I_o a radiação fotossinteticamente ativa diária transmitida pelo dossel ($\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). O índice de área foliar foi estimado pela fração interceptada (Equação 2).

$$IAF = \frac{\ln(1-f)}{-K} \quad (2)$$

em que IAF é o índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), f é a fração de radiação interceptada e K é o coeficiente de extinção do dossel (Equação 3), estimado a partir do ângulo de elevação do sol, de acordo com o método proposto por Goudriaan (1988) (BEER, 1990).

$$k = \frac{O}{\cos \theta} \quad (3)$$

em que θ é o ângulo zenital e O a média da projeção das folhas na incidência dos raios solares, estimada pela Equação 4, em função dos coeficientes O_1 , O_2 e O_3 (Equação 5 – 7) (BIUDES, 2008; PINTO-JÚNIOR et al., 2011).

$$O = 0,134O_1 + 0,366O_2 + 0,5O_3 \quad (4)$$

$$O_1 = \max(0,26; 0,93 \cos \theta) \quad (5)$$

$$O_2 = \max(0,47; 0,68 \cos \theta) \quad (6)$$

$$O_3 = 1 - 0,268 O_1 - 0,732 O_2 \quad (7)$$

3.3.2 – Evapotranspiração real estimada pelo método da Razão de Bowen.

O método da razão de Bowen foi utilizado para estimar os componentes do balanço de energia (BIUDES et al., 2009; SANCHES et al., 2011). A razão de Bowen, β , é a razão entre as densidades do fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (LE). Bowen (1926), formulou β em função dos gradientes vertical de temperatura e umidade (Equação 8):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{\rho k_s c_p \frac{\Delta T}{\Delta z}}{\rho k_w \frac{c_p \Delta e}{\gamma \Delta z}} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (8)$$

na qual: ρ é a densidade do ar ($1,15 \text{ Kg m}^{-3}$), c_p representa o calor específico do ar à pressão constante, K_h e K_w são, respectivamente, os coeficientes de transporte turbulento de calor sensível e latente, considerados iguais de acordo com a teoria da similaridade, γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), $\frac{\Delta T}{\Delta z}$ é o gradiente vertical de temperatura ($^\circ\text{C m}^{-1}$) e $\frac{\Delta e}{\Delta z}$ é o gradiente vertical de pressão de vapor (kPa m^{-1}) (BOWEN, 1926; VERMA et al., 1978).

Determinada a razão de Bowen, os fluxos de calor latente e sensível foram determinados, respectivamente, conforme Equações (9) e (10):

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (9)$$

$$H = \beta LE \quad (10)$$

em que R_n corresponde ao saldo de radiação e G ao fluxo de calor no solo. As estimativas de LE e H foram submetidas às condições propostas por Perez et al., (1999), o que permitiu minimizar erros e utilizar apenas os dados coerentes fisicamente com a relação fluxo-gradiente (PEREZ et al., 2008; SAVAGE et al., 2009).

3.4 - PRODUTOS MODIS

As imagens dos produtos MOD11A2, MOD15A2, MOD16A2, MOD13Q1 originadas do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA, para o período de 2000 a 2009, para as coordenadas de Latitude e Longitude dos locais de interesse, foram adquiridas no endereço eletrônico:

< http://daac.ornl.gov/cgi-bin/MODIS/GLBVIZ_1_Glb/modis_subset_order_global_col5.pl >. A área de estudo está inserida no tile V10, H12, em destaque na Figura 5.

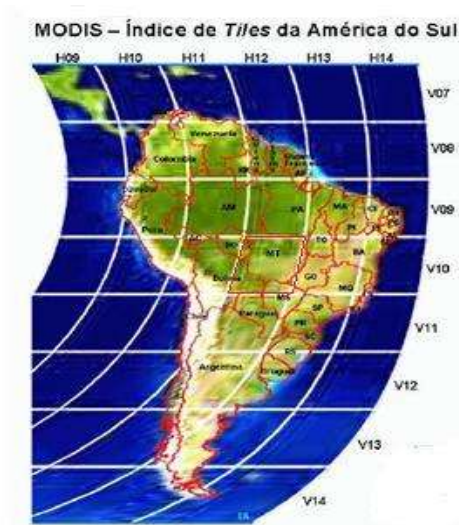


Figura 5 - Visualização do Tile selecionado (V10, H12) cobrindo o Estado de Mato Grosso.

Fonte: **INPE**

Para cada produto foram informadas as dimensões para o recorte das imagens, comprimento e largura em pixels, tendo como referência o pixel central. As datas iniciais e finais das séries de interesse foram informadas e escolhida a geração dos dados no formato GeoTiff e a reprojeção para coordenadas geográficas (projeção UTM e Datum WGS84). Assim, os dados recebidos foram submetidos, previamente, à correção radiométrica, geométrica e atmosférica.

Na Tabela 2, é possível verificar a descrição dos produtos MODIS, utilizados no presente estudo, com os multiplicadores que foram empregados para converter os valores originais em dados que pudessem ser utilizados com suas respectivas unidades (DIDAN & HUETE, 2006).

Tabela 2 - Descrição dos produtos MODIS utilizados

Produto	Descrição	Fator Multiplicativo	Resolução (espacial e temporal)	Unidades
MOD11A2	Temperatura da superfície	0.02	1000 m 8 dias	K
MOD15A2	Índice de área foliar	0.1	1000 m 8 dias	Adimensional

MOD16A2	Evapotranspiração real Evapotranspiração Potencial	0.1	1000 m 8 dias	$\text{kg m}^{-2} \text{ 8dias}^{-1}$
MOD13Q1	Índices de Vegetação (NDVI e EVI)	0.0001	250 m 16 dias	Adimensional

Fonte: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

Os dados de entrada para o algoritmo de cálculo da Evapotranspiração (Figura 6) - produto MODIS - MOD16, 1 km², foram:

- 1) Tipo de cobertura vegetal do solo (MOD12Q1) (FRIEDL et al, 2002);
- 2) Fração da Radiação Fotossinteticamente ativa (FPAR) e Índice de Área Foliar (LAI) (MOD15A2) (MYNENI et al, 2002.);
- 3) Albedo – (MCD43B2 e MCD43B3) (LUCHT et al, 2000);
- 4) Dados meteorológicos diários de superfície, com algoritmo de reanálise, gerados pela NASA – MERRA GMAO para o período de 2000 a 2010;
- 5) Para cada dado de Evapotranspiração foi gerado um dado de controle de qualidade, possibilitando filtrar aqueles dados que indicavam contaminação pela presença de nuvens, aerossóis e outros.

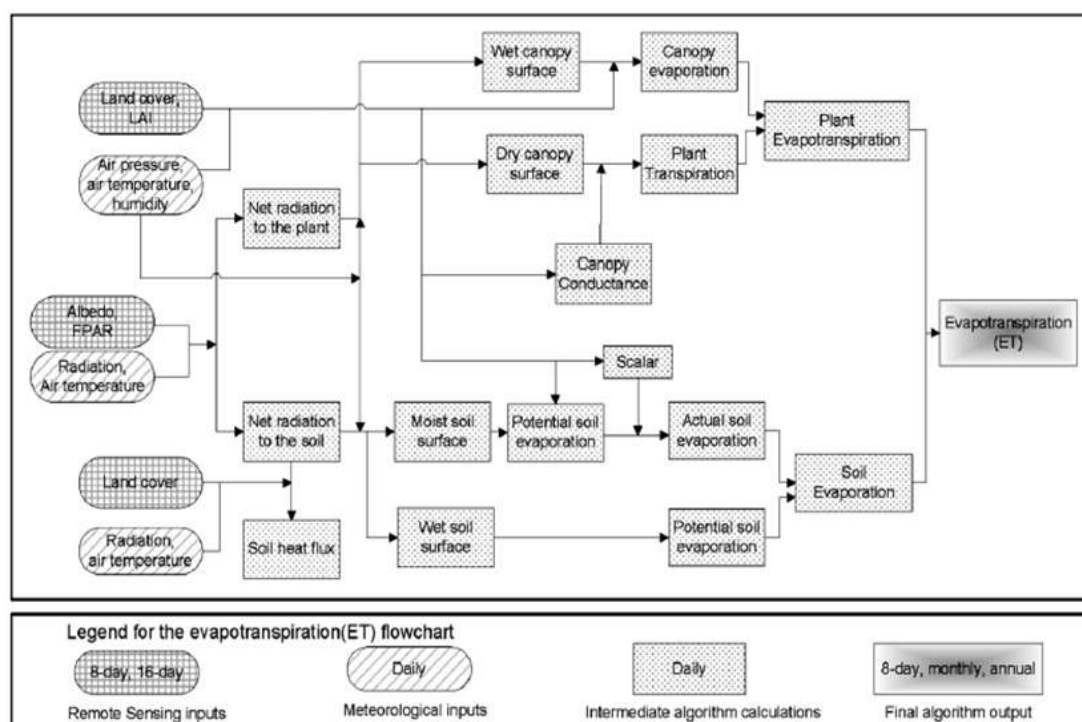


Figura 6 - Fluxograma do algoritmo da evapotranspiração (ET) - MODIS. LAI: índice de área foliar; FPAR: Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa – Produto MODIS MOD16A2.

Fonte: (MU et al., 2011)

3.5 IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens do sensor Thematic Mapper (TM), do Landsat 5, do ano de 2009, foram obtidas em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> >, para a órbita 226 / pontos 071 e 072 (Figura 7), para dias de céu claro, que se limitaram a 10/01, 16/04, 03/06, 06/08, 07/09 e 09/10 daquele ano.

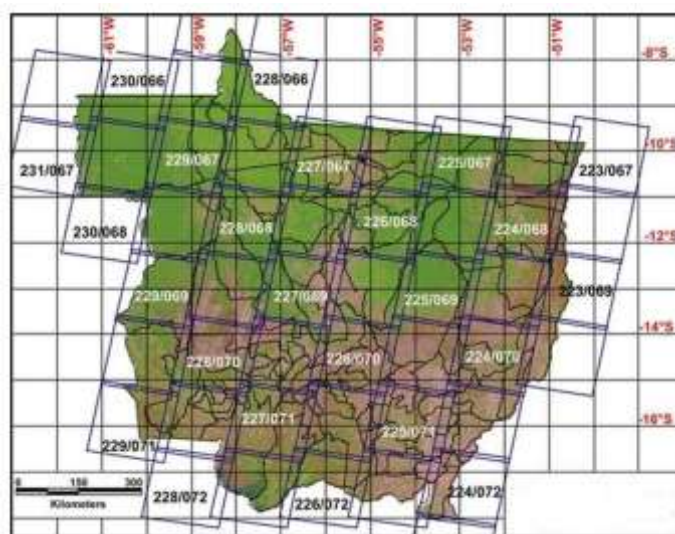


Figura 7 – Mapa da passagem do Satélite Landsat5-TM (órbita/ponto) sobre o Estado de Mato Grosso – Brasil.

Fonte: INPE

As imagens foram processadas utilizando-se o Software ERDAS IMAGINE – versão 9.2 e o ARCGIS versão 9.3. Foram realizados os processos de registro, correção geométrica, empilhamento das bandas e georreferenciamento das imagens para cada uma das datas disponíveis. Em seguida, foram realizados recortes para se obter imagens das subáreas alvo.

3.6 PROCESSAMENTO DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS

Nas imagens Landsat, os parâmetros biofísicos foram determinados por meio do algoritmo SEBAL-Surface Energy Balance Algorithm for Land (BASTIAANSSEN et al., 1998; BASTIAANSSEN, 2000; SILVA et al., 2005). Aplicando-se as primeiras etapas (Figura 8) desse algoritmo foram mapeados os índices de vegetação e temperatura da superfície, para toda a área de estudo, com resolução de 30 m. Os modelos matemáticos, aplicados pixel a pixel nas imagens, foram processados utilizando-se como ferramenta de programação o Model Maker do Software ERDAS (Figura 9).

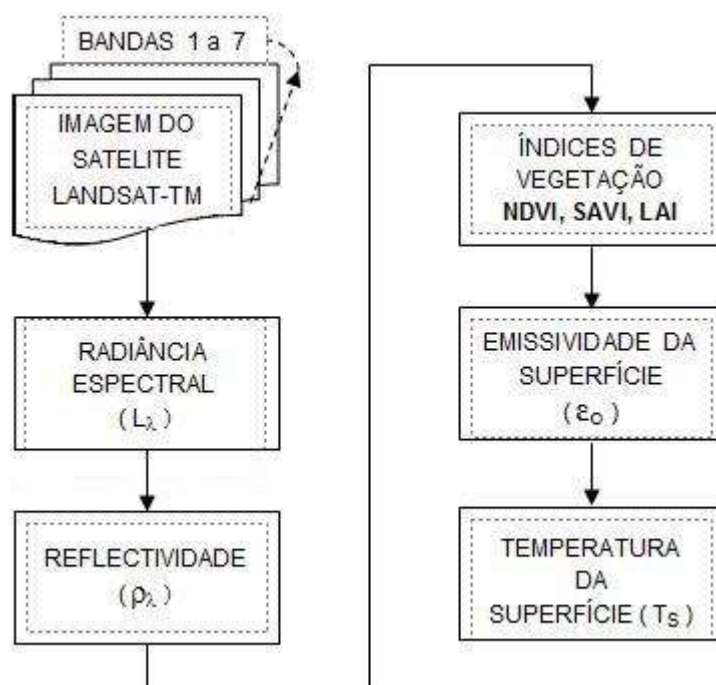


Figura 8 – Visão parcial da interface gráfica para processamento de imagens e construção de modelos utilizando o Software ERDAS IMAGE 9.2

Para calcular a radiância espectral de cada banda ($L_{\lambda i}$) o número digital (ND) de cada pixel da imagem foi utilizada a Equação 11, proposta por Markham & Baker (1987).

$$L_{\lambda i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) ND \quad (11)$$

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi obtido por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (r_{IV}) e do vermelho (r_V) e a soma entre elas (Equação 14) (TUCKER, 1979 apud TASUMI, 2003):

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (14)$$

em que r_{IV} e r_V correspondem, respectivamente, às refletividades das bandas 4 e 3 do TM – Landsat 5.

Índice de Vegetação Ajustado aos Efeitos do Solo (SAVI)

O SAVI foi determinado utilizando-se a Equação 15 (HUETE, 1988):

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (15)$$

em que L foi considerado um valor constante de 0,5 (ACCIOLY et al., 2002; BOEGH et al., 2002; SILVA et al., 2005).

Índice de Área Foliar (IAF)

O Índice de Área Foliar (IAF) para cada pixel foi computado pela seguinte equação empírica (Equação 16) (ALLEN et al., 2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (16)$$

Considerando que cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, foi calculada a emissividade de cada pixel (e_{NB}) no domínio espectral da banda termal do TM – Landsat 5 (10,4 a 12,5 μm), e, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, a emissividade de banda larga (e_0), obtidas com base na Equação 17 e Equação 18, para $NDVI > 0$ e $IAF < 3$:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 IAF \quad (17)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 IAF \quad (18)$$

Para pixels com $IAF \geq 3$, $e_{NB} = e_0 = 0,98$ e corpos de água ($NDVI < 0$), $e_{NB} = 0,99$ e $e_0 = 0,985$ (ALLEN et al., 2002).

Temperatura da Superfície (Ts)

A temperatura da superfície (T_s), em graus Kelvin, foi determinada em função da radiância espectral da banda 6 (termal) e e_{NB} por meio da Equação 19:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (19)$$

em que K_1 e K_2 foram consideradas constantes iguais a $607,76 \text{ Wm}^2\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $1260,56 \text{ K}$, respectivamente (MORSE et al., 2000; ALLEN et al., 2002; SILVA et al., 2005; TONMLINSON et al., 2011).

3.7 STATUS DA UMIDADE DA SUPERFÍCIE DO SOLO POR MEIO DO ÍNDICE DE SECA - TVDI

Para avaliar a umidade na superfície, utilizou-se o TVDI estimado pela Equação 20 (SANDHOLT et al., 2002).

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s \min}}{T_{s \max} - T_{s \min}} \quad (20)$$

onde T_s foi a temperatura da superfície em um dado pixel; NDVI foi o índice de vegetação da diferença normalizada; e “a” e “b” foram o intercepto e a inclinação da aresta que representa a extremidade seca (reta superior no triângulo da Figura 9), calculada a partir da regressão do espaço NDVI- T_s com pequenos intervalos de NDVI ($T_{s \max} = a + b\text{NDVI}$), onde $T_{s \max}$ foi a temperatura máxima da superfície para um dado NDVI e $T_{s \min}$ foi considerado a linha inferior horizontal do triângulo, representando a extremidade úmida, calculado pela média de um grupo de pontos nos limites inferiores dos gráficos de dispersão de TS e NDVI (WAN et al., 2004). Os dados foram exportados via Software ERDAS IMAGINE (pixel to ASCII) para Planilha eletrônica do MS-EXCEL e os parâmetros para construção do espaço T_s x NDVI foram então estimados.

Os resultados do TVDI foram comparados com dados de umidade do solo medidos no Cerrado e no Cambarazal para as datas das imagens obtidas do satélite.

3.8 ANÁLISE DOS DADOS

Foram realizadas estatísticas descritivas para cada uma das variáveis estudadas e verificou-se a dispersão em torno da média por meio do cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação (BUSSAB & MORETTIN, 2011).

A relação entre os valores obtidos dos produtos MODIS para os índices de vegetação e evapotranspiração e os respectivos dados medidos, foi realizada por meio de regressão linear simples.

As estimativas obtidas com as imagens de satélite para o índice de área foliar (IAF), temperatura da superfície (Ts) e evapotranspiração real (ET_r) foram avaliadas por meio do índice “c” (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). Este índice foi obtido pelo produto dos índices de precisão “r” e de exatidão “d”, sendo expresso por :

$$c = r \cdot d. \quad (21)$$

e interpretado segundo critérios específicos (Tabela 1). O índice de concordância “d” de Willmott (1981,1982) foi encontrado utilizando-se a equação:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (22)$$

em que P_i é o valor estimado e O_i é o valor observado, e $\bar{O}$ é a média dos valores observados.

Tabela 3 - Critérios de interpretação do desempenho dos métodos pelo índice "c"

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,4	Péssimo

Fonte: CAMARGO & SENTELHAS (1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CLIMATOLOGIA

Tarifa (2011) identificou as variações típicas das condições meteorológicas para todo o Estado de Mato Grosso, inclusive para a região do pantanal. Com base nesses estudos e nas normais climatológicas divulgadas pelo INMET, é possível afirmar que a dinâmica da precipitação (Figura 10) e da temperatura (Figura 11) na área do presente estudo, seguiu o padrão das respectivas normais climatológicas.

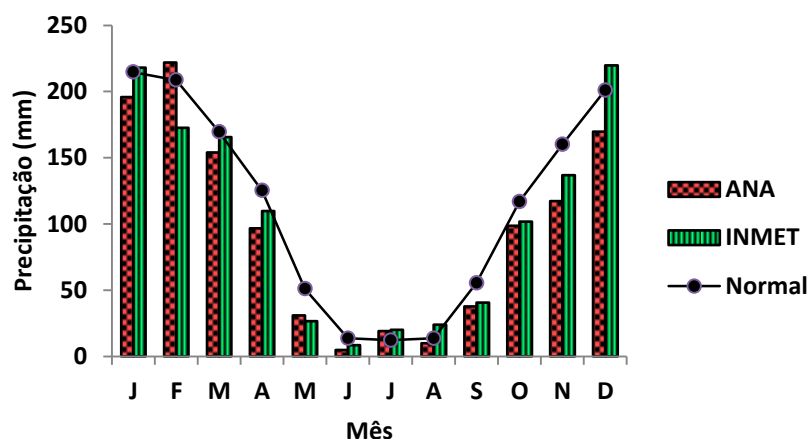


Figura 10 – Precipitação acumulada mensal média para o período de 2000 a 2009 (barras) observadas nas estações ANA- Porto Cercado / Município de Poconé e INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT; e Normal climatológica para precipitação de 1961 a 1990 – INMET – Cuiabá/MT.

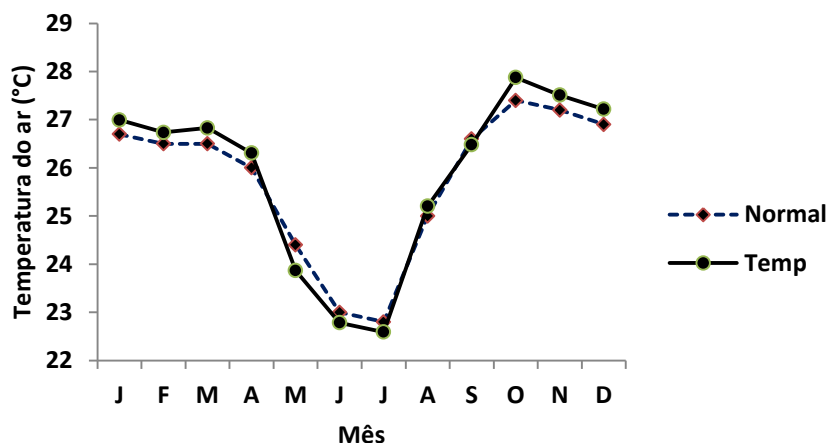


Figura 11 – Temperatura média mensal para o período de 2000 a 2009 observadas na estação INMET – Padre Ricardo Remeter / Município de Santo Antonio de Leverger/MT e Normal climatológica (1961-1990) para temperatura média – INMET – Cuiabá/MT.

Na Tabela 4 é possível verificar a dinâmica da precipitação acumulada anual para a região de estudo.

A partir destes dados não foi possível detectar um padrão na ocorrência da precipitação que pudesse indicar gradiente de diminuição da pluviosidade entre as estações. Como a estação da ANA está localizada em Porto Cercado, interior do pantanal, e distante 180 Km da estação do INMET, em Santo Antonio de Leverger, esperava-se que fosse confirmada a existência do gradiente sugerido por Tarifa (2011), o que não ocorreu.

Tabela 4 – Precipitação acumulada anual observada para o período de 2000 a 2009 nas estações ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé e INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT.

ANO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
INMET	675	1087	806	1088	1171	1122	1376	1116	1533	1687
ANA	1089	1260	997	943	1234	1366	1435	1002	730	1284

A análise dos dados de precipitação na escala mensal revelou a ocorrência de sazonalidade na região de estudo (CAMPELO JUNIOR, 1993). A estação seca e a chuvosa foram definidas a partir dos valores médios mensais obtidos da precipitação para o período de 2000 a 2009, obtendo-se a média de 96,34 mm (ANA-Porto Cercado) e 103,65 mm (INMET- Santo Antonio). O menor valor foi considerado como limite entre as duas estações (seca e chuvosa). O gráfico da diferença do valor

médio de cada mês, pelo valor limite, foi construído (Figura 12). A partir destes resultados foi possível identificar os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro como meses chuvosos, e maio, junho, julho, agosto e setembro como meses de seca.

Ao comparar os dados de temperatura média diária disponível para o Cambarazal e Cerrado, foi possível verificar que não há diferença significativa entre eles ($p < 0,001$). O mesmo ocorreu quando da comparação dos dados de umidade relativa (Tabela 5 e Tabela 6).

Ao comparar os dados de temperatura e umidade relativa obtidos no Cerrado com os obtidos no Cambarazal (Tabela 7), considerando-se as estações chuvosa e seca, para o período de disponibilidade dos dados no cambarazal (2006 a 2009), verificou-se que não há diferença significativa entre as estações ($p < 0,001$). Contudo, é possível constatar que a temperatura do ar apresentou maior variabilidade (CV maior) no Cambarazal, em relação ao Cerrado, tanto na estação seca quanto na úmida,

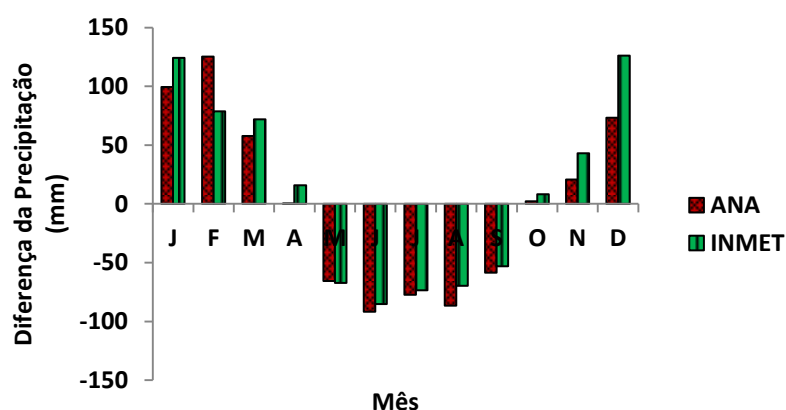


Figura 12 – Representação da estação seca e chuvosa para 96,34 mm de precipitação média mensal observada no período de 2000 a 2009, na estação ANA-Porto Cercado/ Município de Poconé e INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT.

apresentando fraca tendência sazonal, com valores mais elevados durante a estação chuvosa e valores mais baixos durante a estação seca. Ao analisar os coeficientes de variação (CV) da temperatura e da umidade relativa, é possível associá-los às características fitofisionômicas (variedade de espécies, o tamanho e a dispersão espacial de seus indivíduos) da paisagem onde foram coletados os dados (SANTOS

et al., 2011). O Cambarazal apresenta dossel contínuo e na região de estudo, o Cerrado possui vegetação esparsa, com solo mais exposto, propiciando maior redução de umidade do solo por evaporação, o que pode explicar a menor variabilidade (CV menor), tanto na temperatura quanto na umidade relativa, observadas no Cerrado em relação ao Cambarazal. A maior variabilidade da temperatura na estação seca pode ser explicada pela ocorrência de frentes frias (SANCHES et al., 2011).

A umidade relativa apresentou forte tendência sazonal, tanto no cerrado quanto no Cambarazal, com valores mais elevados (80 – 90 %) observados durante a estação chuvosa e os mais baixos (cerca de 30 %) durante a estação seca. Sanches et al. (2011), ao estudar o comportamento de variáveis micrometeorológicas na região do cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal, encontraram valores mensais médios de umidade relativa igual a 83 % em fevereiro (estação chuvosa) e 49,8 % em setembro (estação seca), o que está dentro das características sazonais encontradas no presente trabalho.

Tabela 5 – Média anual da temperatura e da umidade relativa do ar observadas no cerrado, período de 2000 a 2009, na estação INMET – Padre Ricardo Remeter.

ANO	Temperatura		Umidade relativa	
	T (°C)	CV (%)	UR (%)	CV (%)
2000	27,1	12,2	79,6	13,2
2001	27,3	10,8	75,9	16,3
2002	28,1	11,0	75,2	15,5
2003	26,7	9,7	80,3	10,5
2004	26,8	11,9	75,9	14,9
2005	27,2	11,3	72,8	17,1
2006	26,9	9,4	77,0	14,5
2007	27,1	11,9	73,3	16,5
2008	27,1	11,1	74,0	17,5
2009	27,0	11,0	78,4	11,3
Média	27,1	11,0	76,2	14,7

Tabela 6 – Média anual da temperatura e da umidade relativa do ar, observadas no cambarazal, período de 2006 a 2009, na Torre da RPPN Sesc Pantanal.

ANO	Temperatura		Umidade relativa	
	T (°C)	CV (%)	UR (%)	CV (%)
2006	25,9	16,4	71,3	24,9
2007	25,6	17,8	73,9	24,1
2008	25,8	17,0	70,8	27,4
2009	25,9	16,3	74,4	23,2
Média	25,8	16,9	72,6	24,9

Tabela 7 – Média estacional da temperatura e da umidade relativa do ar, observadas no período de 2006 a 2009, no cerrado (estação INMET – Padre Ricardo Remeter) e no cambarazal (Torre da RPPN Sesc Pantanal).

Cerrado				
Estação	Tm (°C)	Tmáx (°C)	Tmin (°C)	UR (%)
chuvosa	26,8±0,8	32,9±1,4	22,9±0,6	77,4±6,4
seca	24,8±2,1	32,7±2,3	19,0±2,8	68,4±9,4
Média	25,6±2,0	32,8±2,0	20,5±2,9	71,6±9,6
CV (%)	7,8	6,1	14,1	13,4
cambarazal				
Estação	Tm (°C)	Tmáx (°C)	Tmin (°C)	UR (%)
chuvosa	26,8±3,4	29,2±8,9	21,2±6,4	78,7±15,6
seca	24,7±5,5	27,0±11,1	17,2±7,4	65,5±20,8
Média	25,9±4,4	28,2±10,0	19,4±7,2	73,6±18,9
CV (%)	17,0	35,5	37,1	25,7

4.1.1 Precipitação estimada pelo radar instalado no satélite TRMM

Na Figura 13 é possível verificar o comportamento da precipitação estimada pelo TRMM no cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal, no período estudado. O TRMM demonstrou captar bem a sazonalidade da precipitação na região de estudo, o que também ficou evidenciado nos estudos de Collischonn et al. (2007), quando verificaram o desempenho do TRMM nas estimativas de precipitação na bacia do Paraguai superior em Mato Grosso. Na Figura 14 é possível verificar que o TRMM distingue bem entre o período seco, de maio a setembro, e o período úmido, de outubro a abril, o que revela ser o TRMM fonte alternativa de dados para melhor compreensão das características do regime hidrológico da região.

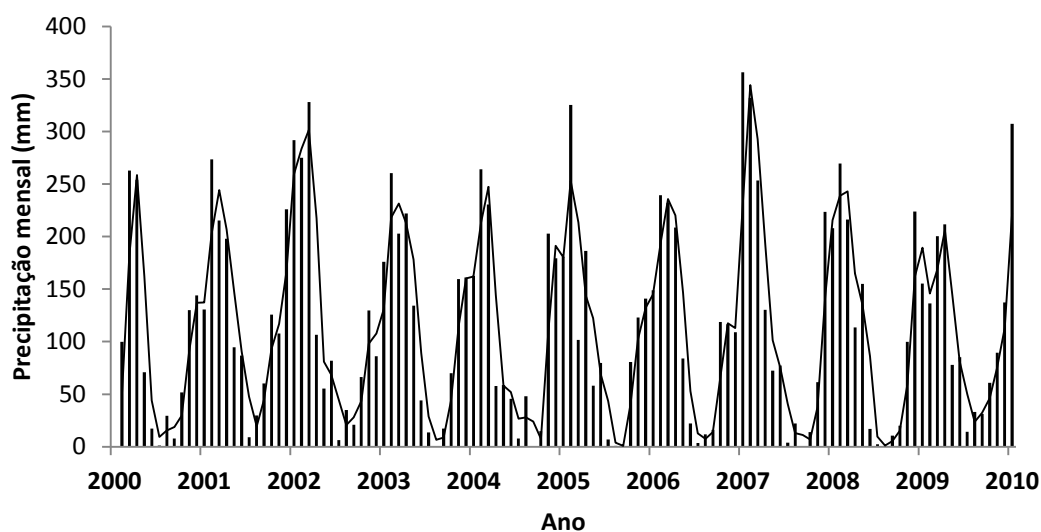


Figura 13 – Dinâmica da precipitação mensal estimada por meio dos dados do Satélite TRMM – produto 3B43, na RPPN – Sesc Pantanal/Município de Barão de Melgaço-MT, no período de 2000 a 2009.

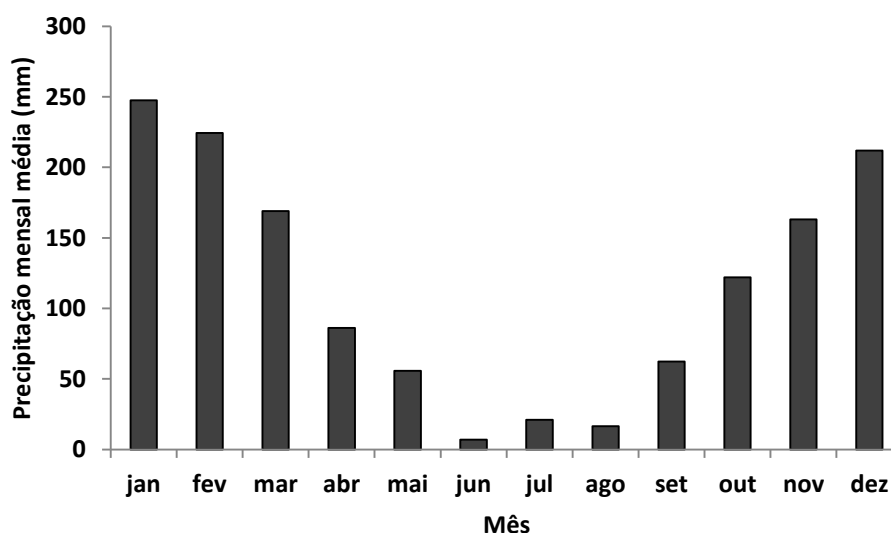


Figura 14 – Precipitação mensal média (barras) estimada por meio dos dados do Satélite TRMM – produto 3B43, na RPPN – Sesc Pantanal/Município de Barão de Melgaço-MT, no período de 2000 a 2009.

Na Figura 15, é possível verificar a relação entre os dados de precipitação observados em superfície (estações: ANA - Porto cercado e INMET – Santo Antonio de Leverger) e os obtidos do satélite, evidenciando boa concordância dos dados ($r =$

0,85), porém com superestimativa do TRMM para escala mensal, O que pode ser explicado pela maior área de abrangência do TRMM (25 km x 25 km) em relação à da estação meteorológica (pontual) (COLLISCHONN et al., 2007; KARASEVA et al., 2011; CAMPAROTTO et al., 2013).

Na Tabela 8, é possível verificar a relação entre a precipitação observada nas estações ANA e INMET e as respectivas estimativas de precipitação pelo satélite TRMM para os dez anos estudados. Os resultados apontaram a fraca correlação encontrada para as estimativas 3B42 nas duas estações meteorológicas, na escala diária. É possível verificar que a correlação melhora para escalas temporais maiores. Feidas (2010), ao validar os produtos TRMM para a Grécia, verificou muito boa concordância dos produtos 3B42 e 3B43 com os dados de superfície, nas escalas de tempo mensal e sazonal. A forte correlação ($r=0,85$) encontrada no presente trabalho para o 3B43 e 3B42, para a precipitação total mensal, indica ser esta escala temporal mais confiável (CAMPAROTTO et al., 2013). Nair et al. (2009), ao avaliarem o desempenho do TRMM na Índia, encontraram forte correlação entre os dados de superfície e os do satélite (3B42) em escala mensal, obtendo coeficiente de correlação linear (r) variando entre 0,55 e 0,86. Viana (2009), ao elaborar um panorama geral da precipitação na Região Sul do Brasil entre 1988 e 2007, a partir de dados de postos pluviométricos e sensoriamento remoto, validou, em dez postos, as estimativas para 3B42 e 3B43, obtendo coeficiente de correlação linear (r) variando entre 0,23 e 0,78 para 3B42 e entre 0,87 e 0,97 para 3B43, o que corrobora com os valores encontrados na presente pesquisa.

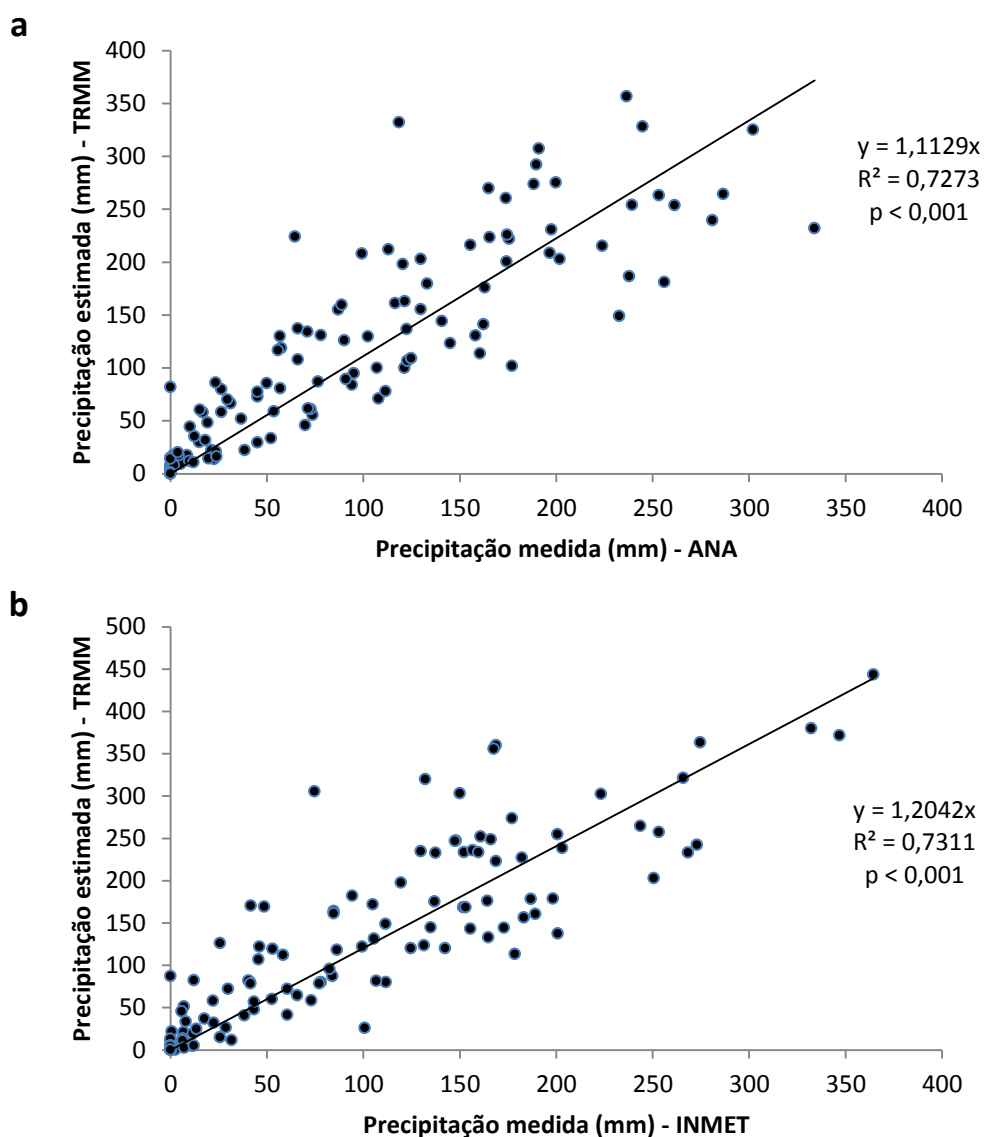


Figura 15 – Relação da precipitação total mensal: **(a)** estimada pelo satélite TRMM e medida na estação ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé, e **(b)** estimada pelo satélite TRMM e medida pela estação INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT, no período de 2000 a 2009.

Tabela 8 - Relação entre a precipitação estimada por meio dos dados do Satélite TRMM e aqueles medidos nas estações de superfície da ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé/MT e INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT, no período de 2000 a 2009.

Correlação Pearson (r) para precipitação total (mm)					
Estação/Local	Diária	Decendial	Quinquidial	Mensal	
	3B42	3B42	3B42	3B43	3B42
ANA Porto Cercado	0,21*	0,64*	0,74*	0,85*	0,85*
INMET Santo Antonio	0,36*	0,69*	0,78*	0,85*	0,85*

* (P<0,001)

Na Figura 16, é possível verificar a dinâmica da precipitação estimada pelo satélite TRMM e da cota do rio Cuiabá obtida na estação ANA – Porto Cercado. Os dados revelaram correlação moderada ($r = 0,43$; $p < 0,001$) entre a precipitação e a cota do rio. A evolução da cota segue o padrão da precipitação e ao comparar o mês de ocorrência de máximos e mínimos das cotas e da precipitação, constatou-se uma defasagem, onde o pico da cota pode ocorrer de 1 a 3 meses depois do pico da precipitação. Os dados revelaram que o pico da cota do rio ocorre entre março e abril.

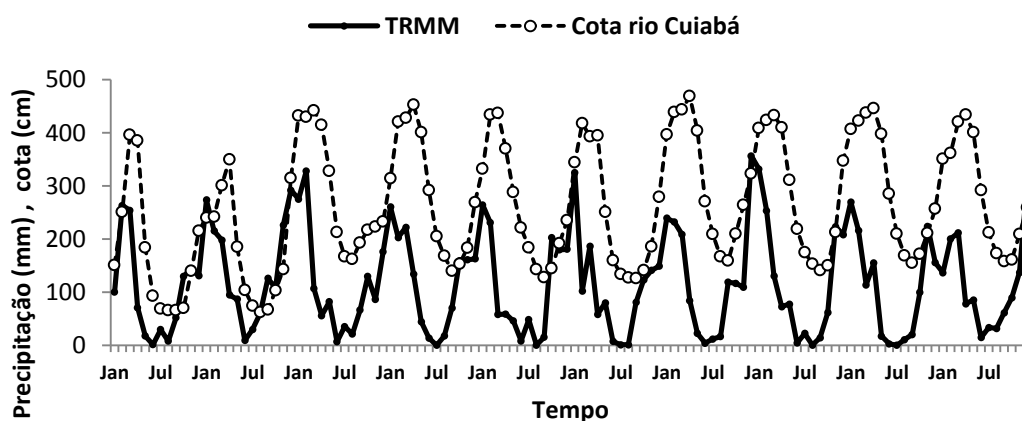


Figura 16 – Variação do nível (cota) do rio Cuiabá (---○---) medida na estação ANA- Porto Cercado/ Município de Poconé/MT, e precipitação mensal (—) estimada pelo satélite TRMM para a localização da Torre no cambarazal da RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009.

Quando o nível do rio Cuiabá atinge 3,0 m em Porto Cercado, a água do rio extravasa seu leito e começa a inundação das áreas próximas (GIRARD et al., 2010). Devido à baixa declividade e aos inúmeros canais pré-existentes, uma conexão com o rio é, então, estabelecida. A região da RPPN-Sesc Pantanal experimenta, anualmente, um pulso de inundação de intensidade e duração variável (CUNHA & JUNK, 2004).

Observando o nível do Rio Cuiabá em Porto Cercado (Figura 17), é possível verificar que os seis primeiros meses do ano são passíveis de apresentar cotas superiores a 3,0 m, fazendo com que as águas do rio Cuiabá inundem parte da RPPN-SESC Pantanal, chegando ao cambarazal onde está localizada a Torre micrometeorológica.

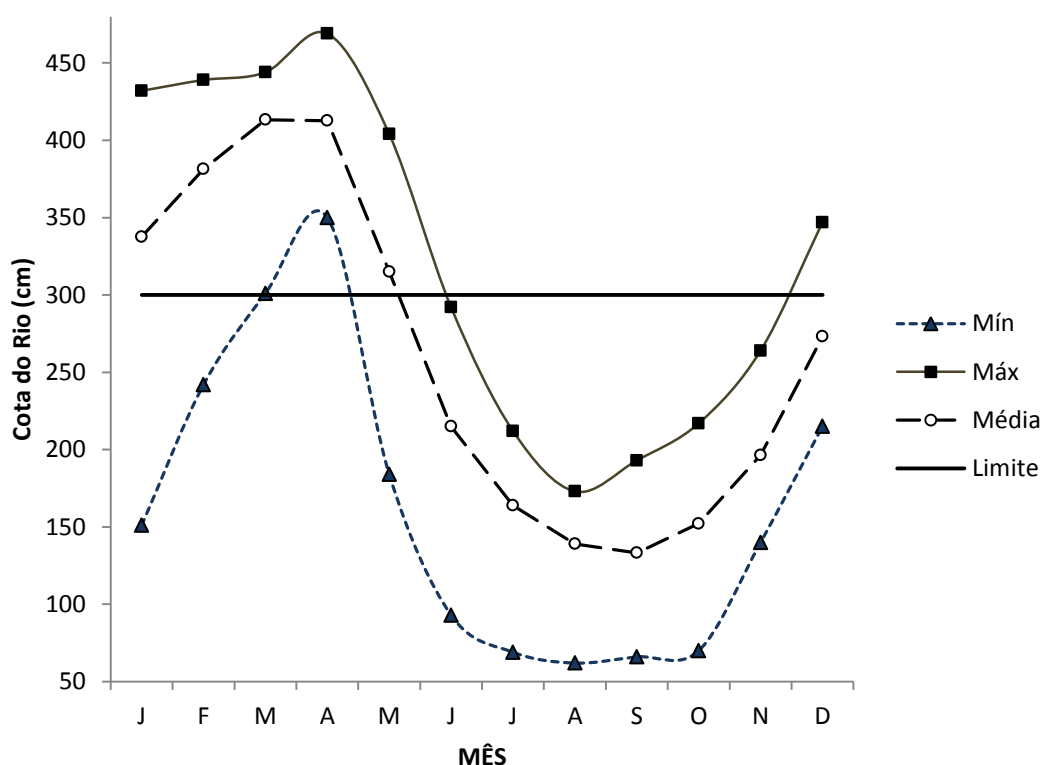


Figura 17 – Representação do valor da cota mínima (—) estimada para a ocorrência de inundação no cambarazal da RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT e Variação do nível (cota) mensal médio do rio Cuiabá, em Porto Cercado – Município de Poconé/MT: cota máxima (—■—), cota média (—○—) e cota mínima (—▲—), no período de 2000 a 2009. Fonte: estação ANA- Porto Cercado.

4.2 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

4.2.1 Índices de vegetação obtidos pelo satélite de resolução moderada - MODIS

Os dados diários utilizados do IAF, estimados por meio de medidas de interceptação luminosa no cambarazal (local da torre), abrangeram o período entre 20/08/2006 e 11/12/2009. Os máximos valores de IAF foram estimados para períodos de oito dias, permitindo comparação entre os dados de superfície e os dados obtidos por meio do satélite. O IAF obtido para o estrato superior da vegetação (a partir de 16 m de altura) apresentou-se fortemente correlacionado ($r = 0,72$) com o IAF estimado pelo sensor Modis (Figura 18), enquanto os estratos inferiores (a partir de 2 m e 6 m) revelaram ausência de correlação, o que pode ser explicado pelas características do Cambarazal, que apresenta árvores altas, podendo chegar a 30 m, com copas justapostas, formando uma zona superior de folhagem homogênea e densa. Marques Filho et al. (2005), também mediram o IAF em diferentes alturas no interior da vegetação e identificaram a presença de estratos. Esses autores ao estudar a interceptação luminosa em área de floresta primária com dossel alcançando 40 m, na Reserva Biológica do Cuieiras – AM, encontraram valores de IAF médios entre $2,65 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $6,26 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, e uma zona de transição de IAF entre 15 m e 20 m de altura. O sensor Modis superestimou o IAF quando comparado com os dados de superfície (Figura 18). Essa superestimativa do IAF pode ser explicada pela resolução espacial do sensor Modis, que estima o IAF para pixels de 1 km^2 , enquanto as observações de campo avaliaram a interceptação luminosa pelo dossel em um ponto no Cambarazal.

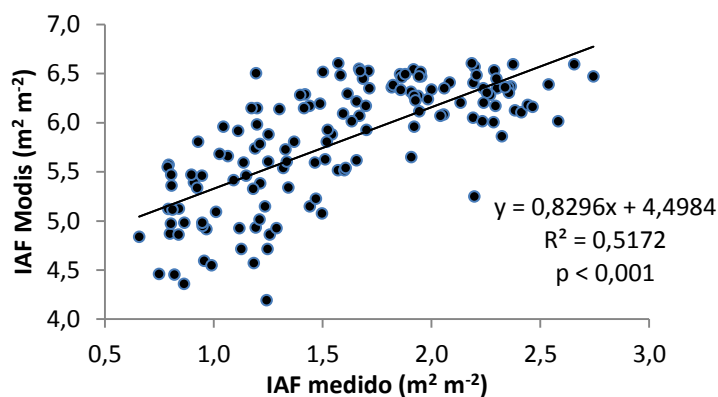


Figura 18 – Relação entre o índice de área foliar (IAF) estimado pelo método da interceptação luminosa e o IAF estimado pelo sensor Modis no Cambarazal da RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2006 a 2009.

Na Figura 19, é possível verificar o comportamento do IAF no Cambarazal, ao longo de cada ano. A estimativa do IAF pelos dados de interceptação luminosa obteve média anual igual $1,6 \pm 0,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, e apresentou valor máximo na estação chuvosa ($2,74 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) e mínimo na estação seca ($0,75 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$).

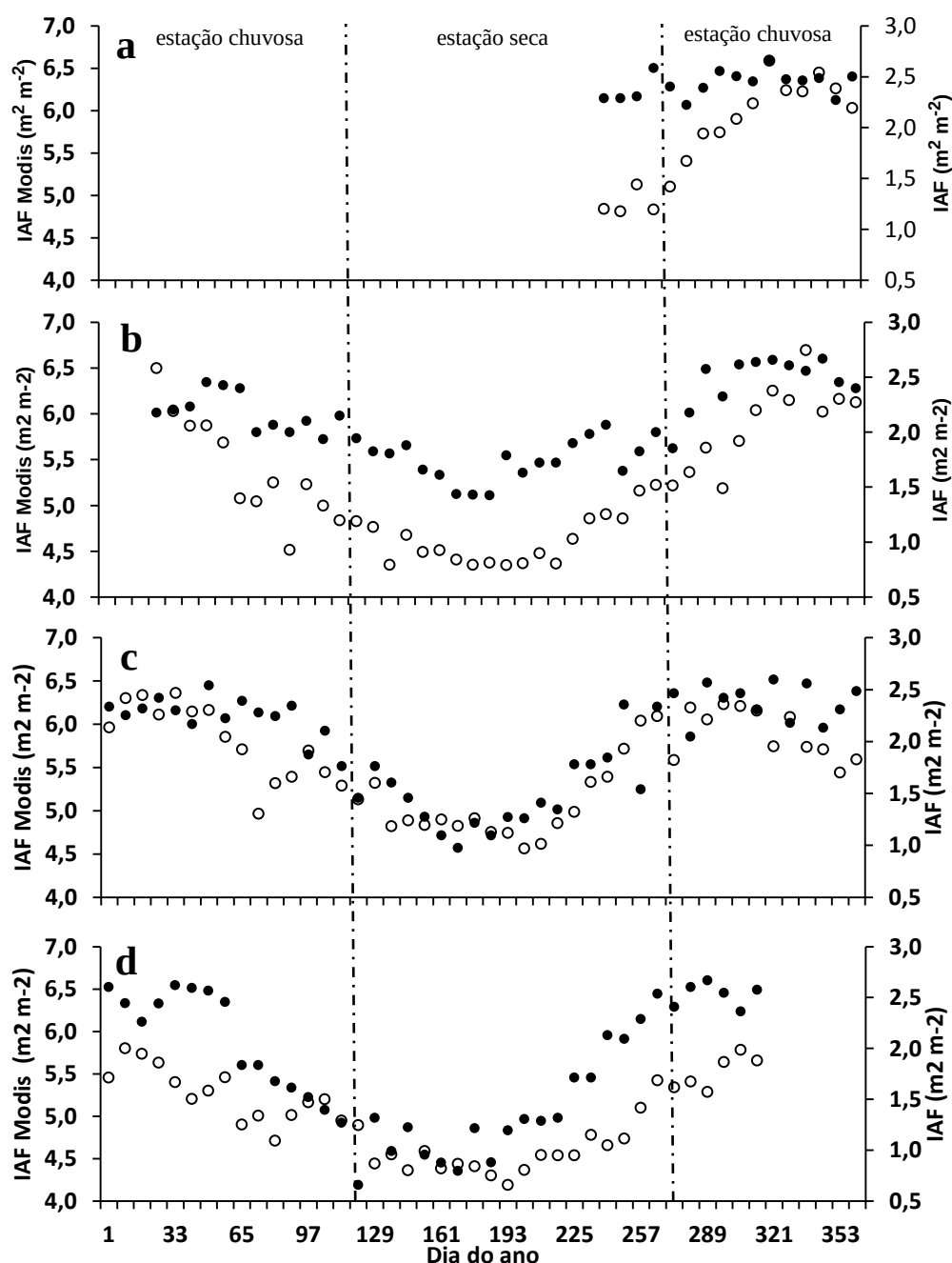


Figura 19 – Dinâmica anual do Índice de área foliar (IAF) estimado pelo método da interceptação luminosa (○) e pelo produto Modis MOD5A2 (●), em: (a) 2006, (b) 2007, (c) 2008 e (d) 2009, no cambarazal da RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT.

Na Figura 20, é possível verificar o comportamento anual e sazonal do IAF, no cerrado e no cambarazal, com dados estimados pelo sensor MODIS para o período entre 2000 e 2009. O IAF apresentou diferença significativa entre cerrado e cambarazal, sendo que a média anual para o cerrado foi de $1,4 \pm 0,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e para o cambarazal foi de $5,3 \pm 0,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Utilizando o mesmo produto MODIS (MOD15A2), Leuning et al. (2008), ao estudar diferentes biomas, encontraram IAF entre 0,7 (cerrado) e 3,6 (floresta). Bitencourt et al. (2007), verificaram que o IAF pode variar entre 1 (vegetação esparsa e seca), e 6 (floresta tropical), e que para o cerrado o IAF é inferior a 4, o que está coerente com os resultados obtidos no presente estudo.

O IAF no cerrado apresentou melhor definição na sazonalidade do que no cambarazal. No cerrado, apenas os anos de 2003, 2004, 2005 e 2007 não apresentaram diferenças significativas entre as estações chuvosa e seca. Entretanto, no cambarazal, a sazonalidade parece ser uma exceção, visto que somente os anos de 2003 e 2008 apresentaram diferenças significativas entre as estações chuvosa e seca. O que pode ser explicado pela menor disponibilidade hídrica, causada pela redução sucessiva da precipitação total anual, observada em anos anteriores (Tabela 4). No cerrado, na estação chuvosa, o IAF médio foi de $1,56 \pm 0,5$, enquanto que na estação seca foi de $1,15 \pm 0,2$. Bitencourt et al. (2007), estudaram índices de vegetação para áreas de cerrado e ao medir o IAF encontraram valores médios para estação seca variando entre 1,2 e $1,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e para estação úmida entre 2,3 e $2,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, o que confirma a sazonalidade do IAF verificada nos resultados obtidos com o sensor MODIS. No cambarazal, na estação chuvosa, o IAF médio foi de $5,44 \pm 1,2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, enquanto que na estação seca foi de $5,13 \pm 0,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Vourlitis et al. (2011), obtiveram para a mesma região do cambarazal, na estação seca (Julho/2009 e Agosto/2010), IAF igual a $3,3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, evidenciando a superestimativa do sensor MODIS em relação ao IAF medido em superfície. Os resultados estimados pelo sensor MODIS, para o cambarazal, estão de acordo com aqueles obtidos por Pinto Júnior et al. (2011), onde o IAF variou entre 2,5 e $5,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em áreas de transição cerrado – floresta e os valores encontrados por Myneni et al. (2007), onde o IAF variou entre 5,0 e $6,7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, em áreas de florestas tropicais.

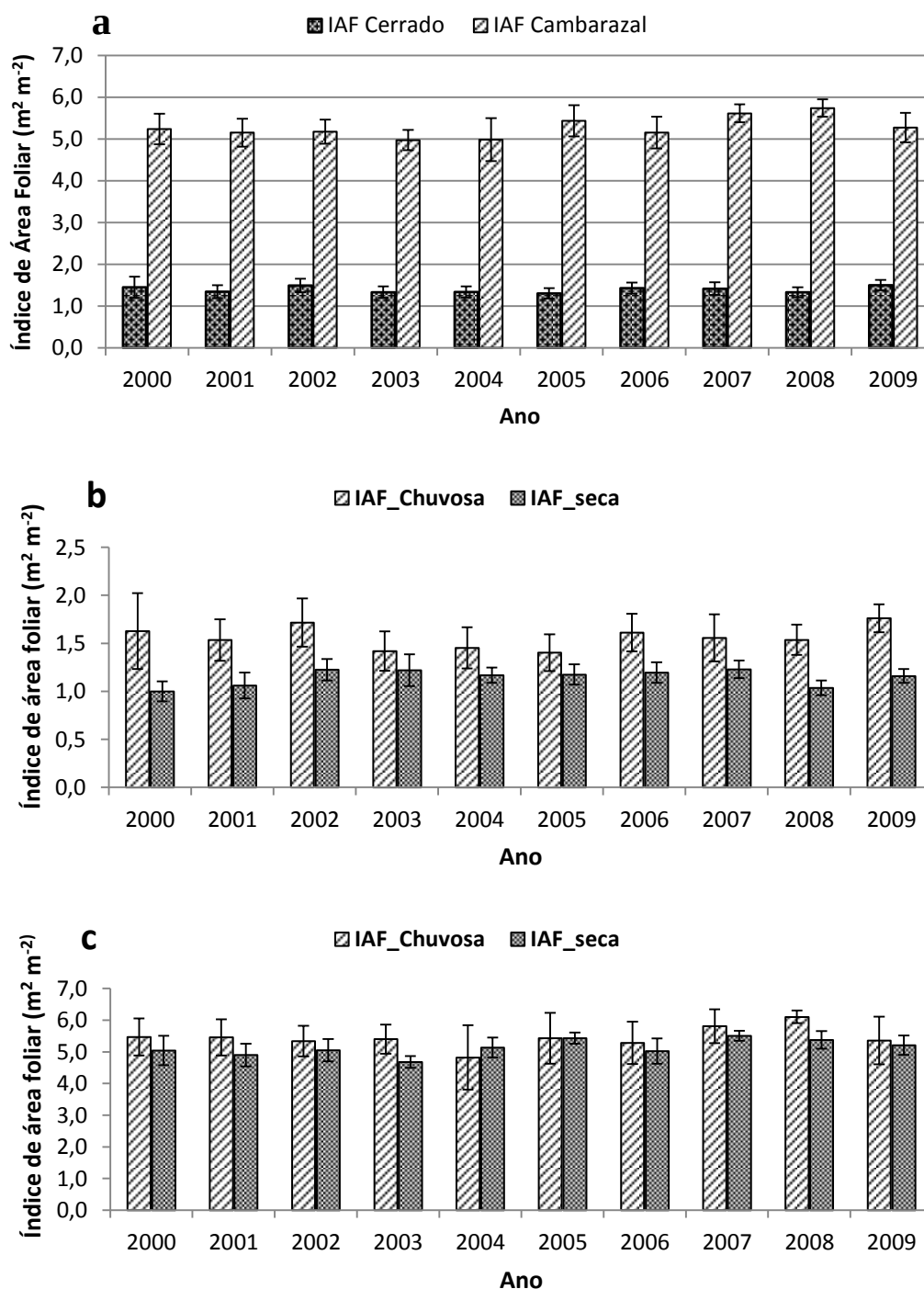


Figura 20 – Comportamento do Índice de área foliar (IAF) anual do cerrado na Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no cambarazal da RPPN Sesc Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, estimados pelo produto Modis MOD5A2, no período de 2000 a 2009: **(a)** Variação das médias anuais do IAF; **(b)** Variação Sazonal do IAF no cerrado; **(c)** Variação Sazonal do IAF no Cambarazal.

Os resultados apresentados na Figura 21, permitem verificar a sazonalidade do índice de vegetação NDVI e do EVI para o cerrado. Para as médias anuais e seus respectivos intervalos de confiança ($p < 0,001$), verifica-se que há diferença estatística entre os índices de vegetação. O valor médio anual encontrado para o NDVI foi de $0,58 \pm 0,09$ e para o EVI foi de $0,34 \pm 0,10$, para todo o período. Esses resultados concordam com Schnur et al. (2010), que em região semi-árida, na fronteira do Texas com o Novo México - USA, observaram valores de NDVI maiores do que os do EVI e que a diferença entre eles é maior ou igual a 0,1. É possível verificar, ainda, que o comportamento dos índices de vegetação, diante dos períodos de estação úmida e seca, revelou sazonalidade. Contudo, para os anos de 2001 e 2009, o EVI não apresentou diferença estatística entre as estações. Já o NDVI, não apresentou diferença estatística entre as estações para os anos de 2001 e 2003.

Os resultados apresentados na Figura 22 permitem verificar a sazonalidade do índice de vegetação NDVI e do EVI para o cambarazal. Para as médias anuais e seus respectivos intervalos de confiança ($p > 0,001$), verifica-se que há diferença estatística entre os índices de vegetação. O valor médio anual encontrado para o NDVI foi de $0,82 \pm 0,04$ e para o EVI foi de $0,47 \pm 0,07$, para todo o período. Estes valores revelam que a vegetação no cambarazal é mais vigorosa quando comparada com o cerrado. Os valores médios do NDVI estão indicando saturação em torno do valor 0,8, o que está de acordo com a literatura, para regiões de floresta (ASRAR et al., 1984; HUETE et al., 2002; WANG et al., 2005; DA ROCHA et al., 2009; ZEILHOFER et al., 2012). O EVI também foi maior para o cambarazal quando comparado com o obtido para o cerrado. Contudo, o EVI revelou ser mais adequado para o monitoramento da vegetação, visto que conseguiu discriminar as diferenças entre cerrado e floresta, sem saturar assintoticamente, como observado no NDVI (RISSO et al., 2012).

É possível verificar, ainda, para a região do cambarazal, que o comportamento dos índices de vegetação diante dos períodos de estação úmida e seca revela sazonalidade. Contudo, o NDVI revelou ser mais sensível às estações úmida e seca do que EVI. Enquanto o NDVI apresentou diferença estatística quanto às estações em quatro anos (2001, 2003, 2005 e 2009) o EVI apresentou apenas em

dois (2003 e 2008), o que pode ser parcialmente explicado pela maior sensibilidade do NDVI à precipitação (RISSO et al., 2012).

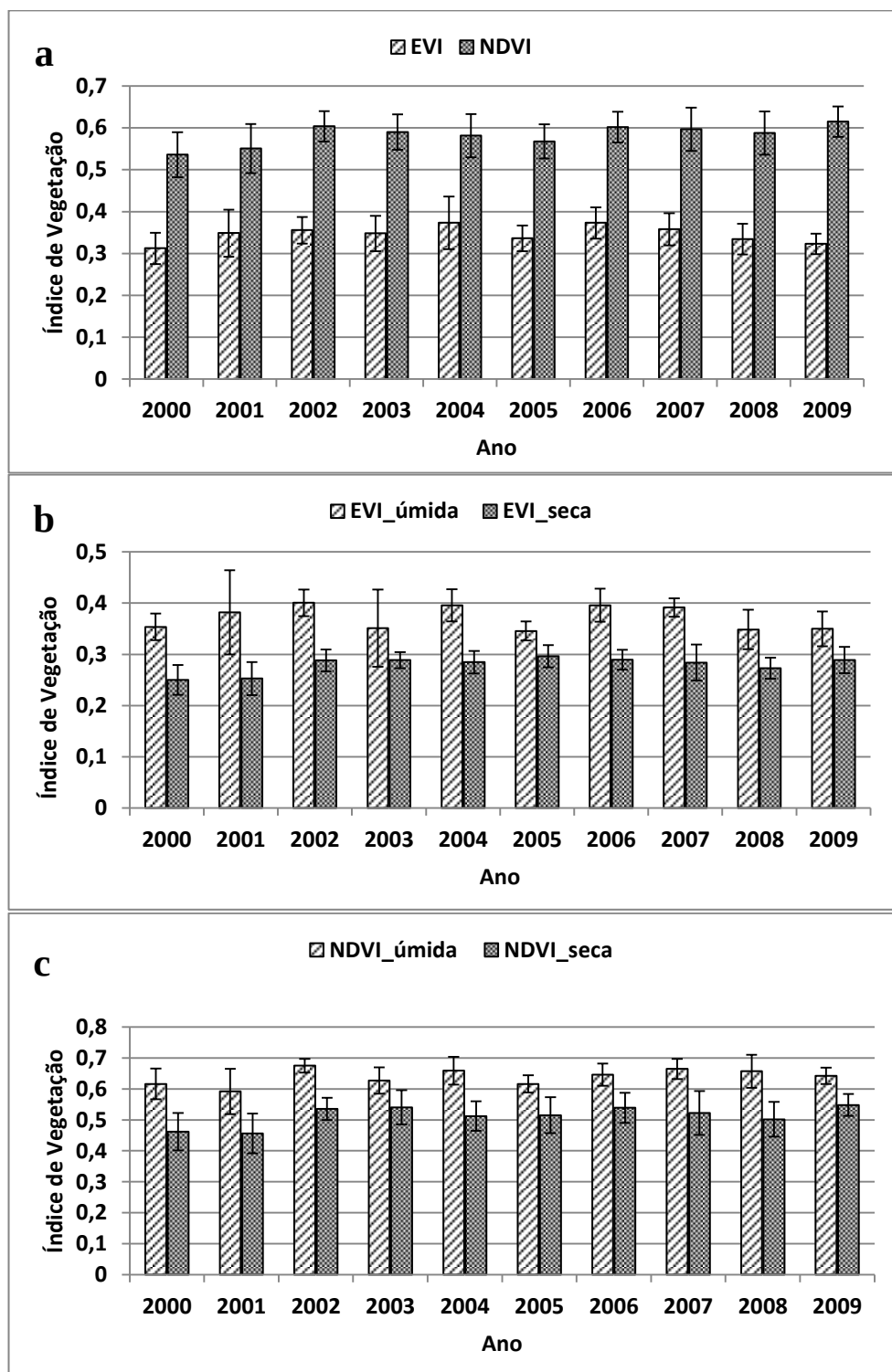


Figura 21 – Comportamento dos Índices de Vegetação no Cerrado - Fazenda Miranda/MT, no período de 2000 a 2009: (a) Variação da média anual do EVI e do NDVI; (b) Variação Sazonal do EVI; (c) Variação Sazonal do NDVI.

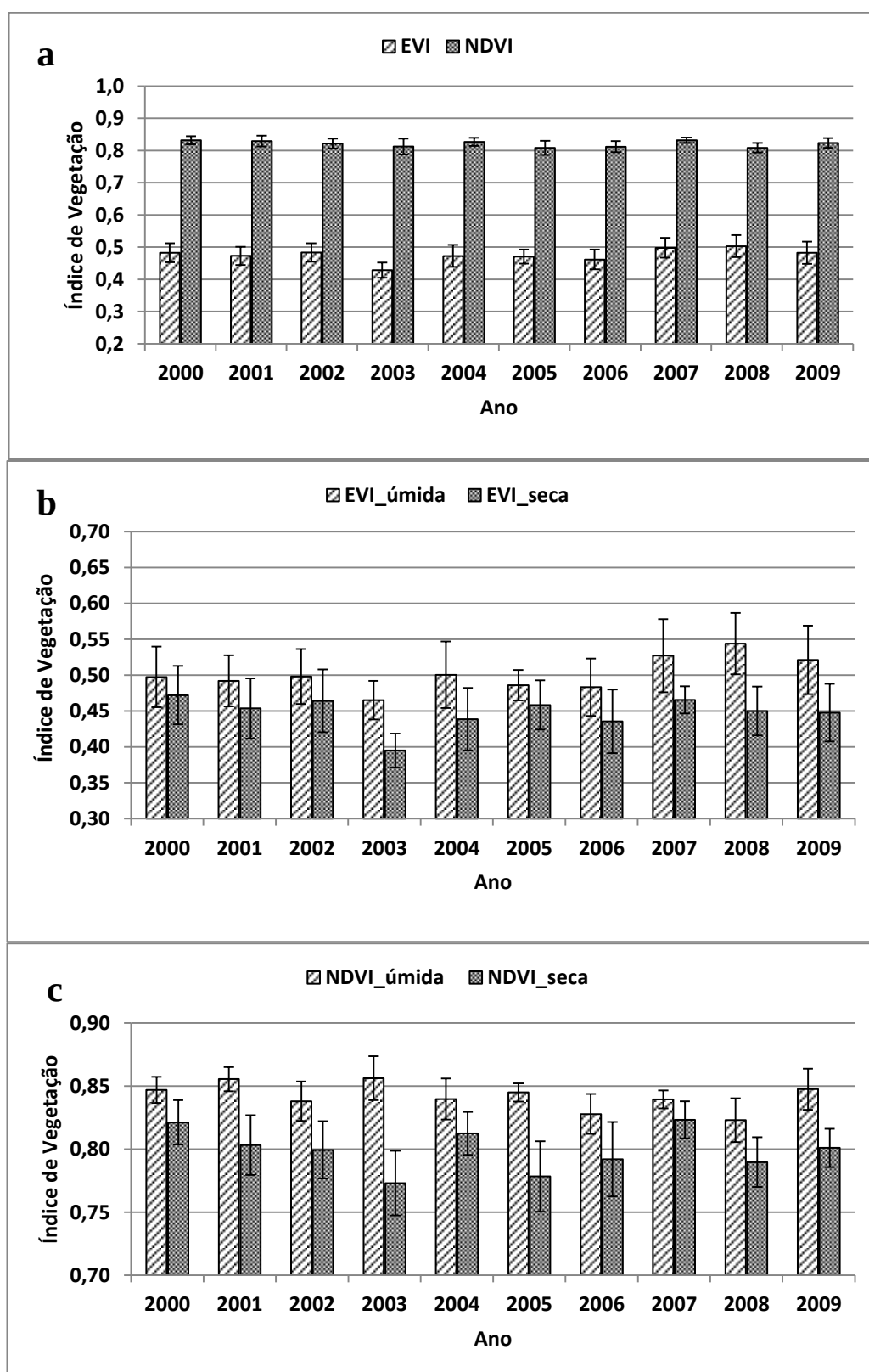


Figura 22 – Comportamento dos Índices de Vegetação no Cambarazal – RPPN Sesc Pantanal/MT, no período de 2000 a 2009: (a) Variação da média anual do EVI e do NDVI; (b) Variação Sazonal do EVI; (c) Variação Sazonal do NDVI.

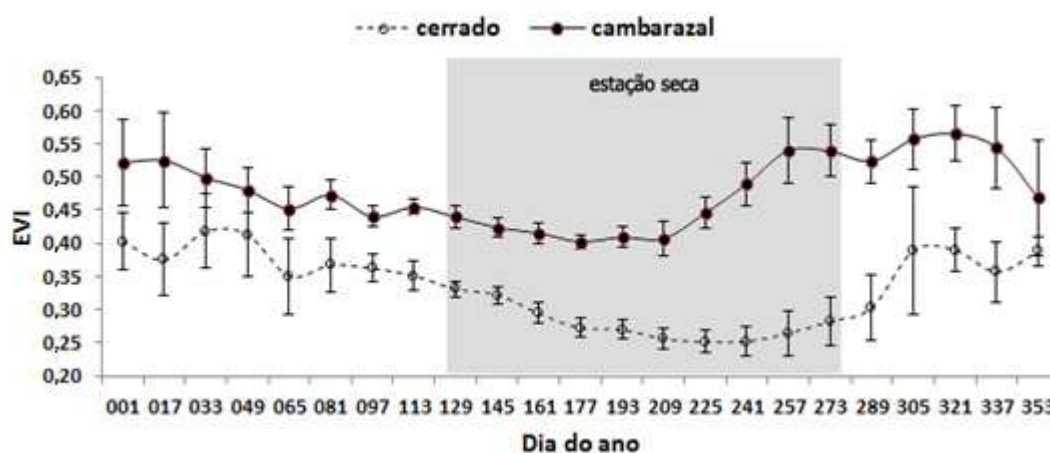


Figura 23 – Comportamento do EVI (média $\pm$ i.c*), estimados pelo produto Modis MOD13Q1: no Cerrado - Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no Cambarazal - RPPN Sesc Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009. * intervalo de confiança, $\alpha = 0,05$.

Risso et al. (2012), avaliaram o desempenho do EVI, para dois dias representativos de cada estação, em áreas de cerrado e floresta em Mato Grosso e encontraram, para os dias do ano 1 e 17 (chuvosa) e 209 e 225 (seca), os seguintes valores estacionais: EVI chuvosa: 0,41 a 0,46 (cerrado) e 0,54 a 0,55 (floresta); EVI seca: 0,25 a 0,27 (cerrado) e 0,50 a 0,52 (floresta). Esses resultados concordam com os obtidos no presente estudo (Figura 23).

A frequência regular dos índices de vegetação obtidos por meio dos produtos MODIS, permite elaborar séries temporais que facilitam o monitoramento da vegetação, como por exemplo, seu ciclo sazonal (BECERRA et al., 2009).

4.2.2 Índices de vegetação obtidos pelo satélite de alta resolução - LANDSAT

Ao verificar a dinâmica dos índices de vegetação no cerrado e no cambarazal (Figura 24), esta parece indicar que para o cerrado há semelhança com o padrão desenvolvido pela precipitação na região, enquanto que para o cambarazal, é possível observar valores crescentes em plena estação seca. Isso pode ser explicado pela inundação periódica da região nos primeiros meses do ano (apresentado no item 4.1.1), que mantém a umidade do solo em boas condições e, ainda, o acesso das raízes do cambará a camadas mais profundas do solo, permitindo a rápida recuperação do vigor da vegetação na estação seca. Dalmolin et al. (2012), pesquisaram o comportamento de mudas de cambará e verificaram que essa espécie é tolerante a inundação e sombreamento, e apresenta flexibilidade fisiológica para acumular carbono sob ampla variedade de condições de disponibilidade hídrica e de luz. Dalmagro (2012) ao investigar a variação na estrutura foliar ocorrida no cambarazal da RPPN-Sesc Pantanal em 2009, verificou uma corte de folhas jovens e velhas na estação seca e que as folhas novas apresentaram uma área foliar específica significativamente superior às folhas velhas, corroborando com os resultados da presente pesquisa, onde os valores dos índices de vegetação variam pouco ao longo do ano.

Os maiores valores de NDVI ocorreram no período chuvoso e os menores no período seco. O que está de acordo com o verificado por Lira et al. (2011), que encontraram, para o submédio São Francisco, no Nordeste brasileiro, $NDVI > 0,8$ para áreas agrícolas irrigadas e $NDVI < 0,17$ para vegetação nativa esparsa e para solo exposto, em período de menor precipitação. Ao comparar a dinâmica do NDVI para o cerrado com a do cambarazal é possível verificar que os valores do NDVI para o cerrado foram sempre menores que os do cambarazal ao longo do ano. Contudo, o cerrado pareceu mais sensível aos menores níveis de precipitação verificados a partir do mês de maio. A ascensão do NDVI do cambarazal até junho pode ser explicado pela presença de áreas inundadas, o que mantém a umidade do solo em níveis elevados. Wang et al. (2003), conduziram um estudo no Estado do Kansas, que fica na região central das grandes planícies da América do Norte, e demonstraram que há uma correlação positiva entre precipitação e NDVI. Entretanto, vários estudos têm

demonstrado que há uma defasagem de 2 a 3 meses na resposta do NDVI à precipitação (IMMERZEEL et al., 2005; QUIROZ et al., 2011).

Na Figura 24, é possível verificar que tanto no cerrado quanto no pantanal o EVI segue o padrão do NDVI e que o EVI apresenta valores menores que o NDVI ao

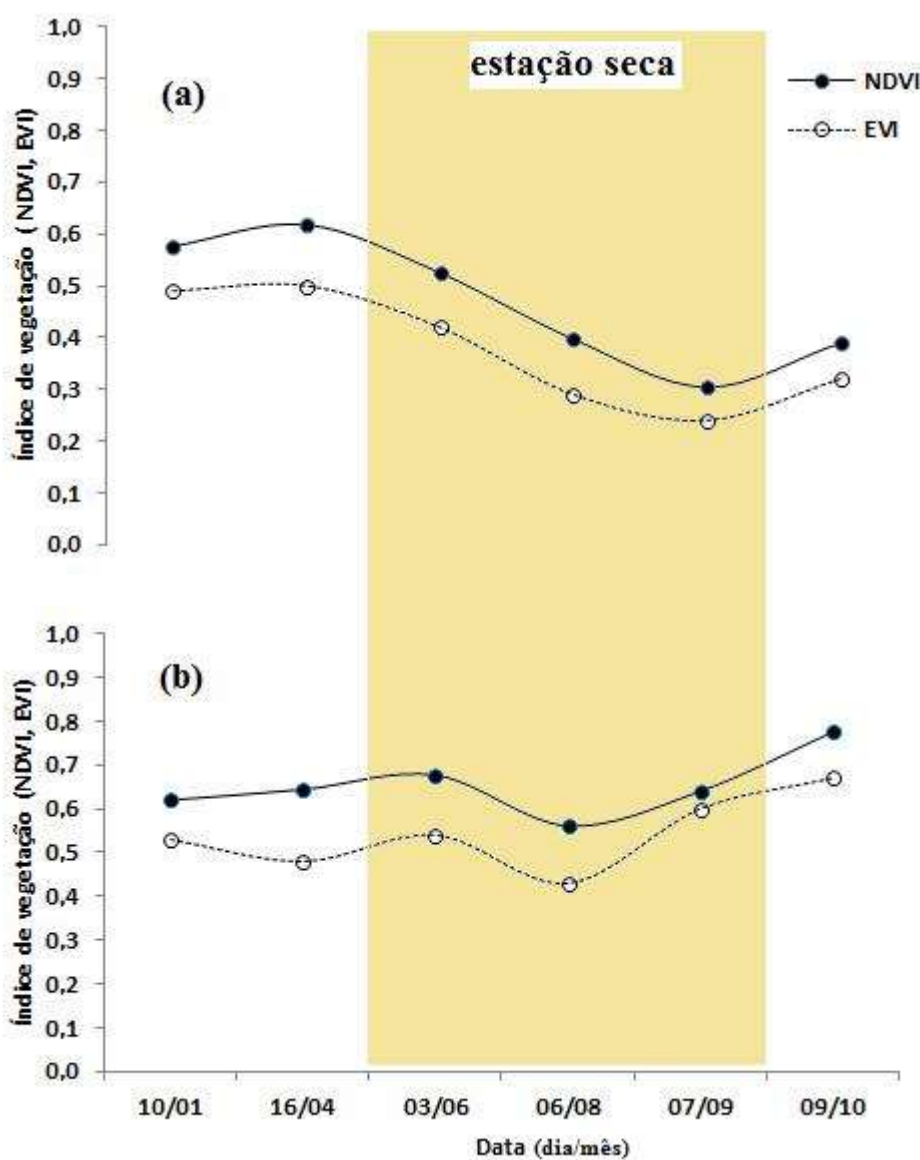


Figura 24 – Evolução dos Índices de Vegetação: NDVI (—●—) e EVI (---○---), estimados a partir dos dados do satélite LANDSAT-TM5, para os pixels onde estão localizadas as torres micrometeorológicas: (a) no Cerrado - Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e (b) no Cambarazal - RPPN Sesc Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, em 2009.

longo do ano. O EVI estimado a partir do Landsat revelou que o cambarazal é mais resistente à estação seca do que o cerrado, o que também ficou evidenciado pelo EVI estimado pelo MODIS (Figura 23).

Na Figura 25, é possível verificar que ao comparar os índices de vegetação obtidos por meio do Landsat (30 m) com os obtidos pelo MODIS (250 m), apesar da resolução espacial diferente, o NDVI revelou-se melhor relacionado, tanto no cerrado ($r^2=0,71$) quanto no cambarazal ($r^2=0,67$). Como o EVI é mais sensível às variações na estrutura do dossel, é possível que a menor correlação seja explicada pela interação entre a sensibilidade desse índice e a resolução espacial dos dados obtidos pelos sensores dos satélites.

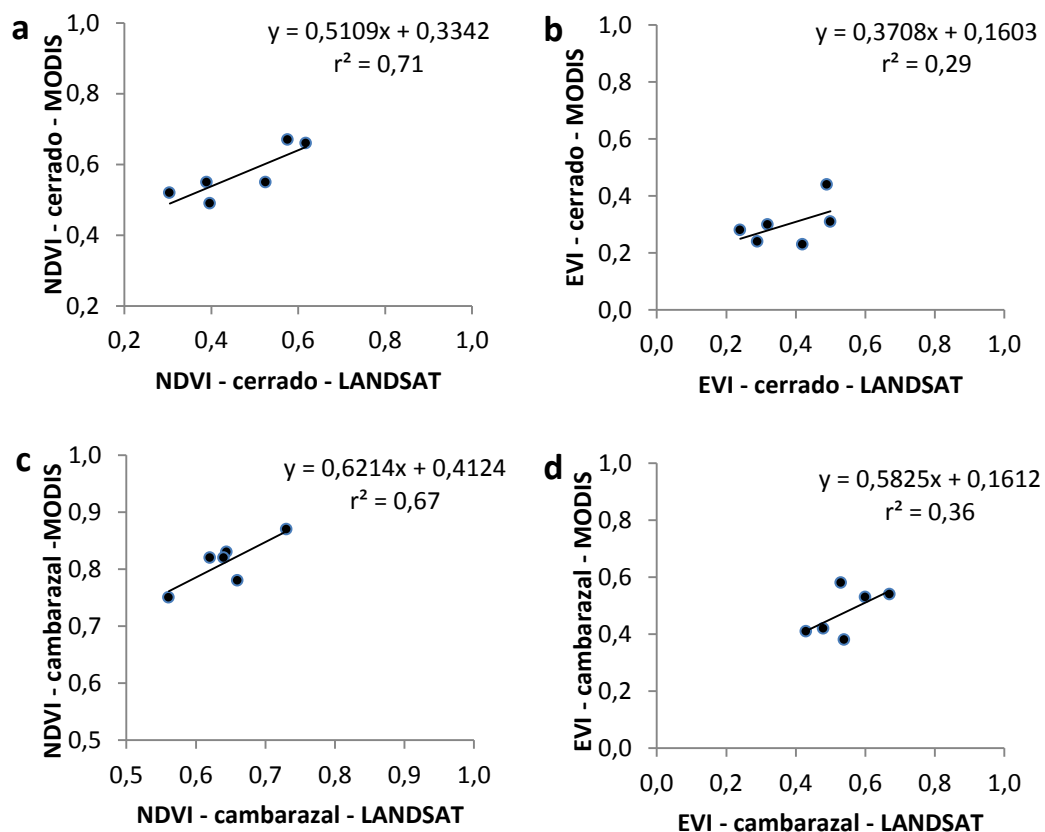


Figura 25 – Relação entre os Índices de Vegetação obtidos pelo sensor MODIS e os obtidos pelo satélite LANDSAT, em 2009: (a) NDVI do Cerrado, (b) EVI do Cerrado, (c) NDVI do Cambarazal, (d) EVI do Cambarazal. ($p < 0,05$)

Ao observar os histogramas de frequência das imagens do NDVI (Figura 26), é possível verificar a sazonalidade do NDVI nas áreas estudadas. Os dados da imagem de 16/04/2009, representativa do período chuvoso, apresenta um histograma que aponta para uma maior dispersão dos dados de NDVI para a região de cerrado, quando comparada com a região do cambarazal. Nesta data, o desvio padrão do NDVI foi 0,159 para cerrado e 0,135 para cambarazal, revelando que o cambarazal possui vegetação mais homogênea, possivelmente pela presença de estandes monodominantes de cambará (cambarazal), os quais, segundo Arieira & Nunes da Cunha (2006), ocupam uma área de, aproximadamente, 100 Km². A média do NDVI no cambarazal foi 21,75% maior do que a média verificada no cerrado. Também é possível verificar na imagem de 07/09/2009, representativa do período seco, que, para o cerrado, houve redução tanto no valor da média do NDVI quanto na dispersão em torno da média, evidenciada pelo desvio padrão de 0,112.

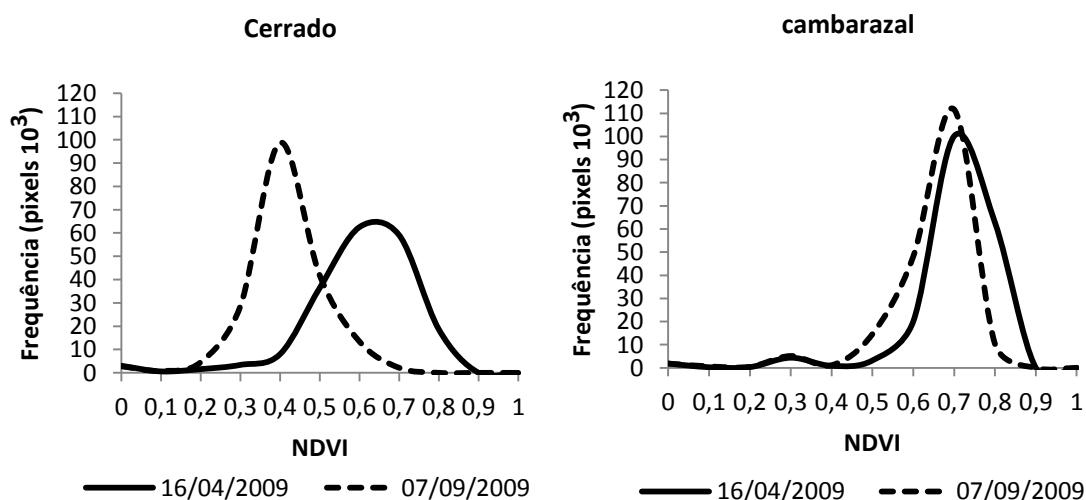


Figura 26 – Histograma do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), no cerrado e cambarazal, referente às imagens de 16/04/2009 (estação chuvosa) e 07/09/2009 (estação seca).

O NDVI sofreu uma redução, entre estações, da ordem de 8% para o cambarazal e 34% para o cerrado. A pequena redução no NDVI para a região do cambarazal é compatível com o NDVI de superfícies florestadas, como sugere o trabalho de Oliveira et al. (2007) ao estudar as regiões fitoecológicas do Brasil. A maior redução no NDVI médio foi observada na região do cerrado, o que está de

acordo com o observado por Carvalho Júnior et al. (2008), ao pesquisar padrões de assinatura NDVI. Esses autores encontraram variações para valores médios de NDVI, associadas a densidade da vegetação: cerrado denso (chuvoso = 0,8 e seco = 0,62); campo (chuvoso = 0,6 e seco = 0,35); cerrado ralo e rupestre (chuvoso = 0,6 e seco = 0,4). A variabilidade do NDVI no cerrado decorre da queda das folhas de grande parte dos indivíduos desta formação vegetal, durante o período de seca (GURGEL et al., 2003).

4.3 TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

4.3.1 Temperatura da superfície obtida pelo satélite de resolução moderada - MODIS

A validação da temperatura da superfície obtida pelo sensor MODIS, foi realizada por meio da comparação dos dados diários de temperatura do ar medidos a 2 m da superfície, em abrigo meteorológico, na estação INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT, no período entre 01/01/2008 e 31/12/2009 (GUSSO et al., 2007; SHEN & LEPTOUKH, 2011; VANCUTSEM et al., 2010). Foram obtidos os dados de temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Txn), calculada por meio da mínima e da máxima, e temperatura medida às 12 UTC (T12) (9:00 hs., horário local). Os valores médios de temperatura foram estimados para períodos de oito dias, permitindo comparação entre os dados de superfície e os dados obtidos por meio do satélite (BENALI et al., 2012). Na Tabela 9, é possível verificar que a temperatura da superfície, obtida pelo sensor MODIS, apresentou correlação altamente significativa com a temperatura do ar (MAEDA et al., 2011). Allen et al., (2011), utilizaram em aplicações do SEBAL e METRIC, a temperatura da superfície (Ts) de cada pixel da imagem do satélite, como um substituto para a temperatura do ar (Ta), próximo à superfície, visto que a Ta foi encontrada fortemente correlacionada à Ts.

Tabela 9 - Matriz de correlação de Pearson da temperatura da superfície (Ts), obtida do sensor MODIS- MOD11A2 (n = 74), temperatura média diária, obtida das temperaturas máxima e mínima (Txn), temperatura máxima (Tmax), temperatura obtida às 12 UTC (9 h da manhã - hora local) (T12), no cerrado- estação INMET – Padre Ricardo Remeter/ Município de Santo Antonio de Leverger/MT, no período 2008-2009.

	Ts	Txn	Tmax	T12
Ts	1,00			
Txn	0,49**	1,00		
Tmax	0,76**	0,74**	1,00	
T12	0,52**	0,93**	0,70**	1,00

O símbolo (**) indica que p-valor < 0,001 e n indica o número de dados disponíveis.

No presente estudo, a melhor correlação ($r = 0,76$) foi verificada entre a Ts e a Tmax, o que pode ser explicado pelo horário da passagem do satélite Terra/MODIS (10:30 hs.) próximo ao pico diário da energia radiante (MILDREXLER et al., 2011).

Ao comparar a variação estacional da Ts, foi possível verificar que na estação seca, o índice de concordância “d” de Willmott et al. (1985), que mediu a exatidão dos valores estimados (Ts MODIS), em comparação aos dados medidos no abrigo meteorológico, revelou que os valores apresentaram exatidão ($d = 0,86$) e a correlação entre os dados melhorou sobremaneira ($r = 0,82$), quando comparada com a obtida para todos os dados do período estudado. Quanto ao coeficiente de confiança, os dados, segundo o índice “c” (0,71) de Camargo & Sentelhas (1997), revelaram bom desempenho (JOHANN et al., 2012). Contudo, para a estação chuvosa, ($c = 0,45$), os dados revelaram um desempenho sofrível.

4.3.2 Temperatura da superfície obtida pelo satélite de alta resolução - LANDSAT

A temperatura da superfície foi determinada utilizando-se a Equação 19 e os dados das imagens Landsat –TM5, para toda a região de estudo contida na cena definida pela órbita 226 e pontos 71 e 72. Foram gerados mapas para as datas com imagens disponíveis para o ano de 2009 e verificou-se que não houve precipitação nos dias que precederam o imageamento, o que poderia alterar os valores estimados. A Ts variou de 12,94 °C a 39,36 °C no cerrado e 13,89 °C a 38,02 °C no cambarazal. Na Figura 27, é possível verificar a variabilidade espacial e temporal da Ts em datas representativas do período chuvoso (16/04/2009) e do período seco (07/09/2009).

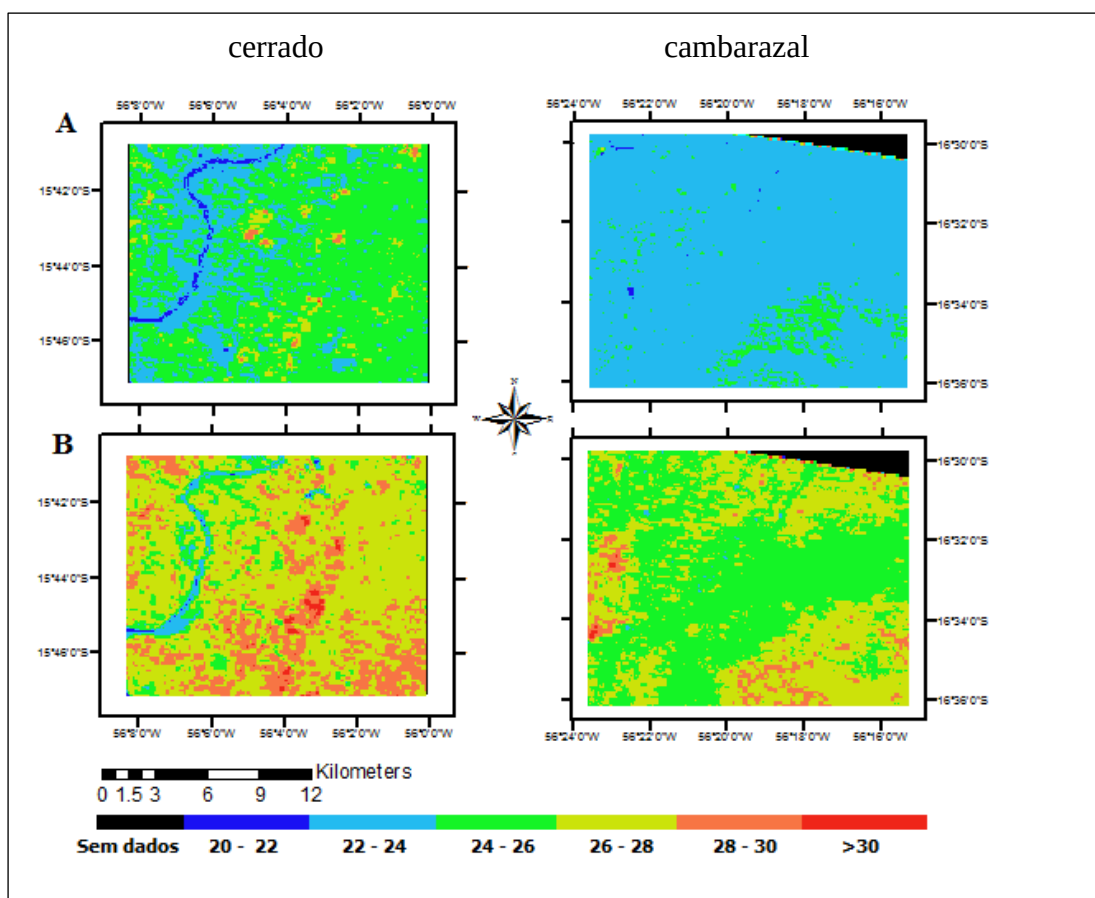


Figura 27 – Mapas de Temperatura da Superfície (°C) para as datas de 16/04/2009 (A) e 07/09/2009 (B), no cerrado (Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Laverger / MT) e no cambarazal (RPPN – Sesc Pantanal – Município de Barão de Melgaço / MT).

A Ts está relacionada com o tipo de cobertura da superfície. O solo nú ou com vegetação esparsa, apresenta maiores temperaturas quando comparadas a superfícies de corpos d'água ou vegetação em boas condições hídricas.

Ao observar os histogramas de frequência das imagens da Ts (Figura 28), é possível verificar a sazonalidade da Ts nas áreas estudadas.

O Cambarazal apresenta os menores coeficientes de variação (CV) para a Ts. No período chuvoso o CV é igual a 2,7 % e no período seco é de 4,4%, o que está de acordo com a maior densidade da vegetação no cambarazal, quando comparada com o cerrado (Tabela 10). Solos sem cobertura ou com cobertura esparsa ficam sujeitos a grandes variações térmicas diárias nas camadas superficiais. A cobertura com

vegetação modifica o balanço de radiação e de energia, pois intercepta a radiação solar, impedindo que esta atinja o solo.

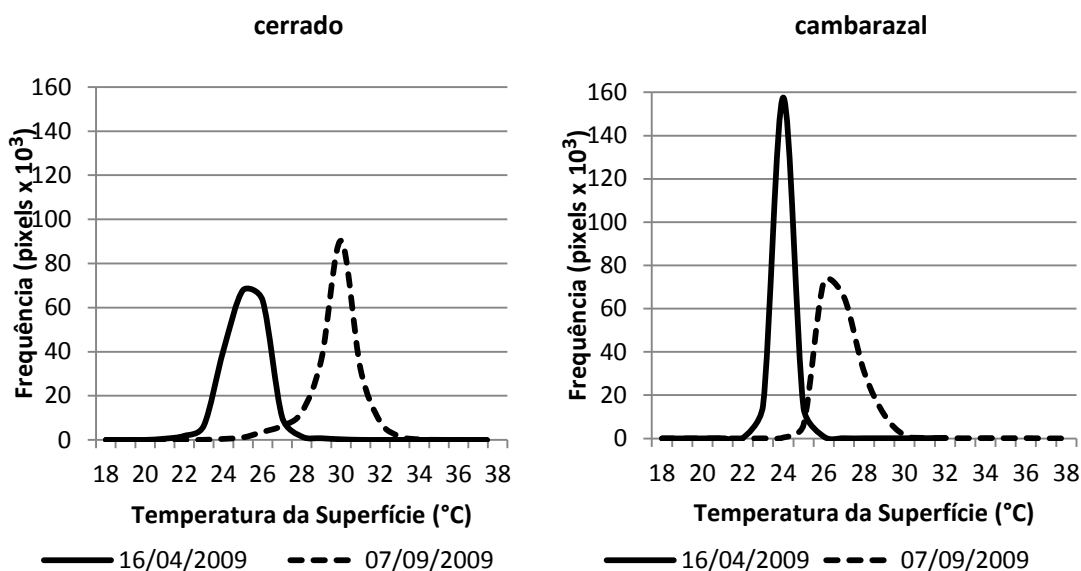


Figura 28 – Histograma da Temperatura da Superfície (Ts), no Cerrado e no Cambarazal, referente às imagens de 16/04/2009 (estação chuvosa) e 07/09/2009 (estação seca).

Rodrigues et al. (2009), estudaram a sazonalidade de variáveis biofísicas na bacia do Rio Trussu – semiárido cearense, por meio de imagens Landsat 7 TM+. Estes autores verificaram que a Ts variou de 19,82 °C a 39 °C em 2000 e de 23 °C a 37,62 °C em 2001. Eles associaram a variação da Ts à quantidade de energia disponível sob a forma de calor sensível e a possível atuação de agentes redutores da temperatura, como a umidade do ar e do solo.

Di Pace et al. (2008), utilizando imagens orbitais do Landsat 5 para o nordeste brasileiro, verificaram que a temperatura da superfície de uma área irrigada, variou entre 24,5 e 27,1 °C e de outra com solo exposto, na mesma região, variou entre 31,5 e 35,9 °C. Ming et al. (2006) ao comparar a Ts de diferentes coberturas do solo, verificaram que os menores valores foram encontrados para corpos d'água, seguidos por florestas, pastagens e áreas agrícolas, culminando com valores mais elevados encontrados nas áreas urbanas.

Ao comparar os dados instantâneos (Tabela 10), obtidos pelo imageamento, é possível verificar que no cambarazal a Ts, ao longo do ano, é menor que a Ts no

cerrado (3,2 °C em média), o que pode ser explicado pelos maiores índices de vegetação obtidos para o cambarazal e a maior disponibilidade de água no solo, proporcionada pelo pulso de inundação característico na região, e pelo acesso do sistema radicular à água disponível em camadas mais profundas do solo, já que o cambarazal, predominante na paisagem da RPPN- Sesc Pantanal, caracteriza um estande florestal (HASENACK et al., 2003; ARIEIRA & NUNES DA CUNHA, 2006).

Tabela 10 – Valores instantâneos dos parâmetros biofísicos estimados por meio das medidas radiométricas obtidas dos sensores orbitais à bordo do Satélite Landsat-TM5, no Cerrado e no Cambarazal, em 2009.

DATAS						
cerrado	10/01	16/04	03/06	06/08	07/09	09/10
IAF	1,19	1,32	0,94	0,52	0,34	0,55
EVI	0,49	0,50	0,42	0,29	0,24	0,32
NDVI	0,58	0,62	0,53	0,40	0,30	0,39
TS	16,84	24,08	19,22	29,88	29,93	30,30
cambarazal						
IAF	1,36	1,30	1,56	1,00	1,51	3,52
EVI	0,53	0,48	0,54	0,44	0,60	0,78
NDVI	0,62	0,64	0,68	0,56	0,64	0,78
TS	15,86	23,65	16,76	24,60	25,79	24,12

4.4 ÍNDICE DE SECA VEGETAÇÃO-TEMPERATURA (TVDI)

Foram gerados mapas dos parâmetros biofísicos (índice de vegetação e temperatura da superfície), buscando exemplificar sua aplicabilidade no monitoramento do status da umidade do solo por meio do TVDI. Os mapas de Ts e NDVI gerados a partir dos dados das imagens do Landsat-TM5 foram utilizados para extrair os dados de cada pixel das imagens utilizadas para a região de estudo. Na Tabela 11, é possível verificar as equações que representam os lados do triângulo proposto por Sandholt et al. (2002), cujo espaço bidimensional (Figura 28) permite estimar o TVDI. A base do triângulo foi assumida como constante e corresponde à temperatura mínima verificada (wet edge) e a hipotenusa (dry edge) foi representada

pela equação da curva que melhor se ajustou aos dados máximos de temperatura para cada valor de NDVI.

Tabela 11 – Temperatura mínima da superfície (Ts) e Equações da Temperatura máxima da superfície (Tsmáx), obtidas das imagens do satélite Landsat-TM5, em 2009, nas áreas experimentais: Cerrado (Fazenda Miranda) e Cambarazal (RPPN-Sesc Pantanal), em MT.

cerrado			
Data	Temp. Mín. (°C)	Temp. Máx. (°C)	r ²
10/01	13,41	$y = -401,43x^4 + 697,47x^3 - 422,73x^2 + 102,32x + 15,396$	0,8197
16/04	20,77	$y = -65,115x^4 + 132,88x^3 - 119,53x^2 + 46,742x + 23,314$	0,8344
03/06	12,94	$y = -127,14x^4 + 206,37x^3 - 140,61x^2 + 44,921x + 20,721$	0,8751
06/08	22,98	$y = -308,2x^4 + 507,02x^3 - 314,34x^2 + 81,612x + 29,523$	0,8467
07/09	22,98	$y = -210,66x^4 + 385,94x^3 - 267,34x^2 + 73,395x + 26,586$	0,9179
09/10	22,10	$y = -192,19x^4 + 343,14x^3 - 238,11x^2 + 69,785x + 29,165$	0,8727
cambarazal			
Data	Temp. Mín. (°C)	Temp. Máx. (°C)	r ²
10/01	13,89	$y = -27,766x^3 + 14,738x^2 + 7,2691x + 15,419$	0,7955
16/04	20,19	$y = -38,358x^4 + 46,892x^3 - 23,961x^2 + 10,682x + 22,228$	0,7504
03/06	14,83	$y = -9,9777x^3 - 0,8037x^2 + 7,8998x + 17,378$	0,7845
06/08	21,67	$y = -23,423x^3 + 2,7709x^2 + 13,544x + 22,838$	0,8402
07/09	23,42	$y = -65,205x^3 + 44,879x^2 + 3,3677x + 26,585$	0,8942
09/10	23,42	$y = -66,245x^3 + 46,076x^2 + 3,1092x + 26,567$	0,8925

Na Figura 29, é possível verificar a ocorrência de saturação quando o NDVI aproxima de valores em torno de 0,8. Esta constatação também foi verificada por Asrar et al. (1984) e Wang et al. (2005), onde, para a região de estudo, o NDVI pareceu perder sensibilidade à detecção de variações no aumento da biomassa vegetal a partir de uma determinada fase de crescimento das plantas. Huete et al. (2002), em área da floresta amazônica, encontraram elevados valores de NDVI (0,85) que se estabilizaram apesar do aumento do IAF.

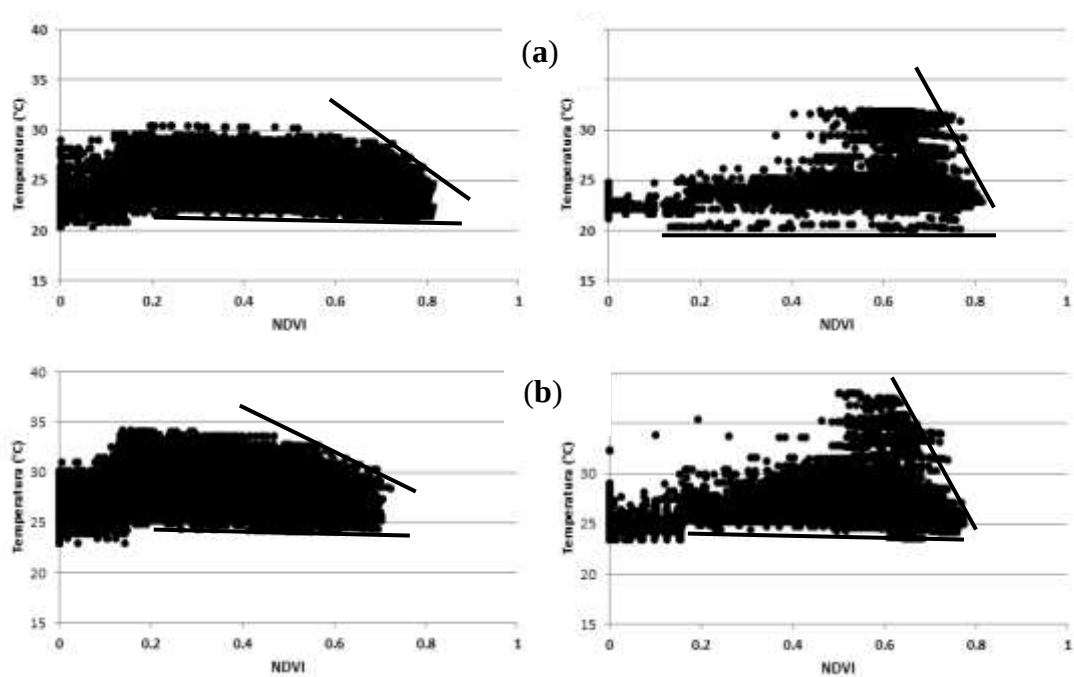


Figura 29 – Espaço definido pela temperatura da superfície (T_s) e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), no Cerrado (esq.) e Cambarazal (dir.) em: (a) 16/04/2009 e (b) 07/09/2009.

O TVDI foi estimado pela Equação 20 para cada data de imageamento. Os mapas temáticos representativos da variação espacial e temporal do TVDI foram produzidos para o cerrado, na Fazenda Miranda (Figura 30).

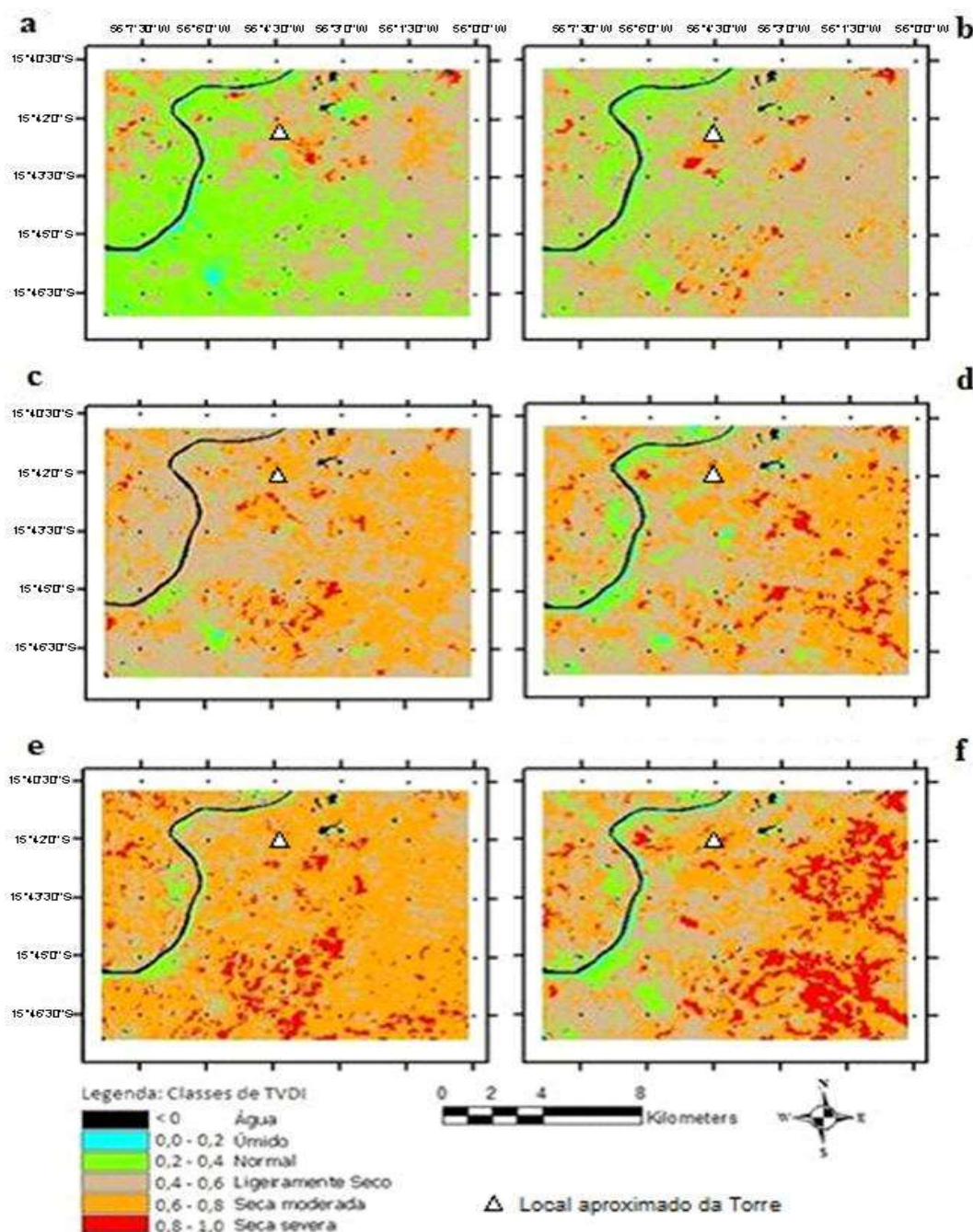


Figura 30 – Mapa da variabilidade do índice de umidade (TVDI) na região da Fazenda Miranda – Santo Antonio de Leverger/MT, em : (a) 10/01/09, (b) 16/04/2009, (c) 03/06/2009, (d) 06/08/2009, (e) 07/09/2009, (f) 09/10/2009.

Na Tabela 12, estão os valores do TVDI estimados, para o momento da passagem do satélite, sobre os locais onde estão localizadas as torres micrometeorológicas no cerrado e no cambarazal. Nessa Tabela, é possível verificar a variação sazonal do TVDI na região da torre no cerrado considerando a classificação de Wang et al. (2004). O período de Abril a Outubro foi levemente seco, sendo que apenas o TVDI de setembro recebeu a classificação de seca moderada. É possível observar ainda que há mais períodos secos (levemente ou moderado) para a região da torre no cerrado do que no cambarazal. Contudo, o TVDI médio revelou que o ano de 2009 foi levemente seco.

Tabela 12 – Valores instantâneos do TVDI, estimados por meio de medidas radiométricas obtidas dos sensores orbitais à bordo do Satélite Landsat-TM5, em 2009, nas áreas experimentais: Cerrado (Fazenda Miranda) e Cambarazal (RPPN-Sesc Pantanal), em MT.

		DATAS					
TVDI		10/01	16/04	03/06	06/08	07/09	09/10
cerrado		0,35	0,43	0,49	0,51	0,68	0,59
cambarazal		0,39	0,65	0,44	0,53	0,36	0,3

4.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

Para analisar o desempenho da evapotranspiração real estimada pelo sensor MODIS, foram observados os valores contidos em uma janela de 3x3 pixels, tendo no pixel central, o local da torre micrometeorológica (MU et al., 2007). Como as medidas na torre são locais e sua abrangência está completamente contida em 1 pixel (1 km^2) do MOD16A2, então foram utilizadas médias dos outros pixels da janela, somente quando o pixel central não passou no controle de qualidade (QC) (RUHOFF et al., 2012; KIM et al., 2012). Na Figura 31, é possível verificar o comportamento da evapotranspiração real estimada pelo sensor MODIS para o cerrado e cambarazal. A evapotranspiração apresentou um padrão sazonal bem definido, no qual os máximos ocorrem na estação chuvosa, enquanto os mínimos ocorrem na estação seca. Dessa forma, os dados estimados pelo sensor MODIS representaram de maneira eficiente a sazonalidade (RUHOFF et al., 2012). Os dados de evapotranspiração real revelaram que o consumo hídrico médio anual do cambarazal foi 66 % superior ao do cerrado. O cambarazal evapotranspirou, em média, 1161 mm ano^{-1} , enquanto o cerrado 698 mm ano^{-1} . Esses dados estão de acordo com trabalho de Mu et al. (2011), que encontraram um valor médio anual de $1180,16 \text{ mm ano}^{-1}$, para floresta (evergreen broadleaf forest) e $749,52 \text{ mm ano}^{-1}$, para cerrado (woody savanna). A evapotranspiração real média, foi de $25,2 \pm 10,7 \text{ mm } 8\text{dia}^{-1}$ no cambarazal, enquanto que no cerrado foi de $15,2 \pm 8,2 \text{ mm } 8\text{dia}^{-1}$, para todo o período de estudo. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Ruhoff (2011), onde a evapotranspiração diária foi igual a $1,95 \text{ mm dia}^{-1}$ e $3,07 \text{ mm dia}^{-1}$, para região de cerrado e floresta, respectivamente.

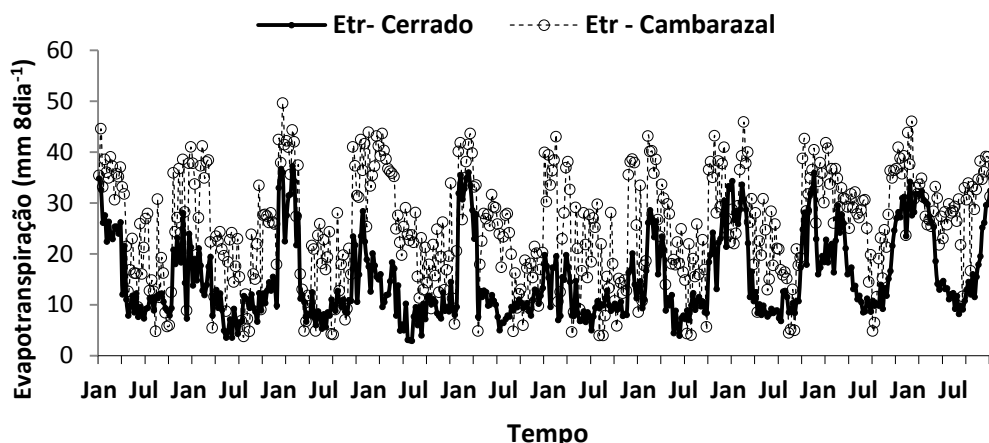


Figura 31 – Dinâmica da Evapotranspiração real medida pelo sensor MODIS, a intervalos de 8 dias, no: (—) Cerrado, Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no (---) Cambarazal, RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009.

Com os dados de evapotranspiração real, medidos no cerrado e no cambarazal, em 2009, pelo método da razão de Bowen, foi possível verificar que o cambarazal evapotranspirou a taxas superiores às praticadas pelo cerrado. Comparando o consumo hídrico no período, o cambarazal consumiu 23,3 % a mais que o cerrado (Figura 32). A superioridade das taxas evapotranspirativas do cambarazal foram, então, confirmadas tanto pelas estimativas do sensor MODIS quanto pelas medidas de superfície, pelo método da razão de Bowen.

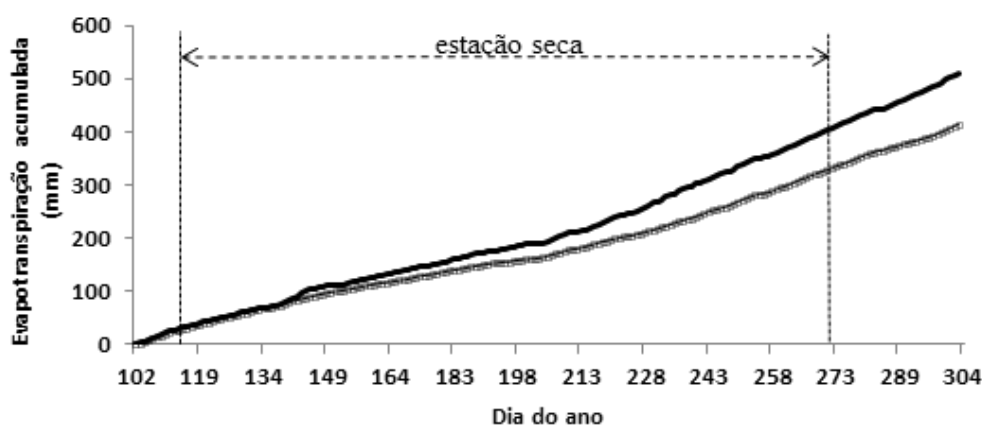


Figura 32 – Evolução da evapotranspiração real diária acumulada, estimada pelo método da razão de Bowen, com dados obtidos na torre micrometeorológica: no cerrado (---), da fazenda Miranda / Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no pantanal (—), da RPPN – Sesc Pantanal / Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 12/04/2009 a 1/11/2009.

Na Tabela 13, é possível verificar o resultado da comparação entre a evapotranspiração real diária estimada pelo sensor MODIS e pelo método da razão de Bowen. No cerrado, os dados de evapotranspiração real medidos em superfície explicaram 64 % dos obtidos pelo satélite, enquanto no cambarazal, apesar de estatisticamente significativo, apenas 37 % pode ser explicado, indicando a existência de outras variáveis controlando o processo evapotranspirativo (Tabela 14). Os resultados obtidos por Velpuri et al. (2013), concordam com os da presente pesquisa, pois ao validar a evapotranspiração estimada pelo sensor MODIS com a medida pelo método das correlações turbulentas, obtiveram melhor correlação para áreas de cerrado ($r^2 = 0,71$) do que para áreas de floresta ($r^2 = 0,56$).

A variabilidade da evapotranspiração real, estimada pelo sensor MODIS no cerrado e no cambarazal, apresentou o mesmo padrão sazonal da evapotranspiração observada pelo método da razão de Bowen. Corroborando com os resultados obtidos na presente pesquisa, Ruhoff (2011), ao comparar a ETr MODIS com a ETr medida por sistema de eddy covariance, também verificou comportamento sazonal da evapotranspiração, em área de cerrado.

Tabela 13 - Estatísticas de comparação entre a evapotranspiração real diária estimada pelo sensor MODIS e pelo método da razão de Bowen.

		cerrado (n=232)	cambarazal (n=816)
Coef. de determinação (r^2)		0,64 (P<0,001)	0,37 (P<0,001)
MAE (mm dia ⁻¹)		0,7	1,0
RMSE (mm dia ⁻¹)		0,6	1,1
Média±desvio (mm dia ⁻¹)	Etr MODIS	2,2±0,9	3,7±0,9
	Etr Bowen	2,0±0,6	3,5±1,0

Na Tabela 14, é possível verificar que, das variáveis que se correlacionaram significativamente com a ETr, o NDVI e a Tmed correlacionaram-se com a ETr, apenas para o cerrado. É possível que a densidade da vegetação e o dossel contínuo do cambarazal expliquem essa constatação. É preciso considerar a ocorrência (já discutida anteriormente) de saturação no NDVI para estantes florestais. Por outro lado, o EVI foi o índice de vegetação que melhor se correlacionou com a ETr tanto

para o cerrado quanto para o cambarazal, justamente por ser mais sensível a estrutura do dossel do que o NDVI.

A relação entre ETr e as variáveis meteorológicas (Tabela 14) estão de acordo com Ruhoff et al. (2009), que ao estudar a evapotranspiração, concluíram que esse processo sofre influência de três componentes que explicam mais de 70% da variância dos dados: a radiação solar, a precipitação e a umidade do solo e da vegetação. Costa et al. (2010), consideraram a disponibilidade de energia, caracterizada pela radiação líquida (R_n), o déficit de pressão de vapor e a rugosidade da superfície vegetada como principais controladores do processo evapotranspirativo em florestas tropicais. No presente trabalho, tanto no cerrado quanto no cambarazal, a umidade relativa do ar, a radiação líquida, a precipitação e a temperatura mínima parecem exercer forte controle da evapotranspiração.

Kim et al. (2012), afirmam que para várias espécies vegetais a condutância estomática é controlada pelo déficit de pressão de vapor e pela temperatura mínima. Da Rocha et al. (2009), encontraram padrão sazonal da evapotranspiração, no cerrado, com médias estacionais de $2,8 \text{ mm dia}^{-1}$ (estação chuvosa) e $1,3 \text{ mm dia}^{-1}$ (estação seca), e correlação positiva com a radiação líquida e precipitação.

Na Tabela 15, é possível verificar exemplos de relação entre variáveis estimadas por satélite e medidas em superfície, na tentativa de estabelecer conexão entre o presente trabalho e os trabalhos de pesquisadores em outras áreas e tipo de vegetação.

Tabela 14 - Matriz de correlação de Pearson, para intervalos de 16 dias, da evapotranspiração real (**ETr**), precipitação (**P**), nível do rio Cuiabá (**Cota**), índice de vegetação extendido (**EVI**), índice de vegetação da diferença normalizada (**NDVI**), saldo de radiação (**Rn**), temperatura média (**Tmed**), temperatura máxima (**Tmax**), e temperatura mínima (**Tmin**), no Cambarazal (RPPN – Sesc Pantanal/Barão de Melgaço-MT) e no Cerrado (Fazenda Experimental da UFMT/ Santo Antonio de Leverger-MT), para período de 2000 a 2009. O símbolo (*) indica que p-valor < 0,05, (**) indica que p-valor < 0,01, (***) indica que p-valor < 0,001 e ^{ns} indica não significativo (p-valor > 0,05). Etr, EVI, NDVI e P foram estimados por satélite; Rn, Tmed, Tmax, Tmin foram observados em superfície.

cambarazal										
	ETr	P	Cota	EVI	NDVI	Rn	Tmed	UR	Tmax	Tmin
ETr	1,00									
P	0,59***	1,00								
Cota	0,38**	0,27*	1,00							
EVI	0,22*	0,34**	-0,38**	1,00						
NDVI	0,08 ^{ns}	0,39***	0,006 ^{ns}	0,29*	1,00					
Rn	0,62***	0,50***	0,23*	0,49***	0,28*	1,00				
Tmed	0,21 ^{ns}	0,22*	-0,02 ^{ns}	0,38**	0,35**	0,63***	1,00			
UR	0,65***	0,62***	0,68***	-0,04 ^{ns}	0,24*	0,29*	0,16 ^{ns}	1,00		
Tmax	-0,07 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,36**	0,44***	0,16 ^{ns}	0,49***	0,86***	-0,49***	1,00	
Tmin	0,51***	0,52***	0,38**	0,30*	0,47***	0,68***	0,84***	0,36**	0,49***	1,00
cerrado										
	ETr	P	Cota	EVI	NDVI	Rn	Tmed	UR	Tmax	Tmin
ETr	1,00									
P	0,65***	1,00								
Cota	0,53***	0,50***	1,00							
EVI	0,59***	0,54***	0,40***	1,00						
NDVI	0,58***	0,63***	0,45***	0,82***	1,00					
Rn	0,61***	0,56***	0,56***	0,50***	0,55***	1,00				
Tmed	0,40***	0,48***	0,30**	0,49***	0,37**	0,70***	1,00			
UR	0,68***	0,60***	0,46***	0,63***	0,79***	0,29**	0,02 ^{ns}	1,00		
Tmax	-0,14 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,24*	0,34**	0,70***	-0,62***	1,00	
Tmin	0,63***	0,69***	0,46***	0,72***	0,68***	0,72***	0,88***	0,46***	0,31**	1,00

Tabela 15 – Exemplos de relação entre variáveis (evapotranspiração real (ETr), precipitação (P) e índices de vegetação (EVI, NDVI), estimadas por satélite; radiação líquida (Rn), temperatura média (Tmed), temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin), medidas em superfície) obtidas em outras áreas de estudo.

Relação	Local	Vegetação	Correlação r	Referência
ETr x P	USA	grama	0,66	Glenn et al.,2008
ETr x EVI	USA	riparian	0,83	Nagler et al., 2007
	USA	grama	0,82	Glenn et a.,2008
ETr x NDVI	USA	saltcedar	0,52	
	USA	riparian	0,72	Nagler et al., 2007
ETr x Rn	USA	saltcedar	0,36	Nagler et al., 2005
	USA	cottonwood	0,55	
	USA	pastagem	0,8	Wang et al., 2007
	Brasil	cerrado	0,93	Ruhoff et al., 2012
	Brasil	cana-de-açúcar	0,92	
ETr x Tmed	USA	pastagem	0,67	Wang et al., 2007
	Brasil	floresta latifoliada	0,51 - 0,75	Ruhoff , 2011
	Brasil	cerrado	0,64	
ETr x Tmax	USA	pastagem	0,66	Wang et al., 2007
	USA	saltcedar	0,82	Glenn et al., 2008
ETr x Tmin	Brasil	floresta latifoliada	0,10 - 0,22	Ruhoff , 2011
	Brasil	cerrado	0,72	
P x EVI	Brasil	floresta	0,03	Becerra et al., 2009
	Brasil	cerradão	0,86	
	Brasil	cerrado stricto sensu	0,56	
	Brasil	agricultura	0,74	
P x NDVI	África	floresta	0,23 - 0,42	Onema et al., 2009
EVI x NDVI	USA	grama/arbustiva	0,87 - 0,91	Schnur et al., 2010
	México	floresta	0,90	Glenn et al.,2010

Na Figura 33, é possível verificar o consumo hídrico do cambarazal e do cerrado por meio da observação do comportamento da evapotranspiração real total anual e da precipitação total anual. O cambarazal evapotranspira sempre a taxas elevadas, podendo chegar ao limite do total anual precipitado.

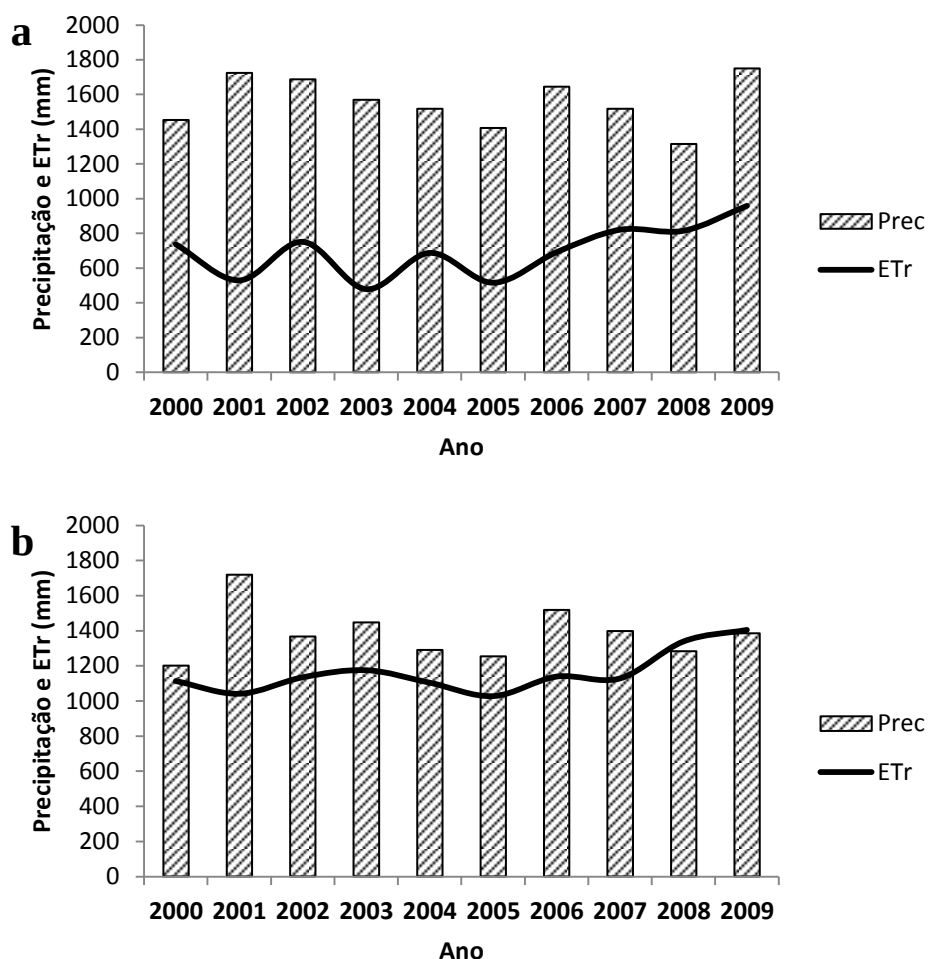


Figura 33 – Precipitação total anual estimada pelo satélite TRMM (▨) e Evapotranspiração real (ETr) total anual estimada pelo sensor MODIS (—), no: (a) Cerrado - Fazenda Miranda/MT (b) Cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal/MT, no período de 2000 a 2009.

Os resultados apresentados na Figura 34 permitem verificar o comportamento sazonal da evapotranspiração real, estimada pelo sensor MODIS, no cerrado e no cambarazal. Para as médias em cada estação e seus respectivos intervalos de confiança ($p < 0,001$), é possível verificar diferença estatística entre as taxas de evapotranspiração para o período de 2000 a 2009. O cerrado revelou sazonalidade da

evapotranspiração real quanto às estações úmida e seca em todos os 10 anos estudados. É possível verificar, ainda, que o comportamento da evapotranspiração no cambarazal apresentou sazonalidade apenas nos anos de 2008 e 2009, não havendo diferença estatística para os outros anos da série, o que demonstra que o cambarazal se adaptou de tal forma ao ambiente da RPPN-Sesc Pantanal, que consegue acessar água em camadas mais profundas do solo (VOURLITIS et al., 2011; DALMAGRO, 2012). Sanches et al. (2011), verificaram sazonalidade na evapotranspiração em 2007, medida a partir de dados micrometeorológicos, utilizando o método da Razão de Bowen, para a mesma região do cambarazal da RPPN-Sesc Pantanal. Esses autores encontraram valores para a evapotranspiração que variaram de $4,1 \pm 1,2 \text{ mm dia}^{-1}$, na estação úmida a $2,5 \pm 0,9 \text{ mm dia}^{-1}$, na estação seca, com média anual de $3,3 \pm 1,3 \text{ mm dia}^{-1}$.

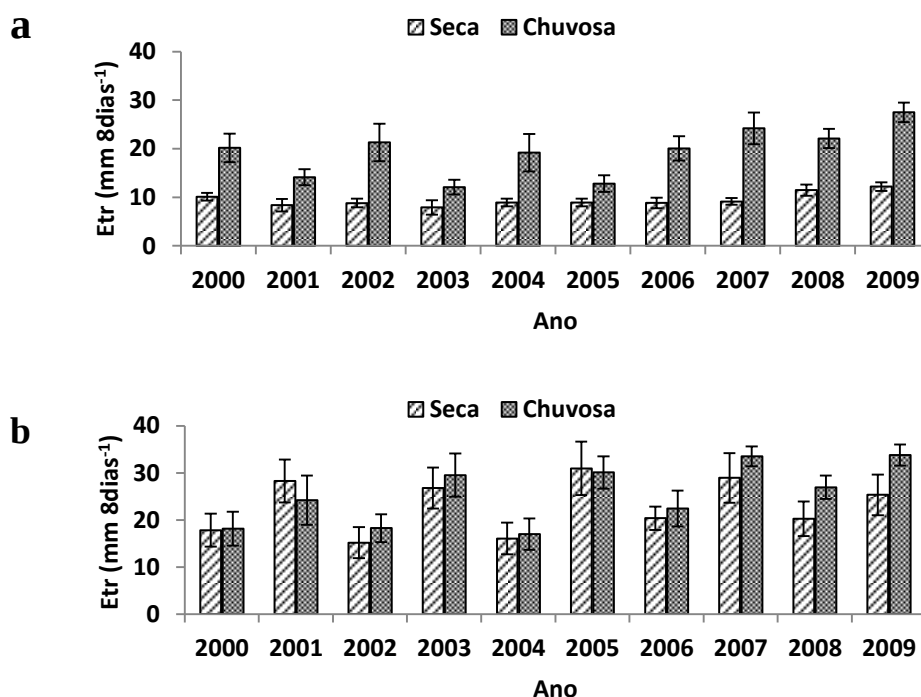


Figura 34 - Sazonalidade da Evapotranspiração real média no período de 2000 a 2009, no: (a) Cerrado - Fazenda Miranda/MT (b) Cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal/MT.

Segundo Granger & Gray (1989) a evaporação relativa (FET) pode ser utilizada em estudos ambientais como indicador alternativo de déficit hídrico. A FET, no presente trabalho, foi estimada pixel a pixel a partir dos dados de evapotranspiração, disponíveis no produto MODIS MOD16A2. Na Figura 35, é possível verificar o comportamento da FET estimada para o cerrado e cambarazal. Ao analisar a variação interanual da FET no período entre 2000 e 2009, é possível verificar que a FET de um dado ano é diferente significativamente da FET do ano anterior. No cambarazal a FET sempre apresentou maiores valores do que no cerrado, indicando estar o cambarazal em local mais úmido. É possível reconhecer um padrão de aumento, praticamente linear, da umidade do solo para o cerrado, a partir de 2005, ano reconhecidamente seco na Amazônia legal (SAMANTA et al., 2010). A média anual da FET para o período entre 2000 e 2004 foi de $0,43 \pm 0,07$ e $0,16 \pm 0,03$, para cambarazal e cerrado, respectivamente; e para o período de 2005 a 2009 foi de $0,60 \pm 0,06$ e $0,25 \pm 0,09$, para o cambarazal e cerrado, respectivamente. Considerando esses períodos, o de 2005-2009 apresentou um aumento médio em torno de 39 % na disponibilidade de água no solo para o cambarazal e de 52 % para o cerrado, em relação a 2000-2004.

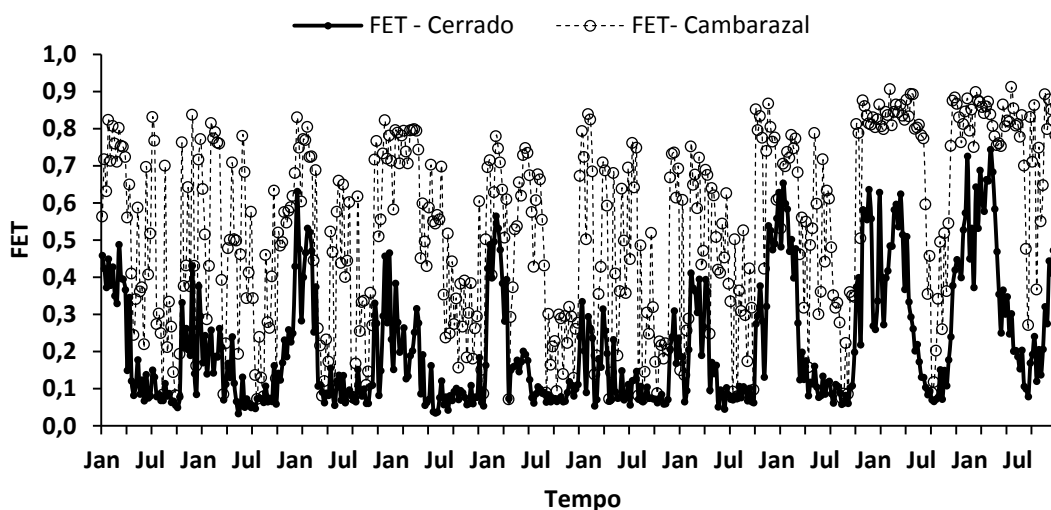


Figura 35 - Dinâmica Evaporação relativa (FET) estimada pelo sensor MODIS, a intervalos de 8 dias, no (—) Cerrado, Fazenda Miranda – Município de Santo Antonio de Leverger/MT e no (---○---) Cambarazal, RPPN – SESC Pantanal – Município de Barão de Melgaço/MT, no período de 2000 a 2009.

Os resultados apresentados na Figura 36 permitem verificar o comportamento sazonal da FET, estimada pelo sensor MODIS, no cerrado e no cambarazal. Para as médias em cada estação e seus respectivos intervalos de confiança ($p < 0,001$), é possível verificar diferença estatística entre as taxas de FET para o período de 2000 a 2009. O cerrado revelou sazonalidade da FET quanto às estações úmida e seca em todos os 10 anos estudados. É possível verificar, ainda, que o comportamento da FET no cambarazal apresentou sazonalidade apenas nos anos de 2007, 2008 e 2009, não havendo diferença estatística para os outros anos da série.

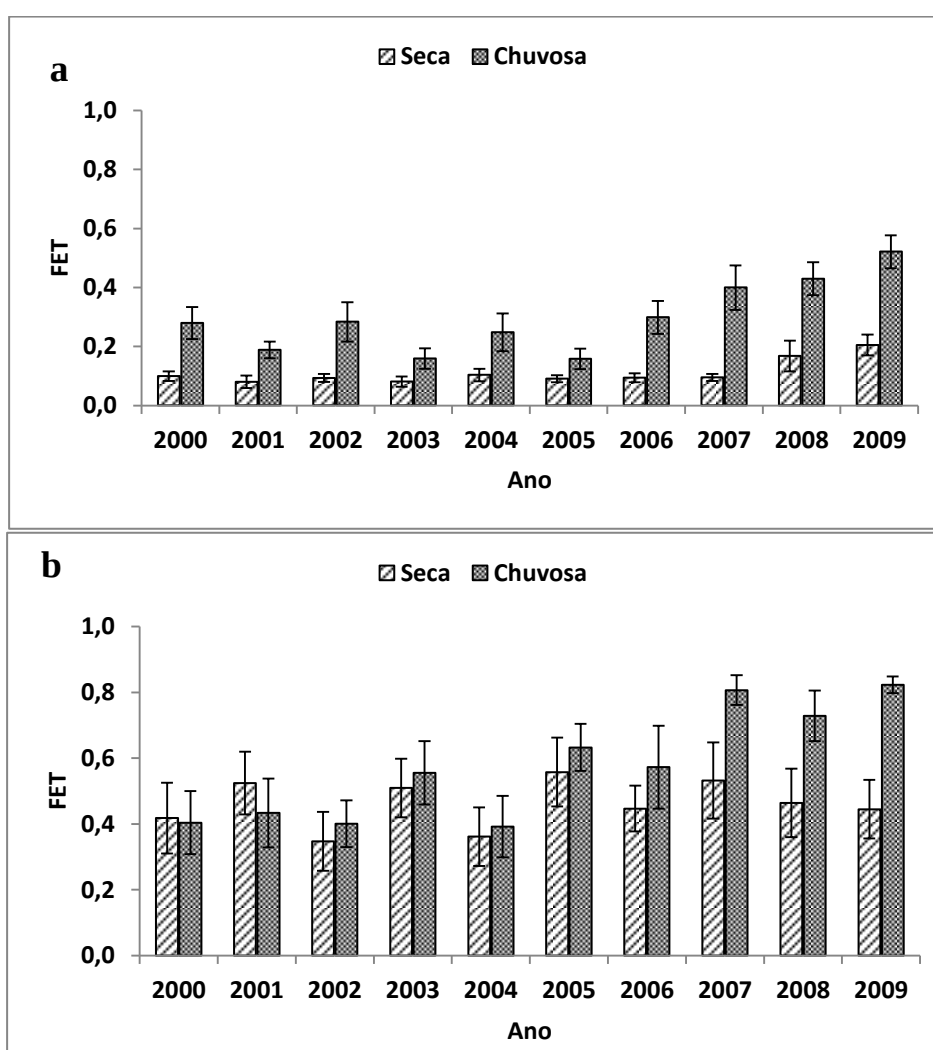


Figura 36 - Sazonalidade da FET - Fração entre Evapotranspiração real média e Evapotranspiração Potencial média no período de 2000 a 2009, no: (a) Cerrado - Fazenda Miranda/MT (b) Cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal/MT.

Considerando que o valor estimado da FET é um indicador da condição da umidade do solo, na Figura 37 é possível verificar que o solo do cambarazal, para o ano de 2009, teve períodos mais prolongados de boa condição hídrica do que para o ano de 2000 (GRANGER & GRAY, 1989; SCOTT et al., 2003; BEZERRA et al., 2013). Scott et al. (2003), afirmam que um valor de FET $\geq 0,8$ está geralmente associado às condições favoráveis de crescimento das culturas, sem estresse hídrico.

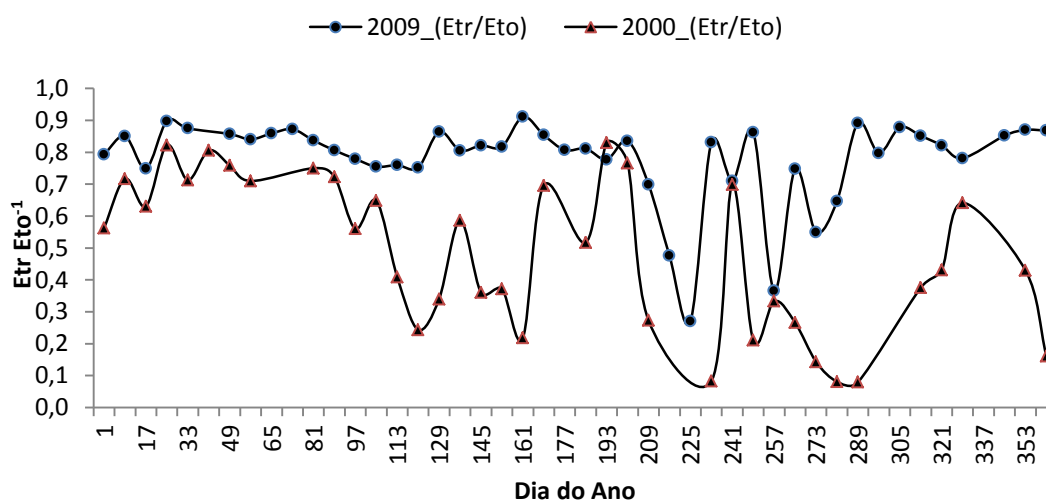


Figura 37 – Dinâmica dos valores obtidos, a cada 8 dias, da razão entre a Evapotranspiração real e a Evapotranspiração Potencial (FET), para os anos de 2000 e 2009, no Cambarazal da RPPN – Sesc Pantanal, em Barão de Melgaço/MT.

Na Figura 37, é possível verificar as boas condições hídricas do solo, visto que no período de janeiro a julho de 2009, a razão entre a Etr e a ETo teve um valor médio de $0,78 \pm 0,13$, enquanto que no mesmo período para o ano de 2000, o valor médio foi menor, pois foi de $0,48 \pm 0,23$. Esta constatação, permite associar o suprimento hídrico do cambarazal ao regime de inundação preconizado por Girard et al., (2010) e Nunes da Cunha & Junk, (2004).

Fisher et al. (2008), dimensionaram a evapotranspiração real a partir da evapotranspiração potencial, com base nas limitações ecofisiológicas (IAF, fração verde da copa, e umidade e temperatura da superfície) sem o uso de dados de campo.

5. CONCLUSÃO

O processamento das imagens do radar meteorológico TRMM e dos satélites Landsat e Terra permite determinar as diferenças de precipitação pluviométrica, de evapotranspiração e de parâmetros biofísicos de avaliação da vegetação, em áreas com Cerrado e com Cambarazal. Isto abre a possibilidade de monitorar essas áreas simultaneamente e contribuir para a determinação das causas das variações que ocorrem nos dois ambientes.

As estimativas obtidas pelo TRMM representaram adequadamente a sazonalidade da precipitação na região de estudo, revelando ser uma fonte alternativa de dados para melhor compreensão das características do regime hidrológico da região. A relação entre os dados de precipitação observados em superfície e os obtidos do satélite evidenciou boa concordância, sendo que as maiores escalas temporais foram aquelas que melhor se correlacionaram ($r=0,85$).

O uso de Índices de Vegetação estimados por meio das imagens do Satélite Landsat e pelos produtos estimados do satélite MODIS/Terra demonstrou ser aplicável na avaliação da vegetação tanto do Cerrado quanto do Cambarazal, pois, esses índices representaram de maneira eficiente a sazonalidade, as diferenças significativas nas estimativas e revelaram que o Cambarazal é mais resistente à estação seca do que o Cerrado.

O Cambarazal apresentou menores valores de temperatura da superfície do que o Cerrado, o que foi corroborado pelos maiores Índices de Vegetação obtidos para o Cambarazal e a maior disponibilidade de água no solo, indicada pelo menor TVDI.

A variabilidade da evapotranspiração real, estimada pelo sensor MODIS no Cerrado e no Cambarazal, apresentou o mesmo padrão sazonal da evapotranspiração observada pelo método da razão de Bowen, no período estudado. No Cerrado, os dados de evapotranspiração real medidos em superfície explicaram 64 % dos obtidos

pelo satélite, enquanto no Cambarazal, apesar de estatisticamente significativo, apenas 37 % pode ser explicado, indicando a existência de outras variáveis controlando o processo evapotranspirativo.

Os dados de evapotranspiração real revelaram que o consumo hídrico médio anual do Cambarazal foi 66 % superior ao do Cerrado. A evapotranspiração real média foi de $25,2 \pm 10,7 \text{ mm } 8\text{dia}^{-1}$ no Cambarazal, enquanto que no Cerrado foi de $15,2 \pm 8,2 \text{ mm } 8\text{dia}^{-1}$, para todo o período do estudo.

No Cambarazal a relação entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real apresentou, para todo o período do estudo, maiores valores do que no Cerrado, indicando que o Cambarazal está submetido a melhores condições hídricas.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem recomendar estudos complementares, que possam contribuir para o avanço do conhecimento na avaliação da vegetação, por meio de dados obtidos de satélites. Assim, recomenda-se que:

- Seja explorada a possibilidade de mapeamento dos parâmetros biofísicos estudados no presente trabalho, levando-se em consideração mapas de uso e ocupação do solo;
- Sejam utilizados dados de séries temporais do TRMM como alternativa no preenchimento de falhas, observadas nas séries de dados de precipitação pluviométrica, obtidas em estações meteorológicas;
- Seja avaliada, por meio da evapotranspiração e de parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto, a dinâmica da vegetação e a estimativa da produtividade de áreas agrícolas;
- Seja avaliada a evapotranspiração obtida por imagens de satélites de diferentes resoluções espacial e temporal, comparando-a com a obtida pelo método das correlações turbulentas;

6. BIBLIOGRAFIA

ACCIOLY, L. J.; PACHECO, A.; COSTA, T. C. C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA, M. A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.492-498, 2002.

ADAMI, M.; FREITAS, R.M. de; PADOVANI, C.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; MOREIRA, M.A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1371-1378, 2008.

ANDRADE, R.G.; SEDIYAMA, G.C.; PAZ, A.R. da; LIMA, E. de P.; FACCO, A.G. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1227-1234, 2012.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M., **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: United Nations FAO, Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land: Advanced Training and Users Manual**, version 1.0. University of Idaho, EUA, 2002. 97 p.

ALLEN, R.G.; IRMAK, A.; TREZZA, R.; HENDRICKX, J.; BASTIAANSEN, W.; KJAESGAARD, J. Satellite based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. **Journal Hydrological Processes**, v.25, p.4011-4027, 2011.

ANDRADE, R.G.; SEDIYAMA, G.C.; PAZ, A.R. da; LIMA, E. de P.; FACCO, A.G. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1227-1234, 2012.

ARIEIRA, JULIA; CUNHA, CÁTIA NUNES DA. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.20, n.3, p.569-580, 2006.

ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E. T; HATFIELD, J. L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, v.76, n.2, p.300-306, 1984.

ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley, 1989. 734p.

BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M.A. Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v.212-213, p.198-212, 1998.

BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p.87-100, 2000.

BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environmental**, v.3, n.2, p.161-73, 1991.

BECERRA, J.A.B.; SHIMABUKURO, Y.E.; ALVALÁ, R.C. dos S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, p.125-134, 2009.

BEER, T. **Applied environmetrics meteorological tables**. Applied Environmetrics. Balwyn, Australia, 1990. 56p.

BENALI, A.; CARVALHO, A.C.; NUNES, J.P.; CARVALHAIS, N.; SANTOS, A. Estimating Air Surface Temperature in Portugal using MODIS LST data. **Remote Sensing of Environment**, v.124, p.108-121, 2012.

BEZERRA, B. G.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, B. B.; PEREZ-MARIN, A. M.; BEZERRA, M. V. C.; BEZERRA, J. R. C.; RAO, T. V. R. Estimation of soil moisture in the root-zone from remote sensing data. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.596-603, 2013.

BITENCOURT, M.D.; DE MESQUITA JR, H.N.; KUNTSCHIK, G.. DA ROCHA, H.R.; FURLEY, P.A. Cerrado vegetation study using optical and radar remote sensing: two Brazilian case studies. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.33, n. 6, p.468-480, 2007.

BIUDES, M.S. **Balanço de energia em área de vegetação monodominante de Cambará e pastagem no norte do Pantanal**. Tese (doutorado). Univ. Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Pós-graduação em Agricultura Tropical, Mato Grosso, Brazil, 2008.

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

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEM, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Enviromental**, v.79, p.329-343, 2002.

BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conductions and by evaporation from any water surface. **Physical Review Serial**, v.2, n.27, p.779-787, 1926.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 7. ed. São Paulo: Atual Editora, 2011. 540p.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMPAROTTO, L. B.; BLAIN, G. C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; DE CAMARGO, M. B. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.665-671, 2013.

CAMPELO JÚNIOR, J. H. **Avaliação da capacidade de extração da água do solo pelo arroz de sequeiro (*Oriza sativa*) sob diferentes doses de nitrogênio**. Piracicaba: ESALQ, 1985. 127 p. Tese (Doutorado). ESALQ/USP, Piracicaba, 1985.

CAMPELO JÚNIOR, J. H. Duração, homogeneidade e distribuição espacial das séries de precipitação em Mato Grosso. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.137-140, 1993.

CARLSON, T. N. An Overview of the "Triangle Method" for Estimating Surface Evapotranspiration and Soil Moisture from Satellite Imagery. **Sensors**, v.7, p.1612-1629, 2007.

CARLSON, T.N.; GILLIES, R.R.; SCHMUGGE, T.J. An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.77, p.191–205, 1995.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S.; SILVA, N. C.; COUTO JUNIOR A. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n.4, p.505-517, 2008.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.59, n.1, p.93-99, 2007.

CORDEIRO, J.L.P. **Estrutura e Heterogeneidade da paisagem de uma unidade de conservação no nordeste do pantanal (RPPN SESC Pantanal), Mato Grosso, Brasil: efeitos sobre a distribuição e densidade de antas (*Tapirus terrestris*) e de Cervos-do-Pantanal (*Blastocerus dichotomus*)**. 2004. 202f. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

COSTA, M.H.; BIAJOLI, M.C.; SANCHES, L.; MALHADO, A.; HUTYRA, L.R.; DA ROCHA, H.R.; DE ARAUJO, A.C. Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian tropical rain forest evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different?. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 115, n. G04, 2010.

CUNHA, C.N.; JUNK, W.J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Applied Vegetation Science**, v.7, n.1, p.103–110, 2004.

DA ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; CABRAL, O. M.; MILLER, S. D.; GOULDEN, M. L.; SALESKA, S. R.; R.-COUPE, N.; WOFSY, S. C.; BORMA, L. S.; ARTAXO, P.; VOURLITIS, G.; NOGUEIRA, J. S.; CARDOSO, F. L.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; FREITAS, H. C.; VON RANDOW, C.; AGUIAR, R. G.; MAIA, J. F. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil, **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n.G1, 2009.

DALMOLIN, Â.C.; DALMAGRO, H.J.; LOBO, F. DE A.; ANTUNES JR.M.Z.; ORTÍZ, C.E.R.; VOURLITIS G.L. Effects of flooding and shading on growth and gas exchange of *Vochysia divergens* (Vochysiaceae) an invasive species in the Brazilian Pantanal. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.24, n.2, p.75-84, 2012.

DALMAGRO, H.J. **Capacidade fotossintética de duas espécies invasoras do Pantanal e do Cerrado**. 2012. 77f. Tese (Doutorado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

DI PACE, F. T.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R.; SILVA, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.385-392, 2008.

DIDAN, K.; HUETE, A. **MODIS vegetation index product series: collection 5 change summary**. Tucson: The University of Arizona, 2006. 17p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **FAO: Guidelines for predicting crop water requirements**. (Irrigation and Drainage Paper, 24). Roma, 1977. 179 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2. Ed. Brasília, 2006. 306p.

EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Relações entre PVI e Diferença Normalizada e Índices de Área Foliar, cobertura do Solo e a densidade de clorofila de trigo e de feijão. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6, 1990, Manaus. **Anais**. Manaus/AM: INPE/SELP, v.3, p.797 - 805.

EPIPHANIO, R.D.V.; FORMAGGIO, A.R.; RUDORFF, B.F.T.; MAEDA, E.E.; LUIZ, A.J.B. Estimating soybean crop areas using spectral-temporal surfaces derived from MODIS images in Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.1, p.72-80, 2010.

FISHER, J.B.; TU, K.P.; BALDOCCHI, D.D. Global estimates of land-atmosphere water flux based on monthly AVHRR and ISLSCP-II data, validated at 16 FLUXNET sites. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n.3, p. 901–919, 2008.

FEIDAS, H. Validation of satellite rainfall products over Greece. **Theoretical and Applied Climatology**, v.99, n.1-2, p.193-216, 2010.

FERREIRA JÚNIOR, L. G.; HUETE, A.R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, p.1837-1860, 2004.

FOKEN, T.; WIMMER, F.; MAUDER, M.; THOMAS, C.; LIEBETHAL, C. Some Aspects of the Energy Balance Closure Problem. **Atmospheric Chemistry e Physics**, v.6, p.4395-4402, 2006.

FRIEDL, A. F.; MCIVER, D. K.; HODGES, J. C. F.; ZHANG, X. Y.; UCHONEY, D.; STRAHLER, A. H.; WOODCOCK, C. E.; GOPAL, S.; SCHNEIDER, A.; COOPER, A.; BACCINI, A.; GAO, F.; SCHAAF, C. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. (Special issue) **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.287– 302, 2002.

FREITAS, R. M.; SHIMABUKURO, Y. E. Combining wavelets and linear spectral mixture model for MODIS satellite sensor timeseries analysis. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v.1, n.1, p.33-38, 2008.

GALFORD, G. L.; MUSTARD, J. F.; MELILLO, J.; GENDRIN, A.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n.2, p.576–587, 2008.

GIACOMONI, H.M. **Estimativa da evapotranspiração regional por meio de técnicas de sensoriamento remoto integradas a modelos de balanço de energia: aplicação no estado do Rio Grande do Sul**. 2005. 172f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). UFRGS, Porto Alegre, 2005.

GILLIES, R.R.; CARLSON, T.N. Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models. **Journal of Applied Meteorology**, v.34, n.4, p.745–756, 1995.

GIRARD, P.; FANTIN-CRUZ, I.; OLIVEIRA, S.M.L.; HAMILTON, S.K. Small-scale spatial variation of inundation dynamics in a floodplain of the Pantanal (Brazil). **Hydrobiologia**, v.638, n.1, 223–233, 2010.

GLENN, E.P.; HUETE, A.R.; NAGLER, P.L.; NELSON, S.G.. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. **Sensors**, v.8, n.4, p.2136-2160, 2008.

GLENN, E. P.; NAGLER, P. L.; HUETE, A. R. Vegetation index methods for estimating evapotranspiration by remote sensing. **Surveys in geophysics**, v.31, n.6, p.531-555, 2010.

GOETZ, S.J. Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at mixed grassland site. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.1, p.71–94, 1997.

GOUDRIANN, J. The bare bones of leaf-angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.43, n.2, p.155-169, 1988.

GRANGER, R. J.; GRAY, D. M. Evaporation from natural nonsaturated surfaces. **Journal of Hydrology**, v.111, n.1, p.21-29, 1989.

GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J.; LUIZ, A.J.B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil utilizando-se a análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90, 2003.

GUSSO, A.; FONTANA, D.C.; GONÇALVES, G.A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com o uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.231-237, 2007.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. **O clima da RPPN Sesc Pantanal** - Relatório Técnico. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003, 31p.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.3, p.295-309, 1988.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.195-213, 2002.

IMMERZEEL, W. W.; QUIROZ, R. A.; DE JONG, S. M. Understanding precipitation patterns and land use interaction in Tibet using harmonic analysis of SPOT VGT-S10 NDVI time series. **International Journal of Remote Sensing**, v.26, n.11, p.2281–2296, 2005.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v.11, n.1, p.185-200, 1991.

JACKSON, T. J.; CHEN, D.; COSH, M.; LI, F.; ANDERSON, M.; WALTHALL, C. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. **Remote Sensing of Environment**, v.92, n.4, p.475–482, 2004.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Trad. Epiphanyo, J.C.N. (Coord.). São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 597p.

JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; DUFT, D.G.; LAMPARELLI, R.A.C. Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1295-1306, 2012.

JUNK, W. J. Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands. **Environmental Conservation**, v.29, n.4, p.414-435, 2002.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R. E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.3-15, 2002.

KARASEVA, M.; PRAKASH, S.; GAIROLA, R. Validation of highresolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan. **Theoretical and Applied Climatology**, v.108, n.1-2, p.147-157, 2011.

KIM, H.W.; HWANG, K.; MU, Q.; LEE, O.S.; CHOI, M. Validation of MODIS 16 global terrestrial evapotranspiration products in various climates and land cover types in Asia. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v.16, n.2, p.229-238, 2012.

LEUNING, R.; ZHANG, Y.Q.; RAJAUD, A.; CLEUGH, H.; TU, K. A simple surface conductance model to estimate regional evaporation using MODIS leaf area index and the Penman-Monteith equation. **Water Resources Research**, v.44, n.10, p.W10419, 2008.

LIRA, V. M. de; SILVA, B. B. ; DANTAS NETO, J. ; AZEVEDO, C. A. V. ; FRANCO, E. S. Variação sazonal da cobertura vegetal em áreas do submédio São Francisco a partir de dados NDVI e imagens TM-LANDSAT 5. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, p.1-9, 2011.

LUCHT, W., C. B. SCHAAF, AND A. H. STRAHLER. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models, **IEEE Transaction Geoscience Remote Sensing**, v.38, n.2, p.977- 998, 2000.

MAEDA, E. E.; WIBERG, D. A.; PELLIKKA, P. K. E. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. **Applied Geography**, Amsterdam, v.31, n.1, p.251-258, 2011.

MARKHAM, B. L. & BAKER, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

MARQUES FILHO, A.O.; DALLAROSA, R.G.; PACHÊCO, V.B. Radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta – Reserva Biológica do Cuieiras – ZF2, Manaus. **Acta Amazonica**, v.35, n.4, p.427-436, 2005.

MATSUMOTO, M. H. & BITTENCOURT, M. D. Correlação Entre Algumas Fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e Classes de Índices de Vegetação Obtidos Espectralmente. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, X, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu/PR: INPE, v.21, p.1665-1672.

MILDREXLER, D. J.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests. **Journal of Geophysical Research**, v.116, n.G3, p.15, 2011.

MING, W. ; GUILING W. ; WEIMEI J. ; JINGJING L. Surface temperature analysis in urban area using MODIS. **Remote Sensing and Space Technology for Multidisciplinary Research and Applications**, v.6199, n.05, p.9, 2006.

MYNENI, R.B.; YANG, W.; NEMANI, R.R.; HUETE, A.R.; DICKINSON, R.E.; KNYAZIKHIN, Y.; SALOMONSON, V.V. Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.104, n. 12, p.4820-4823, 2007.

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. AND RUNNING, S. W. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1, p.214-231, 2002.

MONSI, M.; SAEKI, T. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften, seine Bedeutung für die Stoffproduktion. **Japanese Journal of Botany**, v.14, n.1, p.22-52, 1953.

MORSE, A.; TASUMI, M.; ALLEN, R. G. & KRAMBER, W. J. **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing** – Final Report. Idaho Department of Water Resources – University of Idaho, 2000.

MU, Q.; HEINSCH, F.A.; ZHAO, M.; RUNNING, S.W. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, n.1, p. 519-536, 2007.

MU, Q., ZHAO, M., AND RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v.115, n.8, p.1781-1800, 2011.

NAIR, S., SRINIVASAN, G., NEMANI, R. Evaluation of multi-satellite TRMM derived rainfall estimates over a Western State of India. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.87, n.6, p.927-939, 2009.

NAGLER, P.L.; SCOTT, R.L.; WESTENBURG, C.; CLEVERLY, J.R.; GLENN, E.P.; HUETE, A.R. Evapotranspiration on western US rivers estimated using the

Enhanced Vegetation Index from MODIS and data from eddy covariance and Bowen ratio flux towers. **Remote sensing of environment**, v.97, n.3, p.337-351, 2005.

NAGLER, P.L.; GLENN, E.P.; KIM, H.; EMMERICH, W.; SCOTT, R.L.; HUXMAN, T.E.; HUETE, A.R. Relationship between evapotranspiration and precipitation pulses in a semiarid rangeland estimated by moisture flux towers and MODIS vegetation indices. **Journal of Arid Environments**, v.70, n.3, p.443-462, 2007.

NEMANI, R.R., PIERCE, L., RUNNING, S.W., GOWARD, S. Developing satellite derived estimates of surface moisture status. **Journal Applied Meteorology**, v.32, n.3, p.548-557, 1993.

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W.J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Applied Vegetation Science**, v.7, n.1, p.103-110, 2004.

OLIVEIRA, L. M. T. de; FRANÇA, G. B.; NICÁCIO, R. M.; COSTA, T. C. e C. da; ANTUNES, M. A. H. Análise de comportamento das regiões fitoecológicas brasileiras através de série temporal de NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p.1765-1773.

ONEMA, J. M. K.; TAIGBENU, A. NDVI-rainfall relationship in the Semliki watershed of the equatorial Nile. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v.34, n.13, p.711-721, 2009.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia – Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Editora Agropecuária Ltda, 2002.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBANEZ, M.; ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, n.3, p.141-150, 1999.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; MARTÍNEZ-COB, A. A simple model for estimating the Bowen ratio from climatic factors for determining latent and sensible heat flux. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, n.1, p.25-37, 2008.

PETROPOULOS, G.; CARLSON, T. N.; WOOSTER, M. J.; ISLAM, S. A review of Ts/VI remote sensing based methods for the retrieval of land surface energy fluxes and soil surface moisture. **Progress in Physical Geography**, v.33, n.2, p.224-250, 2009.

PINTO-JÚNIOR, O.B.; SANCHES, L.; LOBO, F.A.; BRANDÃO, A.A.; NOGUEIRA, J.S. Leaf area index of a tropical semi-deciduous forest of the southern Amazon Basin. **International journal of biometeorology**, v.55, n.2, p.109-118, 2011.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. (Org.). **Sensoriamento Remoto: refletância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p.157-199.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**, São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed, 2007. p.111-118.

QUIROZ, R., YARLEQUE, C., POSADAS, A., MARES, V., & IMMERZEEL, W. W. Improving daily rainfall estimation from NDVI using a wavelet transform. **Environmental Modelling & Software**, v.26, n.2, p.201–209, 2011.

RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, R. D. V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p. 1317-1326, 2012.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M. de; TEIXEIRA, A. dos S.; SILVA, B. B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.452-465, 2009.

RUDORFF, C. de M.; RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M.; VIEIRA, C.A.O. Superfícies de resposta espectro-temporal de imagens do sensor MODIS para classificação de área de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.37, n.1, p.118-125, 2007.

RUHOFF, AL; JUÁREZ, RIN; FREITAS, RM; COLLISCHONN, W; ROCHA, HR. Variabilidade dos fluxos de calor sensível e latente em áreas de cerrado sensu stricto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIV, 2009, Natal. **Anais**. Natal-RN: INPE, 2009. p.4829-4836.

RUHOFF, A. **Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais**. 2011. 162f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RUHOFF, A.; PAZ, A.; COLLISCHONN, W.; ARAGAO, L.; ROCHA, H.; MALHI, Y. A MODIS-based energy balance to estimate evapotranspiration for clear-sky days in Brazilian tropical savannas. **Remote Sensing**, v.4, n.3, p.703–725, 2012.

SAMANTA, A.; GANGULY, S.; HASHIMOTO, H.; DEVADIGA, S.; VERMOTE, E.; KNYAZIKHIN, Y.; NEMAMI, R. R.; MYNENI, R. B. Amazon forests did not green-up during the 2005 drought. **Geophysical Research Letters**, v.37, n.5, p.1-5, 2010.

SANCHES, L.; VOURLITIS, G.L.; ALVES, M. de C.; PINTO-JÚNIOR, O.B.; NOGUEIRA, J. S. Seasonal patterns of evapotranspiration for a *Vochysia divergens* forest in the Brazilian Pantanal. **Wetlands**, v.31, n.6, p.1215-1225, 2011.

SANTOS, N.B.F., JUNIOR, L.G.F.; FERREIRA, N.C. Padrões de Distribuições Espaciais e Temporais de Temperaturas Associados ao Bioma Cerrado. **Mercator**, v.10, n.21, p.189-204, 2011.

SANDHOLT, I., RASMUSSEN, K., ANDERSEN, J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. **Remote Sensing of Environment**, v.79, n.2-3, p.213-224, 2002.

SAVAGE, M. J.; EVERSON, C. S.; METELERKAMP, B. R. Bowen ratio evaporation measurement in a remote montane grassland: Data integrity and fluxes. **Journal of Hydrology**, v.376, n.1, p.249-260, 2009.

SCHNUR, M. T.; XIE, H.; WANG, X. Estimating root zone soil moisture at distant sites using MODIS NDVI and EVI in a semi-arid region of southwestern USA. **Ecological Informatics**, v.5, n.5, p.400-409, 2010.

SCOTT, C.A., BASTIAANSSEN, W.G.M., AHMAD, M.D. Mapping root zone soil moisture using remotely sensed optical imagery. **ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.129, n.5, p.326-335, 2003.

SELLERS, P. J., HEISER, M. D., AND HALL, F. G. Relations between surface conductance and spectral vegetation indices at intermediate (100 mZ-15 km 2) length scales. **Journal of Geophysical Research**, v.97, n.D17, p19033-19059, 1992.

SHEN, S. & LEPTOUKH, G. G. Estimation of surface air temperature over central and eastern Eurasia from MODIS land surface temperature, **Environmental Research Letters**, v.6, n.4, p.045206, 2011.

SHIMABUKURO, Y.E.; CARVALHO, V.C.; RUDORFF, B.T.F. NOAA-AVHRR data processing for the vegetation cover. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.3, p.671-677, 1997.

SILVA, B.B.; LOPES, G.M.; AZEVEDO, P.V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

SILVA, B.B. da; BRAGA, A.C.; BRAGA, C.C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p.145-152, 2011.

SMITH, R.C.G., CHOUDHURY, B.J. Analysis of normalized difference and surface temperature observations over southeastern Australia. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n10, p.2021-2044, 1991.

SMITH M. **FAO: Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Roma, 45 p. 1991.

TANG, R.; LI, Z. L.; TANG, B. An application of the Ts–VI triangle method with enhanced edges determination for evapotranspiration estimation from MODIS data in arid and semi-arid regions: Implementation and validation. **Remote Sensing of Environment**, v.114, n.3, p.540-551, 2010.

TARIFA, J.R. **Mato Grosso: Clima: análise e representação cartográfica**. Cuiabá, MT: Entrelinhas, 2011. 102p.

TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. Tese, 378f. Departamento de engenharia biológica e agricultura, Universidade de Idaho. Idaho-USA. 2003.

TOMLINSON, C. J., CHAPMAN, L., THORNES, J. E., & BAKER, C. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review. **Meteorological Applications**, v.18, n.3, p.296-306, 2011.

VANCUTSEM, C.; CECCATO, P.; DINKU, T.; CONNOR, S. J. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa. **Remote Sensing of Environment**, v.114, n.2, p.449-465, 2010.

VELPURI, N. M.; SENAY, G. B.; SINGH, R. K.; BOHMS, S.; VERDIN, J. P. A comprehensive evaluation of two MODIS evapotranspiration products over the conterminous United States: Using point and gridded FLUXNET and water balance ET. **Remote Sensing of Environment**, v.139, n.1, p.35-49, 2013.

VERMA, S.B., ROSENBERG, N.J., BLAD, B.L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, v.17, n.3, p.330-338, 1978.

VIANA, D. R. **Comportamento espaço-temporal da precipitação na Região Sul do Brasil utilizando dados TRMM e SRTM**. 2009. 162 p. (INPE-15738-DI/1484). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

VOURLITIS, G.L.; LOBO, F.A.; BIUDES, M.S.; ORTÍZ, C.E.R.; NOGUEIRA, J.S. Spatial variations in soil chemistry and organic matter content across a *Vochysia divergens* invasion front in the Brazilian Pantanal. **Soil Science Society of America Journal**, v.75, n.4, p.1554-1561, 2011.

XIONG, X.; CHIANG, K.; SUN, J.; BARNES, W. L.; GUENTHER, B.; SALOMONSON, V. V. NASA EOS Terra and Aqua MODIS on-orbit performance. **Advances in Space Research**, v.43, n.3, p.413-422, 2009.

WAN, Z.; WANG, P.; LI, X. Using MODIS land surface temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the Southern Great Plains, USA, **International Journal of Remote Sensing**, v.25, p.61–72, 2004.

WANG, J.; RICH, P.M.; PRICE, K.P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA, **International Journal of Remote Sensing**, v.24, p.2345–2364, 2003.

WANG, C.; QI, S.; NIU, Z.; WANG, J. Evaluating soil moisture status in China using the temperature-vegetation dryness index (TVDI). **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.30, n.5, p.671–679, 2004.

WANG, Q.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J.; GRANIER, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, n.2, p.244-255, 2005.

WANG, K.; WANG, P.; LI, Z.; CRIBB, M.; SPARROW, M. A simple method to estimate actual evapotranspiration from a combination of net radiation, vegetation index, and temperature. **Journal of Geophysical Research**, v.112, n.D15, 2007.

WILLMOTT, C. J. On the Validations of Models. **Physical Geography**, Newark, p.184–194, 1981.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bullentin American Meteorological Society**, v.63, p.1309–1313, 1982.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985.

WOLF, A.; SALIENDRA, N.; AKSHALOV, K.; JOHNSON, D. A.; LACA, E. Effects of different eddy covariance correction schemes on energy balance closure and comparisons with the modified Bowen ratio system. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, n.6-7, p.942-952, 2008.

ZEILHOFER, P.; SANCHES, L.; VOURLITIS, G. L.; ANDRADE, N. L. R. Seasonal variations in litter production and its relation with MODIS vegetation indices in a semi-deciduous forest of Mato Grosso. **Remote Sensing Letters**, v.3, n.1, p.1-9, 2012.

ANEXO - Especificações das Bandas do Sensor MODIS

Uso Primário	Bandas	Largura da banda (nm)	Radiância Espectral (W/m ² .µm.sr)	Resolução Espacial (m)
Superfície terrestre, nuvens e aerossóis	1	620 - 670	21,8	250
	2	841 - 876	24,7	
Propriedades da superfície terrestre, nuvens e aerossóis	3	459 - 479	35,3	500
	4	545 - 565	29,0	
	5	1230 - 1250	5,4	
	6	1628 - 1652	7,3	
	7	2105 - 2155	1,0	
	8	405 - 420	44,9	
Cor dos Oceanos/Fitoplâncton/Bioquímica	9	438 - 448	41,9	1000
	10	483 - 493	32,1	
	11	526 - 536	27,9	
	12	546 - 556	21,0	
	13	662 - 672	9,5	
	14	673 - 683	8,7	
	15	743 - 753	10,2	
	16	862 - 877	6,2	
Vapor d'água Atmosférico	17	890 - 920	10,0	1000
	18	931 - 941	3,6	
	19	915 - 965	15,0	
Temperatura nuvens/superfície	20	3.660 - 3.840	0,45(300K)	1000
	21	3.929 - 3.989	2,38(335K)	
	22	3.929 - 3.989	0,67(300K)	
	23	4.020 - 4.080	0,79(300K)	
Temperatura atmosférica	24	4.433 - 4.498	0,17(250K)	1000
	25	4.482 - 4.549	0,59(275K)	
Nuvens Cirrus Vapor D'água	26	1.360 - 1.390	6,00	1000
	27	6.535 - 6.895	1,16(240K)	
	28	7.175 - 7.475	2,18(250K)	
Propriedades das nuvens	29	8.400 - 8.700	9,58(300K)	1000
Ozônio	30	9.580 - 9.880	3,69(250K)	1000
Temperatura nuvens/superfície	31	10.780 - 11.280	9,55(300K)	1000
	32	11.770 - 12.270	8,94(300K)	
Altitude Topo da nuvem	33	13.185 - 13.485	4,52(260K)	1000
	34	13.485 - 13.785	3,76(250K)	
	35	13.785 - 14.085	3,11(240K)	
	36	14.085 - 14.385	2,08(220K)	

Fonte: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>