

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NO
BALANÇO DE ENERGIA E INTERCÂMBIO GASOSO EM
ÁREA DE PASTAGEM NO CERRADO MATO-
GROSSENSE**

MARIO ZORTÉA ANTUNES JÚNIOR

CUIABÁ – MT
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NO
BALANÇO DE ENERGIA E INTERCÂMBIO GASOSO EM
ÁREA DE PASTAGEM NO CERRADO MATO-
GROSSENSE**

MARIO ZORTÉA ANTUNES JÚNIOR

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

CUIABÁ – MT

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NO BALANÇO DE ENERGIA E INTERCÂMBIO GASOSO EM ÁREA DE PASTAGEM NO CERRADO MATO-GROSSENSE

Autor: MARIO ZORTÉA ANTUNES JÚNIOR

Orientador: Dr. FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO

Aprovada em 18 de fevereiro de 2010.

Comissão Examinadora:

Prof. Francisco de Almeida Lobo
(FAMEV/UFMT) (Orientador)

Prof. George Louis Vourlitis
(CSUSM)

Prof. Marcelo Sacardi Biudes
(IF/UFMT)

Prof. Alan Carlos Costa
(IFGoiano/CAMPUS RIO VERDE)

Prof^a. Carmen E. Rodriguez Ortíz
(IB/UFMT)

DEDICATÓRIA

A Deus pelo amor eterno e pelo dom da vida. Aos meus pais pelo amor e exemplo de vida. Aos meus irmãos e familiares por toda a força e apoio nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

- A Deus, soberano criador da vida, dos céus e da Terra e de tudo que nela há.
- Aos meus pais, Mario Antunes Basílio e Eliane Terezinha Zortéa Antunes, pelo amor, incentivo e confiança que sempre me dedicaram.
- Aos meus irmãos, Fabrícia e André, e aos meus familiares, pelo amor e por sempre me apoiarem e incentivarem na realização deste trabalho.
- À Lílian Dias, pelo amor, carinho, atenção e companheirismo me dado durante esta caminhada.
- Ao Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo, pela orientação, apoio e ensinamentos transmitidos, pelo exemplo profissional e pela amizade.
- Aos professores Dr. George Louis Vourlitis, Dr. Marcelo Sacardi Biudes e Dr. Alan Carlos Costa pelas correções e sugestões dadas para o enriquecimento deste trabalho.
- Aos colegas de Pós-Graduação do Grupo de Ecofisiologia Vegetal, Higo, Ândrea, Isabela, Suli e à Prof^a. Dr^a. Carmen H. Rodriguez Ortíz, pela força, apoio e colaboração nas pesquisas.
- Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical pelos ensinamentos e aos colegas pelo apoio e parceria.
- Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, em especial ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, pelos trabalhos desenvolvidos e

auxílio nas pesquisas.

- À CAPES pela bolsa de pós-graduação.
- À FAPEMAT e ao INAU, pelas contribuições e auxílios nas pesquisas.
- A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NO BALANÇO DE ENERGIA E INTERCÂMBIO GASOSO EM ÁREA DE PASTAGEM NO CERRADO MATO-GROSSENSE

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo determinar o balanço de energia e correlacionar variáveis microclimáticas com o intercâmbio gasoso de duas espécies vegetais (*Vochysia divergens* e *Curatella americana*), em uma área de pastagem no Cerrado Mato-Grossense, localizada no município de Santo Antônio de Leverger, MT, distante 15 km de Cuiabá, MT. Para tal, utilizou-se de medidas de saldo de radiação, fluxo de calor no solo e gradientes de temperatura e umidade relativa do ar, fornecidas por uma torre micrometeorológica instalada na área de estudo. A partir dos dados meteorológicos e de medições do intercâmbio gasoso das duas espécies, foi determinado o balanço de energia pelo método da razão de Bowen e avaliado o grau de associação entre valores das variáveis do intercâmbio gasoso e alguns elementos do clima, para o período compreendido entre abril e dezembro de 2009. Os valores dos componentes do balanço de energia foram afetados principalmente pela variabilidade na distribuição de chuvas ao longo dos meses, sendo o saldo de radiação utilizado, em média, como 28,32% na densidade de fluxo de calor latente, 37,67% como densidade de fluxo de calor sensível e 34,00% como densidade de fluxo de calor no solo. As taxas do intercâmbio gasoso potencial de *V. divergens* foram afetadas tanto pelas condições ambientais passadas quanto pelas prevalentes na manhã das medições. De forma contrária, em nenhum momento as taxas do intercâmbio gasoso de *C. americana* apresentaram correlação significativa com as variáveis ambientais.

Palavras-chave: razão de Bowen, trocas gasosas, sazonalidade climática.

INFLUENCE OF MICROCLIMATIC VARIABLES IN THE ENERGY BALANCE AND EXCHANGE GASEOUS IN PASTURE AREA OF MATO- GROSSENSE CERRADO

ABSTRACT – This study aimed to determine the energy balance and to correlate microclimatic variables with the gas exchange of two species (*Vochysia divergens* and *Curatella americana*) in a pasture in the Cerrado of Mato Grosso, located in Santo Antonio de Leverger, MT, 15 km SSE from Cuiabá, MT. Data for net radiation, soil heat flux, and temperature and relative humidity gradients, were obtained from a micrometeorological tower installed in the study area. From the meteorological data and gas exchange measurements of the two species was possible to determine the energy balance by Bowen ratio method and the association degree between values of the gas exchange variables and some climate elements, respectively, for the period between April and December of 2009. Based on the results, it was concluded that the energy balance was affected mainly by variability in rainfall distribution over the months. On average, 28,32% of net radiation was dissipated by latent heat flux, 37,67% by sensible heat flux and 34,00% by soil heat flux. The potential gas exchange in *V. divergens* were affected by both the past environmental conditions and prevailing conditions on the morning of the measurements. Conversely, at no time were the *C. americana* gas exchange rates significantly correlated with environmental variables.

Key-words: Bowen ratio, gas exchange, climate seasonality.

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Mapa do Brasil com a localização da área de estudo em Santo Antônio de Leverger, MT, nas coordenadas geográficas 15°43'53,65" Sul e 56°04'18,88" Oeste.....	24
FIGURA 2. Pastagem no período chuvoso (A) e seco (B).....	26
FIGURA 3. Torre micrometeorológica instalada na Fazenda Miranda, em Santo Antônio de Leverger, MT.....	26
FIGURA 4. Representação dos fluxos de energia na interface entre o ar e a superfície vegetal, mostrando a convenção de sinais A - fluxo de energia advectiva para o volume de controle acima da superfície; Rn - saldo de radiação; λE e H - fluxos de calor latente e sensível; G - fluxo de calor no solo; Δe e ΔT - diferença de pressão de vapor e temperatura entre os níveis inferior (z_1) e superior (z_2), e $\partial e / \partial z$ e $\partial T / \partial z$ - gradientes de pressão de vapor e temperatura.....	31
FIGURA 5. Dinâmica temporal da radiação global incidente (Rg_i), da refletida (Rg_r) e respectivo albedo (α_{Rg}) da área de estudo para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.....	34
FIGURA 6. Dinâmica temporal da insolação (n) e da duração astronômica do dia (N) na Fazenda Miranda para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.....	36
FIGURA 7. Dinâmica temporal da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i), da refletida (PAR_r) e respectivo albedo (α_{PAR}) na área de estudo para os meses compreendidos entre abril e dezembro de 2009.....	38
FIGURA 8. Precipitação pluviométrica (ppt) mensal na área de estudo para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.....	41
FIGURA 9. Dinâmica temporal da temperatura do ar (T), da umidade relativa do ar (UR), do déficit de pressão de vapor do ar (dpv) e da velocidade dos ventos (u) na área de estudo, para os meses compreendidos no período de	

abril a dezembro de 2009.....	43
FIGURA 10. Tendência instantânea da direção dos ventos para os meses compreendidos entre abril e dezembro de 2009, na Fazenda Miranda. Onde a frequência, que varia de 0:00 h a 23:30 h, está plotada no eixo radial.	41
FIGURA 11. Frequência de rejeição dos dados para diferentes horas do dia durante o período estudado, para as alturas z_2 e z_3 , na área de pastagem da Fazenda Miranda, em Santo Antônio de Leverger, MT.....	50
FIGURA 12. Dinâmica diária dos componentes do balanço de energia na área de pastagem na Fazenda Miranda, para o período de abril a dezembro de 2009.....	56
FIGURA 13. <i>Vochysia divergens</i> (A) e <i>Curatella americana</i> (B).....	73
FIGURA 14. Médias mensais da precipitação pluviométrica (ppt , em mm), umidade relativa do ar (UR , em %), temperatura média do ar (T , em °C), radiação fotossinteticamente ativa (PAR , em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e déficit de pressão de vapor do ar (d_{pv} , em kPa) na Fazenda Miranda, para o período compreendido entre maio e dezembro de 2009.....	76
FIGURA 15. Correlação entre as variáveis microclimáticas do dia anterior à medição e a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas jovens (FJ) e adultas (FA) de <i>V. divergens</i> . Sendo que r é o coeficiente de correlação e P o erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade.	80
FIGURA 16. Correlação entre as variáveis microclimáticas da manhã anterior à medição e a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas de plantas de <i>C. americana</i> . Sendo que r é o coeficiente de correlação e P o erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade.	82
FIGURA 17. Correlação entre as variáveis microclimáticas da manhã da medição e a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas jovens (FJ) e adultas (FA) de <i>V. divergens</i> . Sendo que r é o coeficiente de correlação e P o erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade.	85
FIGURA 18. Correlação entre as variáveis microclimáticas da manhã da	

medição e a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas de plantas de *C. americana*. Sendo que r é o coeficiente de correlação e P o erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade.....88

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Médias diárias da radiação solar global incidente (R_{g_i}) e refletida (R_{g_r}) e do respectivo albedo (α_{Rg}) na Fazenda Miranda para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.....	35
TABELA 2. Médias diárias da insolação (n) na Fazenda Miranda para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.	36
TABELA 3. Médias diárias da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i) e refletida (PAR_r) e respectivo albedo (α_{PAR}) na área de estudo para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.....	39
TABELA 4. Médias diárias da precipitação pluviométrica (ppt) e o acumulado mensal na Fazenda Miranda para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.	41
TABELA 5. Médias diárias da temperatura do ar (T), da umidade relativa do ar (UR), do déficit de pressão de vapor do ar (d_{pv}) e da velocidade dos ventos (u) na área de estudo para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.	44
TABELA 6. Porcentagem de dados rejeitados na cálculo da estimativa dos componentes do balanço de energia pela razão de Bowen, utilizando a metodologia descrita por Perez et al. (1999).	50
TABELA 7. Valores médios mensais do saldo de radiação (R_n), densidade de fluxo de calor no solo (G), densidade de fluxo de calor sensível (H) e latente (LE) na área de pastagem na Fazenda Miranda, de abril a dezembro de 2009.....	51
TABELA 8. Partição da radiação solar incidente em saldo de radiação (R_n/R_g) e da partição do saldo de radiação em densidade de fluxo de calor no solo (G/R_n), latente (LE/R_n) e sensível (H/R_n), na área de pastagem na Fazenda Miranda, para o período de abril a dezembro de 2009	53
TABELA 9. Valores médios potenciais da fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas de plantas de <i>V. divergens</i> (FJ e FA) e <i>C. americana</i> , observados ao longo do período experimental	78

LISTA DE SÍMBOLOS

α_{PAR}	albedo da radiação fotossinteticamente ativa
α_{Rg}	albedo da radiação solar global
z_1	altura de medida no nível 1
z_2	altura de medida no nível 2
z_3	altura de medida no nível 3
h	ângulo horário do nascer ou do pôr do sol
$BERB$	balanço de energia determinado através da razão de Bowen
c_p	calor específico do ar seco à pressão constante
L	calor latente de vaporização da água
r	coeficiente de correlação
g_s	condutância estomática
a e b	constantes de ajustamento
γ	constante psicrométrica
dpv	déficit de pressão de vapor d'água do ar
Δz	diferença altura entre dois níveis
Δe	diferença de pressão de vapor d'água do ar entre dois níveis
ΔT	diferença de temperatura do ar entre dois níveis
N	duração astronômica do dia
p	erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade
LE	densidade de fluxo de calor latente
G	densidade de fluxo de calor no solo
H	densidade de fluxo de calor sensível
FA	folha adulta de plantas de cambará (<i>V. divergens</i>)
FJ	folha jovem de plantas de cambará (<i>V. divergens</i>)
ε	erro que define o intervalo de exclusão dos valores de razão de Bowen
n	insolação
ϕ	latitude local
p_o	pressão atmosférica média local

e	pressão de vapor d'água do ar atual
e_s	pressão de vapor d'água do ar saturado
R_o	irradiância diária que atinge o topo da atmosfera
Rg_i	radiação solar global incidente
Rg_r	radiação solar global refletida
PAR_i	radiação fotossinteticamente ativa incidente
PAR_r	radiação fotossinteticamente ativa refletida
ppt	precipitação pluviométrica
β	razão de Bowen
Rn	saldo de radiação
A	taxa fotossintética líquida potencial
E	taxa transpiratória
T	temperatura do ar
UR	umidade relativa do ar
u	velocidade do vento

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Referências Bibliográficas.....	14
2 BALANÇO DE ENERGIA EM ÁREA DE PASTAGEM NO CERRADO MATO-GROSSENSE PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN	17
Resumo.....	17
Abstract.....	18
2.1 Introdução.....	19
2.2 Material e Métodos.....	24
2.3 Resultados e Discussão.....	34
2.4 Conclusões.....	58
2.5 Referências Bibliográficas.....	58
3 EFEITO DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NO INTERCÂMBIO GASOSO DE CAMBARÁ (<i>Vochysia divergens</i> Pohl) E LIXEIRA (<i>Curatella americana</i> L.) EM ÁREA DE PASTAGEM NO CERRADO MATO-GROSSENSE	67
Resumo.....	67
Abstract.....	68
3.1 Introdução.....	69
3.2 Material e Métodos.....	72
3.3 Resultados e Discussão.....	76
3.4 Conclusões.....	90
3.5 Referências Bibliográficas.....	90
4 CONCLUSÕES	97

1 INTRODUÇÃO

O cerrado é considerado a savana tropical mais diversa do mundo, sendo o segundo bioma em extensão no Brasil e representando cerca de 23% do território nacional, com uma área de 204,7 milhões de hectares (Farias et al., 2004; Bieras e Sajo, 2009).

Localizado na porção central do país, a vegetação do cerrado engloba parte dos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo, Tocantins e Distrito Federal. Tem como ecossistemas adjacentes as florestas, os campos rupestres, os campos úmidos, os brejos permanentes e o Pantanal. No Pantanal, que se estende pelos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a flora do Cerrado ocupa 70% da superfície (Borges e Shepherd, 2005; Sano et al., 2008).

A partir da década de 60, foi iniciado um processo de antropização da região devido à mudança da capital federal para a região Centro-Oeste e a concessão de incentivos fiscais para a implantação de projetos agropecuários. Estimativas mostram que de 55% a 65% do cerrado já foi antropizado com atividades agropecuárias intensivas, tais como monoculturas agrícolas e pastagens, caracterizando a área total desmatada como superior a da Floresta Amazônica e quase equivalente à da Mata Atlântica (Farias et al., 2004; Gomes et al., 2004; Pereira e Gonçalves, 2008).

A ocupação da região dos cerrados tem levado a problemas ambientais em virtude da não utilização de tecnologias adequadas e também devido à grande extensão territorial das ocupações. O desmatamento e as queimadas podem causar problemas como a perda de solos por erosão, poluição hídrica e atmosférica, perda de biodiversidade, além da alteração no microclima local (Mantovani e Pereira, 1998; Klink e Machado, 2005).

Para se medir e identificar os efeitos que as atividades antropogênicas podem provocar no tempo e clima da região são utilizados estudos de trocas de energia na interface superfície/atmosfera, sendo essas

fundamentais no que se refere a regiões que abrangem importantes biomas, como o cerrado. Dessa forma, a obtenção de dados a partir de experimentos possibilita estudar o comportamento das mais diversas variáveis que governam o clima, além de determinar de que forma as características da região influenciam as trocas de energia e matéria (Oliveira et al., 2006).

Dentre algumas técnicas micrometeorológicas usadas para estimar as trocas de energia e matéria em uma superfície vegetada, o método da razão de Bowen tem sido utilizado por vários pesquisadores devido a algumas vantagens como medições simples e diretas, estimativas de escala fina de tempo e fornecimento de medições contínuas (Lima Júnior et al., 2005).

Por outro lado, ao mesmo tempo que estudos de balanço de energia são importantes para o entendimento de mudanças do microclima local, pesquisas voltadas para o comportamento de espécies vegetais nativas ou dominantes do ambiente de cerrado tornam-se necessárias para o estudo de respostas destas ao microclima, visto a enorme variabilidade de plantas com diferentes respostas às variações das condições ambientais (Giambelluca et al., 2009).

Dentre essas espécies, o cambará (*Vochysia divergens*) destaca-se como uma planta original da região amazônica, mas que vem se espalhando pelos campos naturais e manejados em áreas de cerrado (Arieira e Nunes da Cunha, 2006; Santos et al., 2006). Da mesma forma acontece com a lixeira (*Curatella americana*), porém esta espécie é natural da região dos cerrados e apresenta características xeromórficas, consideradas como estratégicas na redução da perda de água para os períodos secos, típicos do clima sazonal das Savanas Tropicais (Santos et al., 2006; Franco et al., 2007).

Atualmente existem vários trabalhos relacionados aos aspectos ecológicos dessas espécies (Pott, 1988; Pott e Pott, 1994; Nunes da Cunha e Junk, 1999; Silva et al., 2000; Nunes da Cunha e Junk, 2004; Arieira e Nunes da Cunha, 2006; Santos et al., 2006). No entanto, são poucos os trabalhos de caráter ecofisiológico, que buscam compreender as respostas

do cambará e da lixeira às variações edafoclimáticas em escala local e regional (Dalmolin, 2009; Lobo et al., 2009).

Considerando a necessidade de respostas sobre a interação entre a vegetação e a atmosfera na região do cerrado, que conjuguem o destino do saldo energético entre os componentes do balanço de energia e a adaptabilidade de espécies representativas da região com alguns elementos do clima, propôs-se a realização deste estudo, que teve como objetivo determinar o balanço de energia pelo método da razão de Bowen e correlacionar variáveis microclimáticas com o intercâmbio gasoso de duas espécies vegetais, em uma área de pastagem no Cerrado Mato-Grossense.

A hipótese deste trabalho é que o balanço energético apresenta diferenças entre os meses do ano, sendo influenciado pela sazonalidade climática da região, e que ambas as espécies estudadas apresentam alguma correlação com as variáveis do clima, mas essas correlações podem não ser exatamente as mesmas entre as espécies.

1.1 Referências Bibliográficas

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

BIERAS, A.C.; SAJO, M.G. Leaf structure of the cerrado (Brazilian savanna) woody plants, **Trees**, v.23, p.451-471, 2009.

BORGES, H.B.N.; SHEPHERD, G.J. Flora e estrutura do cerrado lenhoso numa comunidade de Cerrado de Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.1, p.61-74, 2005.

DALMOLIN, A.C. **Potencial fotossintético de plantas jovens de cambará (*Vochysia divergens*) sob condições de sobra e alagamento**. 2009. 72f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental). Instituto de Física, UFMT, 2009.

FARIAS, S.E.M.; MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C.; NOGUEIRA, J.F.M.; GUERRA, A.F.; MANZI, A.O. Balanço de energia em cultivo de milho no cerrado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.2, p.227-233, 2004.

FRANCO, S.P.A.; GOMES, L.G.; SILVA, H.S.; SOUZA, M.L.; RODRIGUES, P.M.S.; SILVA, J.O. Morfologia foliar como mecanismo determinante na taxa de herbivoria em *Curatella americana* (Dilleniaceae) em uma regia de Cerrado *Sensu strictu*. In: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2007. **Anais...** Caxambu, MG, 2007.

GIAMBELLUCA, T.W.; SCHOLZ, F.G.; BUCCI, S.J.; MEINZER, F.C.; GOLDSTEIN, G.; HOFFMANN, W.A.; FRANCO, A.C.; BUCHERT, M.P. Evapotranspiration and energy balance of Brazilians Savannas with contrasting tree density. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.1365-1376, 2009.

GOMES, B.Z.; MARTINS, F.R.; TAMASHIRO, J.Y. Estrutura do cerradão e da transição entre cerradão e floresta paludícola num fragmento da International Paper do Brasil Ltda., em Brotas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v.27, n.2, p.249-262, 2004.

KLINK, C.A.; MACHADO, R. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

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

LOBO, F.A.; DALMAGRO, H.J.; ORTIZ, C.E.R.; VOURLITIS, G.L.; Comportamento ontogenênico da atividade fotossintética em *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae). In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 2009. **Anais...** Fortaleza, 2009, p.259.

MANTOVANI, J.E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal do Cerrado através de dados TM/Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 11-18/setembro/1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE/SELPER, 1998.

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W.J. Composição florística de capões e cordilheiras: localização das espécies lenhosas quanto ao gradiente de inundação no Pantanal de Poconé, MT, Brasil. Pp.387-406. In: **Anais...** II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal – manejo e conservação. Corumbá, MS, Embrapa – CPAP. 1999.

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

OLIVEIRA, M.B.L.; SANTOS, A.J.B.; MANZI, A.O.; CORREIA, M.F.; MOURA, M.S.B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a Vegetação de caatinga e Atmosfera no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de**

Meteorologia, v.21, n.3b, p.166-174, 2006.

PEREIRA, A.; GONÇALVES, E.S. Antropização e relação entre agropecuária intensiva e topografia no Cerrado da região sul do estado do Piauí, Brasil. In: XIII Simpósio SELPER, 2008, Havana. XIII Simposio SELPER. Havana: SELPER, 2008.

POTT, A. 1988. **Pastagens no Pantanal**. Corumbá, EMBRAPA/ CPAP de Corumbá. 58p. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 7).

POTT, A.; POTT, V.J. **Plantas do Pantanal**. Corumbá, Embrapa – CPAP, 1994.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANTOS, S.A.; CUNHA, C.N.; TOMÁS, W.; ABREU, G.P.; ARIEIRA, J. Plantas Invasoras no Pantanal: Como Entender o Problema e Soluções de Manejo por Meio de Diagnóstico Participativo. Embrapa Pantanal: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 66** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Corumbá – MS, 45p. 2006.

SILVA, M.P.; MAURO, R.; MOURÃO, G.; COUTINHO, M. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica**, v.23, n.2, p.143-152, 2000.

2 BALANÇO DE ENERGIA EM ÁREA DE PASTAGEM NO CERRADO MATO-GROSSENSE PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN

RESUMO – O objetivo do presente trabalho foi determinar o balanço de energia em área de pastagem, em condições de cerrado Mato-Grossense. O experimento foi realizado numa propriedade rural localizada no município de Santo Antônio de Leverger, MT, distante 15 km de Cuiabá, MT. O balanço de energia foi determinado pelo método da razão de Bowen para o período compreendido entre abril e dezembro de 2009. Para tanto, utilizou-se medidas de saldo de radiação, fluxo de calor no solo e gradientes de temperatura e umidade relativa do ar. Com base nos resultados, concluiu-se que os valores dos componentes do balanço de energia foram afetados principalmente pela variabilidade na distribuição de chuvas ao longo dos meses, sendo o saldo de radiação utilizado, em média, como 28,32% na densidade de fluxo de calor latente, 37,67% como densidade de fluxo de calor sensível e 34,00% como densidade de fluxo de calor no solo.

Palavras-chave: partição do saldo de radiação, densidade de fluxo de calor latente, densidade de fluxo de calor sensível.

ENERGY BALANCE IN PASTURE AREA OF MATO-GROSSENSE CERRADO BY BOWEN RATIO METHOD

ABSTRACT – The objective of this present work was to determinate the energy balance of a pasture in the cerrado of Mato Grosso, Brazil. The experiment was performed on a rural property located in the municipality of Santo Antônio de Leverger, MT, 15 km SSE from Cuiabá, MT. The energy balance was determined by the Bowen ratio method for the period from April to December of 2009 by measuring net radiation, soil heat flux and gradients of temperature and relative humidity. Based on the results, it was concluded that the energy balance was affected mainly by variability in rainfall distribution over the months. On average, 28,32% of net radiation was dissipated by latent heat flux, 37,67% by sensible heat flux and 34,00% by soil heat flux.

Key-words: net radiation partition, latent heat flux density, sensible heat flux density.

2.1 Introdução

A energia utilizada nos processos de aquecimento/resfriamento do ar e do solo, de transferência de água na forma de vapor da superfície para a atmosfera, e do metabolismo das plantas e animais, é proveniente da radiação solar (Pezzopane e Pedro Júnior, 2003). Assim, pode-se afirmar que de maneira geral todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos ocorridos no solo estão direta ou indiretamente relacionados com a quantidade de radiação solar incidente sobre a sua superfície (Leitão et al., 2000). Para isso, é importante o conhecimento da partição dos componentes do balanço de radiação à superfície, principalmente a radiação solar incidente (R_{gi}) e refletida (R_{gr}) e o saldo de radiação (R_n), para estudos, por exemplo, das perdas d'água da superfície para a atmosfera (Alves et al., 1998; Oliveira e Leitão, 2000).

Os estudos referentes à partição da radiação também permitem avaliar as alterações no microclima da vegetação em função do seu desenvolvimento e em função das condições de solo e da atmosfera, além de prover informações sobre a taxa de desenvolvimento das espécies vegetais, processos convectivos e transporte de calor e umidade de áreas adjacentes (Dirmeyer, 1994; Wilson e Baldocchi, 2000; Marin et al., 2002; Oliveira et al., 2009).

Na região dos cerrados as pastagens cultivadas ocupam grande parte da área produtiva, sendo responsável por cerca de 50% da produção de carne no país. O crescimento demográfico e o aumento da capacidade tecnológica para modificar a paisagem, aliados ao manejo inadequado do solo e da pastagem, como o pastejo excessivo, têm sido fatores preponderantes no processo de ampliação da degradação de áreas dessa região, podendo levar a sérias conseqüências ecológicas, como aumento da temperatura do ar, redução na precipitação e evaporação, aumento da velocidade do vento e o prolongamento da estação seca (Fisch et al., 1997; Valentini et al., 2007).

Para se medir e identificar os efeitos que as atividades antropogênicas podem provocar no tempo e clima da região, através da determinação dos fluxos energéticos de uma dada superfície vegetada, existem métodos micrometeorológicos que quantificam estes fluxos e permitem avaliar as transformações da energia radiante em calor latente e sensível, representando assim, a contabilidade destas interações (Meirelles et al., 2003; Farias et al., 2004). Dentre esses métodos, podem-se citar os métodos da correlação de turbilhões, aerodinâmico e o da razão de Bowen. Dentre eles, o método de correlação de turbilhões é o único capaz de medir diretamente os fluxos na atmosfera, enquanto que os outros dois produzem estimativas a partir dos gradientes verticais das propriedades (Todd et al., 2000; Angell et al., 2001). Porém, este método requer instrumentação específica, como anemômetro sônico, higrômetro e termômetro de rápida resposta e um sistema de aquisição de dados capaz de realizar medidas em altas frequências, tornando assim, a operacionalização procedimento em condições de campo complicadas e exigindo sensores com custo de aquisição elevado. Por estas razões o método aerodinâmico e da razão de Bowen são bem difundidos no meio científico. Em relação ao aerodinâmico, o da razão de Bowen é consideravelmente mais simples, por admitir rigorosamente a igualdade nos coeficientes de transporte turbulento e não necessitar de um perfil de vento para a determinação da velocidade característica de escoamento do vento, porém exige as medidas de Rn e densidade de fluxo de calor no solo (G), as quais são relativamente mais simples de serem utilizadas (Pereira et al., 1997; Righi, 2004).

O método da razão de Bowen fundamenta-se no princípio da conservação da energia, representando a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície, constituindo-se, basicamente, na partição do saldo de radiação nos fluxos de calor latente e nos fluxos de calor sensível no ar e no solo (Cunha e Bergamaschi, 1994; Cardoso et al, 2005; Fernandes, 2007). Bowen (1926) foi o pioneiro nos estudos do balanço da energia sobre uma superfície natural, estimando os valores das densidades de fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE) a partir da

razão entre essas variáveis (que ficou conhecida como razão de Bowen, β) e da equação do balanço de energia (Cunha et al., 2002).

O método é baseado na hipótese de que as difusividades dos vórtices para LE e H são iguais. Essa hipótese, conhecida como hipótese da similaridade, implica que o mesmo turbilhão transporta calor e vapor d'água e conseqüentemente, essas fontes de calor e vapor na superfície são uniformemente distribuídas. Por isso, a temperatura e umidade relativa do ar devem ser medidas nas mesmas alturas e preferencialmente, no mesmo volume de ar (Fernandes, 2007).

Atualmente o balanço de energia determinado por meio da razão de Bowen (*BERB*) é frequentemente utilizado na quantificação de LE e H emitidos e/ou recebidos por superfícies vegetadas (André e Viswanadham, 1986; Fish et al., 1997; Frisina e Escobedo, 1999; Hayashi et al., 2002; Pezzopane e Pedro Júnior et al., 2003; Lima et al., 2005; Silva et al., 2005; Arruda et al., 2006; Soares et al., 2007; Valentini et al., 2007; Perez et al., 2008; Biudes et al., 2009; Chen et al., 2009; Giambelluca et al., 2009; Oliveira et al., 2009; Savage et al., 2009). O *BERB* também tem sido muito empregado por vários pesquisadores na estimativa da evapotranspiração de culturas (Cunha et al., 2002; Teixeira et al., 2003; Cardoso et al., 2005; Leitão et al., 2007; Silva et al., 2007b; Biudes et al., 2008; Zhao et al., 2009), devido à precisão e simplicidade operacional em relação aos demais métodos de estimativa da evapotranspiração, quando se dispõe da instrumentação necessária às medições locais e em alta frequência do saldo de radiação e dos gradientes verticais de temperatura (T) e pressão de vapor do ar (e) (Karam e Pereira Filho, 2006; Borges et al., 2008).

Além disso, o *BERB* pode estimar as densidades dos fluxos em escala fina de tempo (menos que uma hora), pode integrar LE sobre grandes áreas (de centenas a milhares de metros quadrados) e fornecer medições contínuas (Todd et al., 2000), sem modificar o ambiente em que se utiliza esse método para estudos micrometeorológicos (Zhang et al., 2002; Chabot et al., 2005). Para Gavilán e Berengena (2007), uma interessante vantagem do *BERB* é a sua portabilidade, o que torna esse método mais prático na

quantificação da evapotranspiração ao invés de se utilizar lisímetros, por exemplo.

O método da razão de Bowen também tem a vantagem de ser relativamente simples, mas quando utilizado de forma isolada pode ser impreciso. O método parece adequado quando o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente apresentam um mesmo sinal, em geral quando a superfície está mais úmida e quente que o ar, ou quando está mais fria e seca que o ar. Quando a superfície está mais úmida e fria que o ar, como ocorre para o efeito oásis, ou ainda mais seca e quente, como no caso da penetração de uma brisa lacustre fria e úmida sobre uma margem quente e seca, a razão de Bowen pode torna-se negativa (Karam e Pereira Filho, 2006).

A razão de Bowen apresenta valores bem distintos quando há diferenças significativas com relação a umidade do solo, sendo que, normalmente, quanto mais úmido o solo mais próximos de zero tendem a ser os valores da mesma, pois, maiores quantidades de energia são direcionadas ao processo de evapotranspiração. Quando há restrição hídrica uma maior parte da energia é utilizada no aquecimento do ar, o que resulta em um valor elevado da razão de Bowen (Silva, 2003; Betts et al., 2007).

Em muitos trabalhos em que o *BERB* é utilizado, para evitar erros na estimativa de *LE* e *H*, os dados inerentes ao erro instrumental micrometeorológico do sistema são excluídos. Um exemplo é o caso dos intervalos de valores dos gradientes de *T* e *e* serem menores do que as resoluções dos sensores (Perez et al., 1999; Silva et al., 2007b).

Celier e Olioso (1993), Kustas et al. (1996) e Heilman e Brittin (1989) relatam que o uso do método da razão de Bowen deve ser limitado ao período diurno. Clothier et al. (1982) sugerem descartar os valores de β menores que -0,5 devido a sua inconsistência.

Por outro lado, para casos em que os valores de β estão próximos de -1, alguns autores eliminam os valores de β abaixo de -0,75 ou valores entre $-1,3 < \beta < -0,7$ (Ortega-Farias et al., 1996; Unland et al., 1996). No entanto, de acordo com Perez et al. (1999), esse intervalo deve depender da

resolução dos sensores utilizados. Ainda, estudando o descarte de valores inconsistentes da razão de Bowen pelo método *BERB*, Perez et al. (1999) alertam para o caso em que os valores de β se aproximam de -1, dessa forma, os denominadores das equações do fluxo de calor latente e sensível aproximam-se de zero, tornando os cálculos de LE e H impossíveis, visto que tais parâmetros perdem seu significado físico. Os valores de $\beta \approx -1$ aparecem no nascer e no pôr-do-sol e ainda durante precipitações, quando a direção do gradiente de temperatura (ΔT) opõe-se à direção do gradiente de pressão de vapor (Δe). Os autores concluíram ainda que devem ser rejeitados os dados noturnos e obtidos após precipitação ou irrigação, e que a ocorrência de gradientes de vapor d'água muito pequena afeta a consistência das estimativas pelo *BERB*.

Considerando a importância dos estudos referente à partição do saldo de radiação, ao permitirem avaliar as alterações no microclima da vegetação, a finalidade desta pesquisa foi avaliar a sazonalidade do balanço de energia em área de pastagem no Cerrado Mato-Grossense pelo método da razão de Bowen.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Localização e caracterização climática

A pesquisa foi realizada na Fazenda Miranda, situada no município de Santo Antônio de Leverger, Mato Grosso, Brasil ($15^{\circ}43'53,65''$ Sul e $56^{\circ}04'18,88''$ Oeste), distante aproximadamente quinze quilômetros da cidade de Cuiabá e com altitude média de 157 m (Figura 1).



FIGURA 1. Mapa do Brasil com a localização da área de estudo em Santo Antônio de Leverger, MT, nas coordenadas geográficas $15^{\circ}43'53,65''$ Sul e $56^{\circ}04'18,88''$ Oeste.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região é caracterizada pelo clima tropical semi-úmido (Aw), com quatro a cinco

meses secos e duas estações bem definidas, uma seca: outono-inverno e uma chuvosa: primavera-verão (Figura 2).



(A)

(B)

FIGURA 2. Pastagem no período chuvoso (A) e seco (B).

2.2.2 Caracterização do solo e da vegetação

O solo da área em que a pesquisa foi desenvolvida é caracterizado por ser pouco espesso, imperfeitamente drenado, concrecionário e com superfície cascalhenta (Plintossolo Pétrico), podendo ocorrer locais com a presença de solos Litólicos Distróficos (EMBRAPA, 1999).

A área do estudo encontra-se em uma pastagem, caracterizada pela dominância da vegetação herbácea que surgiu depois da derrubada parcial da vegetação original. Observa-se apenas a cobertura parcial da vegetação no solo em locais onde a superfície é distinguida pela textura cascalhenta.

2.2.3 Instrumentação e coleta de dados

Na Fazenda Miranda foi instalada uma torre em estrutura metálica de 19 m de altura com equipamentos de medições micrometeorológicas que permitiram a coleta e registros de dados, durante 24 horas por dia (Figura 3). Para realização deste trabalho, foram utilizados os dados micrometeorológicos coletados entre o período de abril e dezembro de 2009.



FIGURA 3. Torre micrometeorológica instalada na Fazenda Miranda, em Santo Antônio de Leverger, MT.

As medidas de R_n sobre a vegetação foram obtidas por meio de um saldo radiômetro modelo NR LITE (Kipp e Zonen, The Netherlands) instalado a 4 m de altura.

A R_{g_i} e R_{g_r} foram medidas mediante sensores piranômetros modelo LI-200X-L (LI-COR Biosciences, Inc., Lincon, NE, USA) instalados a 4 metros de altura, um com a face voltada para cima e o outro para baixo, assim como a radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i) e refletida (PAR_r), medida através de sensores quantum modelo LI-190SB-L (LI-COR Biosciences, Inc., Lincon, NE, USA).

A T e a umidade relativa do ar (UR) foram medidas por meio de três termohigrômetros modelo HMP 45AC (Vaisala, Inc., Helsinki, Finland) instalados a 5, 10 e 18 m de altura do solo.

A velocidade do vento (u) foi medida por meio de dois anemômetros de conchas modelo 03101-L Wind Sentry Anemometer (Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA), instalados a 5 e a 10 m de altura do solo, e um

anemômetro de concha e medidor da direção do vento modelo 03002-L Wind Sentry Set (Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA) instalado a 18 m de altura do solo.

A G foi medida próxima a torre micrometeorológica por uma placa de fluxo de calor modelo HFP01 (Rukseflux, Inc., The Netherlands) a 1 cm de profundidade.

Mediu-se a precipitação pluviométrica (ppt) usando um pluviômetro de báscula modelo TR-525M Rainfall Sensor (Texas Eletronics, Inc., Dallas, TX, USA) instalado a 5 m de altura do solo.

Os equipamentos da torre micrometeorológica foram alimentados com tensão de 12 V por uma bateria de 150 Ah, carregada por meio de um painel solar de 65 W e com regulador de tensão.

Os dados micrometeorológicos foram coletados por intermédio de sensores de aquisição de dados, ligados a dois dataloggers CR 1000 (Campbell Scientific, Inc., USA), com intervalo de leitura de 30 segundos e registro das médias a cada 30 minutos. Para aumentar o número de canais de entrada do registrador utilizou-se uma placa multiplexadora AM16/32A-ST-SW (Campbell Scientific, Inc., USA).

A cada 15 dias, os dados armazenados nos dataloggers foram transferidos para um disco rígido de um laptop. Verificações do funcionamento e o estado de conservação dos sensores também foram realizados a cada visita ao local.

2.2.4 Cálculo da partição de energia pelo método da razão de Bowen

O método da razão de Bowen foi utilizado para estimar os componentes do balanço de energia na área de pastagem, com as medidas de Rn sobre o dossel do sitio experimental, G , gradientes de T e e nas alturas de 5, 10 e 18 m, sendo consideradas como os níveis z_1 , z_2 e z_3 , respectivamente.

A equação geral do balanço de energia foi descrita da seguinte forma simplificada (Bowen, 1926; Perez et al., 1999) (eq. 1):

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

em que Rn é a radiação líquida disponível sobre a superfície vegetada, G , a densidade de fluxo de calor no solo, H , a densidade de fluxo de calor sensível e LE , a densidade de fluxo de calor latente, expressas em $W m^{-2}$.

Por definição, a razão H e LE é denominada razão de Bowen (β) (eq. 2):

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (2)$$

Combinando a β com a equação geral do balanço de energia, tem-se (eq. 3 e 4):

$$LE = \frac{1}{1 + \beta}(Rn - G) \quad (3)$$

$$H = \frac{\beta}{1 + \beta}(Rn - G) \quad (4)$$

Tomando medidas entre dois níveis da camada superficial ajustada, β é obtido como (eq. 5):

$$\beta = \gamma \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (5)$$

em que ΔT é diferença de temperatura do ar entre dois níveis ($^{\circ}C$), Δe é diferença de pressão de vapor d'água do ar entre dois níveis (kPa) e γ é a constante psicrométrica, obtida como (eq. 6):

$$\gamma = \frac{c_p P_o}{0,662L} \quad (6)$$

em que c_p é o calor específico do ar seco à pressão constante ($1010 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), p_o é a pressão atmosférica média local (103 kPa) e L é o calor latente de vaporização da água.

A pressão de vapor d'água do ar atual (e) foi calculada conforme a eq. (7).

$$e = \frac{e_s UR}{100} \quad (7)$$

A pressão de vapor d'água do ar saturado (e_s) em (kPa) para cada altura foi obtida como uma função da temperatura do ar (T) em cada altura, conforme a eq. (8).

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left(\frac{7,5T}{237,3+T}\right)} \quad (8)$$

sendo o déficit de pressão de vapor do ar (dpv) calculado pela diferença entre a pressão de vapor d'água do ar saturado (e_s) e a pressão de vapor d'água do ar atual (e).

Considerando-se os gradientes obtidos entre os níveis z_1 e z_2 , z_1 e z_3 e z_2 e z_3 , LE e H foram determinados pelo método da razão de Bowen, de modo a permitir a verificação da consistência dos resultados.

A convenção utilizada para os sinais dos fluxos de energia é Rn positivo para baixo e G positivo quando descendente a partir da superfície do solo (Figura 3). LE e H são positivos para cima, com uma direção oposta ao dos gradientes. Para o gradiente de temperatura $(\partial T / \Delta z) < 0$ o H é positivo e para um gradiente de pressão de vapor $(\partial e / \Delta z) < 0$ o LE é positivo (Figura 4).

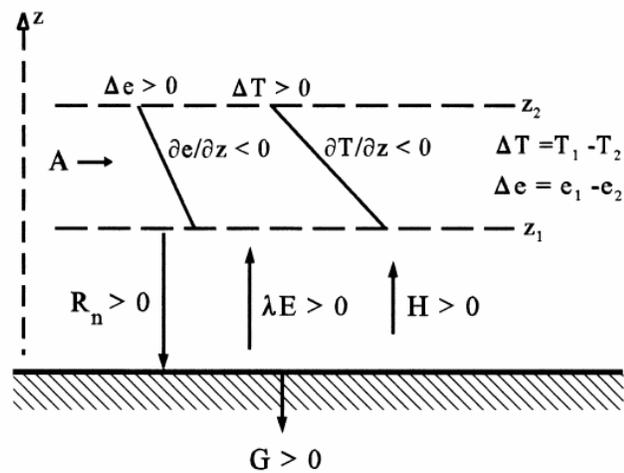


FIGURA 4. Representação dos fluxos de energia na interface entre o ar e a superfície vegetal, mostrando a convenção de sinais. A – fluxo de energia advectiva para o volume de controle acima da superfície; R_n – saldo de radiação; λE e H – fluxos de calor latente e sensível; G – fluxo de calor no solo; Δe e ΔT - diferença de pressão de vapor e temperatura entre os níveis inferior (z_1) e superior (z_2), e $\partial e/\partial z$ e $\partial T/\partial z$ – gradientes de pressão de vapor e temperatura.

2.2.5 Critério para rejeição dos dados inadequados do método da razão de Bowen

Para rejeitar valores inconsistentes, incluindo aqueles fora dos limites da resolução instrumental, adotou-se análise física do método, conforme Perez et al. (1999). Segundo esses autores, a estimativa de LE e H fornecida pelo método *BERB* deve ser consistente com a relação fluxo-gradiente, mas, em algumas vezes, as medidas dão sinais incorretos para esses fluxos. Dessa forma, as eq. (3) e (5) podem ser arranjadas, resultando:

$$R_n = \left(1 + \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e}\right) LE + G \quad (9)$$

$$\frac{\Delta e}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{H} = \frac{\Delta e + \lambda \Delta T}{Rn - G} > 0 \quad (10)$$

A expressão representada pela eq. (10) deve sempre ser maior que 0, de acordo com a convenção de sinais (Figura 4). Os dados fornecidos pelo método *BERB* serão corretos quando atenderem à desigualdade acima. Conseqüentemente, quando $Rn - G > 0$, $\Delta T > -\Delta e / \gamma$. Ou seja, $\beta > -1$ se $\Delta e > 0$, mas $\beta < -1$ se $\Delta e < 0$. Quando $Rn - G < 0$, $\Delta T < -\Delta e / \gamma$. Isso é, $\beta < -1$ se $\Delta e > 0$, mas $\beta > -1$ se $\Delta e < 0$. As eq. (3) e (4) mostram que apenas algumas combinações de valores de H e LE são possíveis. Quando $Rn - G > 0$, se $\beta > -1$, pelo princípio da conservação de energia, deduz-se que LE deve ser sempre positivo, visto que H pode ser positivo ou negativo (eq. 4), dependendo do sinal de β . Se $\beta < -1$, são possíveis apenas os casos $LE > 0$ e $H > 0$. Quando $Rn - G < 0$, se $\beta > -1$, são apenas possíveis os casos $LE > 0$ e $H < 0$. Se $\beta < -1$, então LE será sempre negativo, visto que H pode ser positivo ou negativo, dependendo do sinal de β . Se essas condições não forem satisfeitas, o *BERB* fornecerá um sentido incorreto de fluxo e os dados serão descartados. Isso apenas ocorre no início da manhã e ao entardecer, quando o fluxo de calor muda de sinal, durante a irrigação ou a precipitação, em que Δe apresenta valores baixos (próximo do limite de resolução $\delta \Delta e$), e quando os valores de $Rn - G$ são baixos. Para a análise dos dados e a exclusão de valores de β inconsistentes, utilizaram-se as condições propostas por Perez et al. (1999).

Para preenchimento dos valores descartados ao adotar a metodologia descrita por Perez et al. (1999), foram utilizadas regressões lineares simples entre os valores das densidades dos fluxos não descartados e Rn ou $Rn - G$, obtidos num intervalo de três dias e meio antes e três dias e meio após serem observados os valores descartados. Para selecionar a regressão utilizada para preenchimento dos dados, tomou-se como base a função da regressão que apresentou melhor ajuste.

A caracterização das variáveis micrometeorológicas T , UR , dpv e u foi feita considerando a média dos dados destas variáveis obtidos nas duas alturas que, pelo critério de rejeição de dados de Perez et al (1999) forneceu o maior número de dados válidos. Neste caso particular, os dados utilizados foram os das alturas de 10 e 18 m.

2.2.7 Cálculo do albedo

A razão entre Rg_r e Rg_i e entre PAR_r e PAR_i , é designada albedo, ou poder refletor da superfície. Dessa maneira, determinou-se o albedo médio da Rg e PAR para cada 30 minutos ao longo do período diurno, tomando a razão entre as médias de 30 em 30 minutos, e o albedo médio diário para cada período, fazendo a razão entre os valores instantâneos de Rg_r e Rg_i , usando a eq. (11) e fazendo-se a razão entre os valores instantâneos da PAR_i e da PAR_r , usando a eq. (12).

$$\alpha_{Rg} = \frac{Rg_r}{Rg_i} \quad (11)$$

$$\alpha_{PAR} = \frac{PAR_r}{PAR_i} \quad (12)$$

onde α_{Rg} e α_{PAR} são os albedos da Rg e da PAR , respectivamente; Rg_i , a radiação de onda curta incidente (radiação global); Rg_r , a radiação de onda curta refletida pela superfície; PAR_i , a radiação PAR incidente e PAR_r , a radiação PAR refletida pela superfície.

2.2.8 Estimativa da insolação

Para estimar matematicamente a duração do dia ou o número efetivo de horas de brilho solar que houve no dia (n), foi utilizada a equação de Angstrom (eq. 13):

$$Rg_i = R_o \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (13)$$

em que Rg_i é a radiação solar global que atinge a superfície da terra durante um dia ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), R_o é a irradiância diária que atinge o topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), b é uma constante de ajustamento, igual a 0,52, a é uma constante de ajustamento e N é a duração astronômica do dia, calculados a partir das eqs. (14) e (15), respectivamente:

$$a = 0,29 \cos \phi \quad (14)$$

sendo ϕ a latitude local (graus).

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

em que h é o ângulo horário do nascer ou do pôr do sol (graus).

2.2.9 Análise estatística

Aos dados micrometeorológicos e do balanço de energia, para cada mês, foi aplicada à técnica do “bootstrap” com 1000 sub-amostragens, com o intuito de se obter os intervalos de confiança dos resultados e permitir, com isso, a comparação de médias sob diferentes tratamentos (Christie, 2004), considerando que, para precipitação, radiação e densidades de fluxo de energia, foi empregado o total diário, ao passo que para temperatura do ar, umidade relativa, déficit de pressão de vapor e velocidade dos ventos, empregou-se a média diária para estimar a média mensal.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Aspectos micrometeorológicos – radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa

A dinâmica temporal e os totais diários da radiação global incidente (R_{g_i}), da refletida (R_{g_r}) e respectivo albedo (α_{Rg}) da área de estudo, para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009, estão apresentados na Figura 4 e Tabela 3.

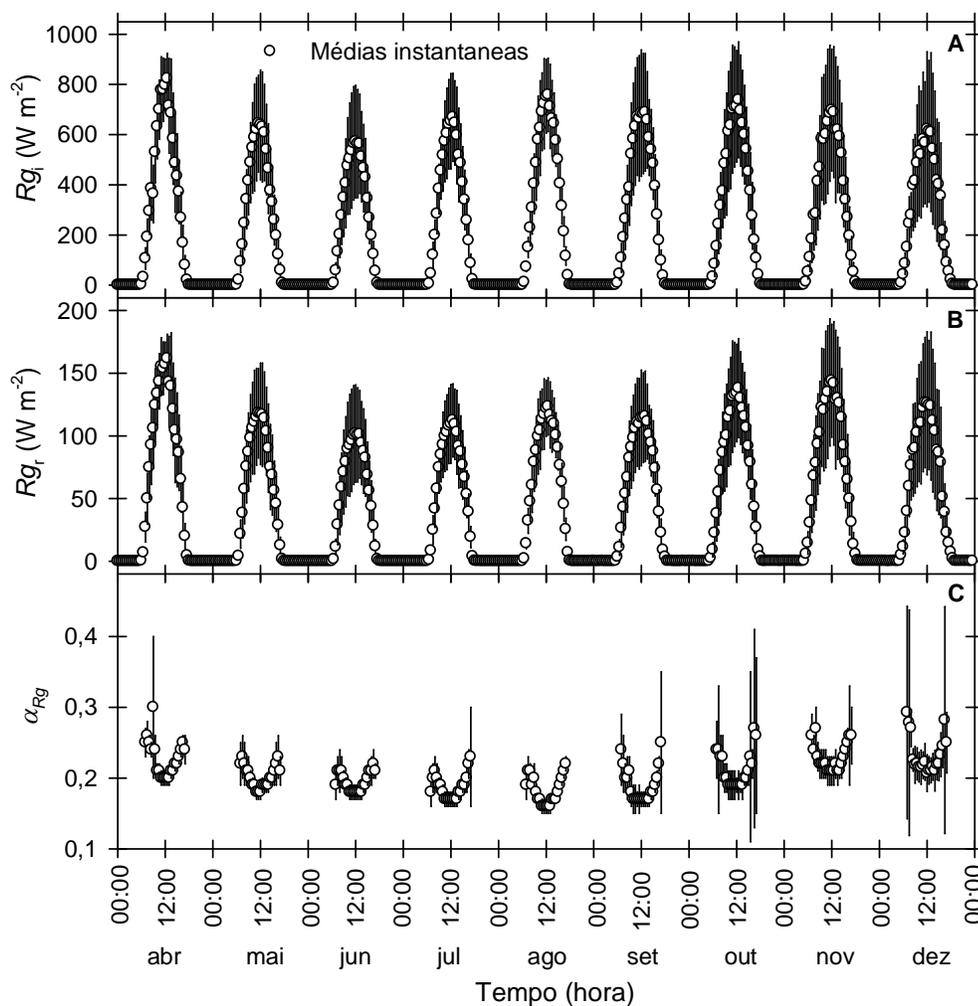


FIGURA 5. Dinâmica temporal da radiação global incidente (R_{g_i}), da refletida (R_{g_r}) e respectivo albedo (α_{Rg}) da área de estudo para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.

TABELA 1. Totais diários da radiação solar global incidente (Rg_i) e refletida (Rg_r) e do respectivo albedo (α_{Rg}) na Fazenda Miranda para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.

Variável	Mês	Média	Intervalo de Confiança da Média (95%)	
			Limite Superior	Limite Inferior
Rg_i (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Abril	18,43 a	19,52	17,39
	Maio	15,16 cd	16,59	13,52
	Junho	13,69 d	15,34	11,80
	Julho	15,61 bcd	16,84	14,14
	Agosto	18,09 abc	19,32	16,48
	Setembro	17,54 abc	19,20	15,79
	Outubro	18,47 ab	19,92	16,81
	Novembro	18,09 abc	19,79	16,36
	Dezembro	16,06 abcd	18,00	13,78
Rg_r (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Abril	3,99 a	4,21	3,73
	Maio	2,99 cd	3,31	2,63
	Junho	2,62 d	2,95	2,28
	Julho	2,81 d	3,05	2,57
	Agosto	3,09 cd	3,30	2,84
	Setembro	3,15 bcd	3,43	2,83
	Outubro	3,68 ab	3,97	3,39
	Novembro	3,99 a	4,34	3,66
	Dezembro	3,50 abc	3,89	3,06
α_{Rg}	Abril	0,216 a	0,219	0,213
	Maio	0,196 b	0,200	0,192
	Junho	0,190 c	0,191	0,187
	Julho	0,180 de	0,182	0,177
	Agosto	0,175 e	0,177	0,174
	Setembro	0,181 d	0,185	0,178
	Outubro	0,201 b	0,204	0,197
	Novembro	0,222 a	0,224	0,219
	Dezembro	0,220 a	0,225	0,217

A variação média de Rg_i e de Rg_r ao longo do período estudado (Figura 5) não foi superior a 4,8 MJ m⁻² dia⁻¹ e 1,37 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente, o que indica certa estabilidade dessas variáveis. Essa estabilidade, provavelmente, seja devida à nebulosidade e outros

impedimentos físicos da chegada da radiação à superfície da terra no período próximo ao verão e a claridade do céu no inverno (Tabela 1, Figura 5), conforme observado na Figura 6, e às características ópticas da superfície.

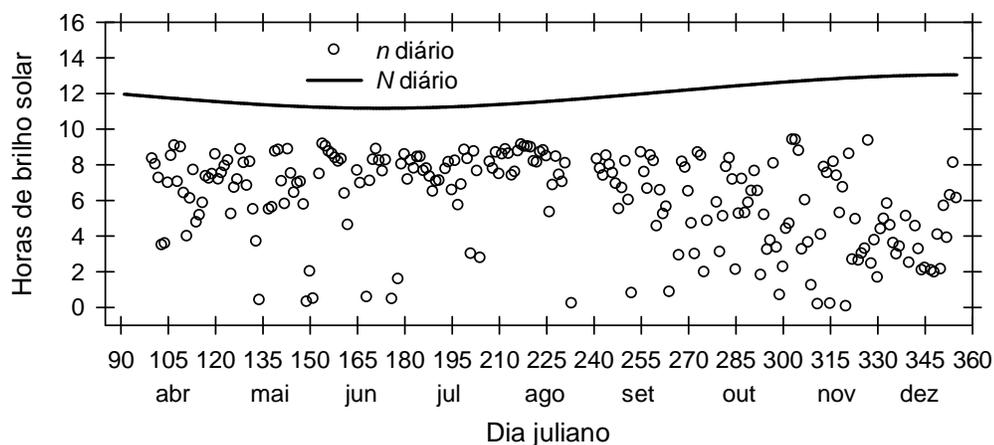


FIGURA 6. Dinâmica temporal da insolação (n) e da duração astronômica do dia (N) na Fazenda Miranda para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.

TABELA 2. Médias diárias da insolação (n) na Fazenda Miranda para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.

Variável	Mês	Média	Intervalo de Confiança da Média (95%)	
			Limite Superior	Limite Inferior
n (h)	Abril	6,7 ab	7,5	6,0
	Maio	6,1 abc	7,0	5,1
	Junho	7,0 ab	7,9	5,9
	Julho	7,4 a	7,9	6,9
	Agosto	7,7 a	8,3	6,8
	Setembro	6,2 abc	7,0	5,3
	Outubro	5,4 cd	6,2	4,4
	Novembro	4,6 cd	5,5	3,6
	Dezembro	3,9 d	4,7	3,2

O valor n médio mensal encontrado para a área de pastagem na Fazenda Miranda tende a diminuir durante o período chuvoso, mesmo com o aumento de N (Figura 6, Tabela 2). Isso ocorre em decorrência da atenuação da radiação solar pela nebulosidade, com conseqüente redução nos valores da duração diária de brilho solar, considerando-se que o mês de agosto é o de menor nebulosidade, assim como apresentado pelos outros meses de outono/inverno e as maiores nebulosidades sendo verificadas para os meses de primavera/verão.

Quanto aos padrões mensais de R_g , observou-se menor incidência de radiação em junho, com média de $13,69 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e maior incidência, em outubro, com média de $18,47 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 1). Para o período avaliado, o valor instantâneo máximo de R_g foi de $1095,8 \text{ W m}^{-2}$, observado no mês de outubro. De acordo com Varejão-Silva (2006), os maiores valores de R_g acontecem no verão e os menores no inverno, valendo-se para as latitudes afastadas do equador.

No entanto, Fisch (1996) relaciona a queda da R_g , que ocorre à medida que se aproxima o início da estação seca, haja vista a ocorrência de friagens, que atuam como atenuantes da R_g e que incorrem em quedas bruscas das mesmas. A menor incidência da R_g em pastagens durante o período seco também pode ser influenciada pelas queimadas (Feitosa et al., 1998), que normalmente são utilizadas como método de limpeza e renovação das pastagens na região. Segundo os autores, este procedimento causa um aumento na concentração de aerossóis na atmosfera, aumentando a espessura óptica da atmosfera que resulta numa maior atenuação do fluxo da R_g medido à superfície.

Referente à R_{g_r} , observou-se a mesma tendência descrita para R_g , sendo que a maior média mensal observada durante o período estudado ocorreu em abril e novembro, com valor de $3,99 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que a R_{g_r} mínima foi de $2,62 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, para o mês de junho (Tabela 1). O valor máximo instantâneo de R_{g_r} foi observado no mês de dezembro, com reflexão da R_g de $213,0 \text{ W m}^{-2}$.

A menor perda de R_g diária por reflexão ocorreu em maio, no valor de $0,46 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, dia quase totalmente nublado, quando todos os componentes do fluxo de radiação foram minimizados. Por outro lado, a maior perda de R_g por reflexão aconteceu em 23 de novembro, no valor de $5,69 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Verifica-se a mesma tendência de estabilidade observada em R_{g_i} e R_{g_r} para PAR_i e PAR_r (Figura 7, Tabela 3).

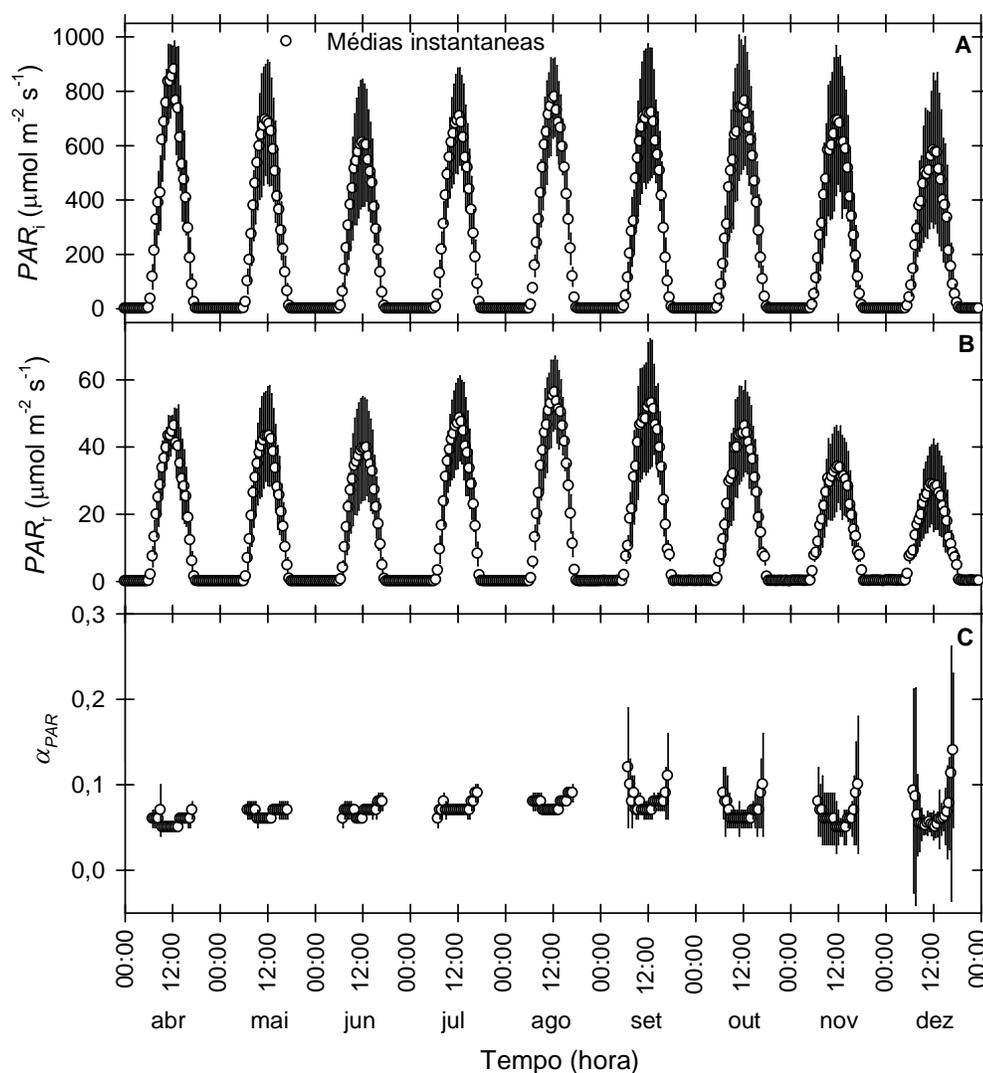


FIGURA 7. Dinâmica temporal da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i), da refletida (PAR_r) e respectivo albedo (α_{PAR}) na área de estudo para os meses compreendidos entre abril e dezembro de 2009.

TABELA 3. Totais diários da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i) e refletida (PAR_r) e do respectivo albedo (α_{PAR}) na área de estudo, para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.

Variável	Mês	Média	Intervalo de Confiança da Média (95%)	
			Limite Superior	Limite Inferior
PAR_i (mol m ⁻² d ⁻¹)	Abril	19,99 a	21,09	18,80
	Maio	16,50 bc	18,01	14,79
	Junho	14,79 c	16,67	12,81
	Julho	16,67 bc	17,97	15,19
	Agosto	18,90 ab	20,11	17,35
	Setembro	18,48 abc	20,18	16,48
	Outubro	19,23 ab	20,77	17,70
	Novembro	18,09 abc	19,76	16,33
	Dezembro	15,25 c	17,12	13,27
PAR_r (mol m ⁻² d ⁻¹)	Abril	1,12 bc	1,18	1,06
	Maio	1,08 bc	1,20	0,97
	Junho	1,01 bcd	1,14	0,87
	Julho	1,20 bc	1,30	1,08
	Agosto	1,44 a	1,54	1,32
	Setembro	1,43 a	1,56	1,29
	Outubro	1,24 ab	1,33	1,12
	Novembro	1,00 cd	1,08	0,92
	Dezembro	0,85 d	0,93	0,75
α_{PAR}	Abril	0,056 d	0,057	0,055
	Maio	0,065 c	0,066	0,064
	Junho	0,067 c	0,069	0,066
	Julho	0,071 b	0,073	0,070
	Agosto	0,076 a	0,077	0,075
	Setembro	0,077 a	0,079	0,076
	Outubro	0,065 c	0,067	0,063
	Novembro	0,056 d	0,059	0,055
	Dezembro	0,058 d	0,062	0,055

Contudo, uma particularidade com relação à Rg_r e à PAR_r , que afeta os albedos para essas radiações pode ser constatada nas Figuras 5 e 7. Enquanto há um aumento na reflexão de Rg quando se aproxima do verão, o mesmo não acontece com a PAR . Isso porque nesse período, as folhas

novas das plantas estão em plena atividade fotossintética, pois no final do período seco elas são produzidas e com o início do período chuvoso o intercâmbio gasoso é promovido pela disponibilidade de água no ambiente (Lenza e Klink, 2006; Figueiredo, 2008). Por essa razão, há maior interceptação da *PAR* pelas folhas novas nesse período, ao passo que o excedente energético não necessário para o processo fotossintético é dissipado pelo aumento da reflexão de *Rg*.

Segundo Araújo (2006), solos com cobertura vegetal apresentam menor reflectividade do que solos expostos. Em seu trabalho, a autora verificou que o aumento no albedo é primeiramente devido ao aumento do solo exposto, e a diminuição no albedo é inicialmente em razão do aumento da umidade do solo e do aumento na densidade da vegetação, além da quantidade e do tipo de nuvens.

Leitão e Oliveira (2000), estudando a influência da irrigação sobre o albedo, observaram a sua redução no decorrer do desenvolvimento vegetativo do amendoim na área experimental, com o albedo alcançando valores máximos no início do experimento. No entanto, na medida em que a cultura foi se desenvolvendo e passando a cobrir o solo, o albedo foi diminuindo, até atingir seu valor mínimo no final da fase de desenvolvimento da cultura.

2.3.2 Precipitação pluviométrica

A precipitação mensal e as médias diárias da precipitação pluviométrica (*ppt*) na área de pastagem na Fazenda Miranda, para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009, são apresentadas na Figura 8 e Tabela 4, respectivamente.

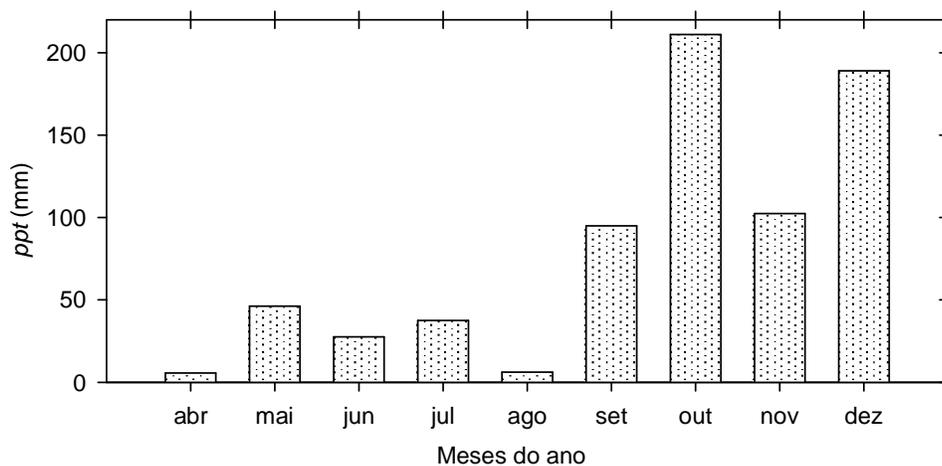


FIGURA 7. Precipitação pluviométrica (*ppt*) mensal na área de estudo para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.

TABELA 4. Totais diários da precipitação pluviométrica (*ppt*) e o acumulado mensal na Fazenda Miranda para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.

Variável	Mês	Média	Intervalo de Confiança da Média (95%)		Acumulado mensal (mm)
			Limite Superior	Limite Inferior	
<i>ppt</i> (mm)	Abril	0,26 c	0,62	0,00	5,6
	Maio	1,50 bc	2,92	0,50	46,2
	Junho	0,86 bc	2,74	0,01	27,6
	Julho	1,22 ab	3,17	0,01	37,5
	Agosto	0,20 c	0,60	0,00	6,2
	Setembro	3,21 abc	6,69	0,34	94,9
	Outubro	6,77 ab	14,69	1,57	211,0
	Novembro	3,41 ab	5,44	1,48	102,4
	Dezembro	9,03 a	15,49	3,09	189,0

A precipitação total acumulada durante o período de estudo na área de pastagem foi de 720,4 mm. Em outubro, novembro e dezembro sucederam as maiores médias de precipitação pluviométrica, correspondendo a 69,7% da precipitação total do período avaliado, sendo

que no dia 21 de outubro ocorreu a maior precipitação diária observada, com valor de 106,2 mm.

Comparando os resultados de precipitação mensal observada durante o experimento com o encontrado por outros autores, que também realizaram pesquisas envolvendo variáveis meteorológicas no município de Santo Antônio de Leverger (Caseiro et al., 1997; Biudes, 2008; Diniz et al., 2008; Neis et al., 2008; Penso et al., 2009), constatou-se que 2009 foi um ano atípico em relação à distribuição de chuvas. Enquanto que os autores observam pouca ou nenhuma precipitação nos meses de junho, agosto e setembro, um acumulado de mais 212 mm foi contabilizado neste trabalho, também para esses meses. É possível que o aumento da precipitação na região possa ter sido causado pela atuação do fenômeno El Niño, que se caracteriza pelo aumento da temperatura da superfície do oceano Pacífico Equatorial nas zonas central e oriental, afetando assim, os regimes de chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias.

2.3.3 Temperatura do ar, umidade relativa do ar, déficit de pressão de vapor do ar, velocidade e direção dos ventos

A dinâmica temporal e as médias diárias da temperatura do ar (T), da umidade relativa do ar (UR), do déficit de pressão de vapor do ar (dpv) e da velocidade dos ventos (u) na área de estudo, para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009, são apresentados na Figura 9 e Tabela 5.

TABELA 5. Médias diárias da temperatura do ar (T), da umidade relativa do ar (UR), do déficit de pressão de vapor do ar (dpv) e da velocidade dos ventos (u) na área de estudo para os meses compreendidos no período de abril a dezembro de 2009.

Variável	Mês	Média	Intervalo de Confiança da Média (95%)	
			Limite Superior	Limite Inferior
T (°C)	Abril	26,8 bc	27,0	26,6
	Maio	25,6 d	25,8	25,4
	Junho	22,9 f	23,2	22,7
	Julho	24,3 e	24,6	24,0
	Agosto	25,8 d	26,1	25,4
	Setembro	27,0 b	27,3	26,7
	Outubro	28,1 a	28,3	27,9
	Novembro	27,8 a	28,0	27,7
	Dezembro	26,4 c	26,6	26,2
UR (%)	Abril	75,4 bc	76,3	74,3
	Maio	75,8 b	76,6	74,9
	Junho	74,7 bc	75,7	73,8
	Julho	67,2 d	68,2	66,2
	Agosto	54,5 f	55,8	53,2
	Setembro	62,6 e	63,6	61,7
	Outubro	67,8 d	68,6	67,0
	Novembro	74,0 c	74,7	73,2
	Dezembro	80,5 a	81,3	79,8
dpv (kPa)	Abril	0,998 ef	1,050	0,947
	Maio	0,954 f	1,002	0,909
	Junho	0,865 g	0,907	0,821
	Julho	1,246 d	1,304	1,190
	Agosto	1,845 a	1,924	1,763
	Setembro	1,580 b	1,644	1,521
	Outubro	1,379 c	1,428	1,332
	Novembro	1,088 e	1,129	1,048
	Dezembro	0,745 h	0,785	0,713
u (m s ⁻¹)	Abril	2,4 c	2,5	2,4
	Maio	2,0 e	2,1	2,0
	Junho	2,2 de	2,2	2,1
	Julho	2,3 cd	2,4	2,2
	Agosto	2,7 b	2,8	2,6
	Setembro	3,0 a	3,1	2,9
	Outubro	2,7 b	2,8	2,6
	Novembro	2,7 b	2,8	2,6
	Dezembro	1,8 f	1,9	1,8

A variação da T média mensal na Fazenda Miranda durante o período avaliado foi de $5,2^{\circ}\text{C}$, com valores de T instantânea mínimas e máximas de $12,0^{\circ}\text{C}$ e $39,2^{\circ}\text{C}$, ocorridos nos meses de junho e setembro, respectivamente. Os meses mais quentes foram outubro e novembro, com médias de $28,1^{\circ}\text{C}$ e $27,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Junho foi o mês mais frio, com $22,9^{\circ}\text{C}$ de média (Figura 9, Tabela 5).

A maior amplitude diária observada foi de $19,8^{\circ}\text{C}$ e ocorreu em agosto, com menor e maior de T instantânea de $16,6^{\circ}\text{C}$ e $36,4^{\circ}\text{C}$. Esse comportamento é compatível com a menor taxa de cobertura de nuvens durante os meses da estação seca (Tabela 2), que propicia maior incidência solar durante o dia e maior perda de energia radiativa da superfície durante a noite, e também, com a redução da evaporação na área de pastagem, com conseqüente aumento do aquecimento do ar e da amplitude térmica durante os períodos secos (Galvão e Fisch, 2000).

Com relação aos valores de T instantânea (Figura 9), é possível observar que as temperaturas máximas ocorreram entre 13:00 h e 15:30 h, a partir daí a temperatura decresce em todo o perfil, atingindo as temperaturas mínimas próximo às 6:00 h da manhã, nos momentos anteriores ao amanhecer. Padrão horário semelhante foi encontrado por Biudes (2008), sendo descrito como senoidal ao apresentar ciclos horários definidos.

Durante o período de estudo, os menores valores da UR para a área de pastagem foram observados em agosto (Tabela 5), com valor de 54,5%, evidenciando o efeito da distribuição e da ausência de precipitação na região da Baixada Cuiabana nos últimos meses do período seco (Figura 9). A média da UR da época avaliado foi de 70,2%, sendo que a máxima (80,5%), foi observada no mês de dezembro.

Devido ao excesso de chuvas observado no decorrer do ano de 2009, dos meses do período seco (maio a setembro) exceto agosto, todos obtiveram maior UR do que encontrado por Biudes (2008) no período corrente de 2007 e Neis et al. (2008) para o ano de 2004, com exceção do mês de julho. Ambos os autores realizaram seus trabalhos também no município de Santo Antônio de Leverger. Em escala horária (Figura 9), a UR

teve maior variação nos meses mais secos e nos horários mais quentes do dia, próximo das 15:00 h e pouco antes do amanhecer, às 06:00 h. A concentração dos menores níveis relativos ocorre entre 11:00 h e 17:00 h e as maiores entre 06:00 h e 07:00 h. Nota-se uma certa estabilidade nos níveis de umidade relativa durante o período noturno, principalmente na madrugada. As variações diurnas da *UR* ocorreram em concordância com as de temperatura, onde há mais calor durante o dia e há menos umidade e vice e versa. A amplitude diária de umidade registrada no período foi de, aproximadamente, 50%.

O déficit de pressão de vapor do ar (*dpv*) apresentou uma relação inversa à *UR*, com o maior valor médio de 1,8 kPa, para o mês de agosto (Figura 9, Tabela 5), caracterizado também como o mês mais seco dentro do período estudado, já o menor valor foi observado no mês de dezembro (0,74 kPa). Em escala horária, o *dpv* apresenta um padrão bem definido, com elevação nas primeiras horas do dia, ocorrendo o máximo no início da tarde, que passa a decrescer logo em seguida. Esse fato se dá em função de que nestes horários a atmosfera encontra-se mais seca, conforme observado por Souza Filho et al. (2005) e por *dpv* ser uma variável que depende tanto da *UR* quanto da *T* (Marengo e Lopes, 2005).

A Figura 9 e Tabela 5 ilustram a variação instantânea e a média mensal da velocidade do vento (*u*) na área de pastagem, para os meses de abril a dezembro de 2009. Observou-se que as maiores velocidades médias dos ventos ocorreram em meses na época seca, tais como agosto e setembro, devido ao maior aquecimento diferencial da superfície, o que proporciona maiores diferenças de pressão e, conseqüentemente, maiores velocidades do vento, conforme relatado por Silva Júnior et al. (2006).

Em relação ao curso diário da velocidade do vento, verificou-se que este acompanha as variações do balanço de radiação e, conseqüentemente da temperatura, sendo a velocidade do vento maior no período diurno, sob o efeito do balanço de radiação solar positivo. Resultados semelhantes para o comportamento da velocidade média do vento foram encontrados por Santana et al. (2008), ao estudar a direção e velocidade dos ventos no

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em Cuiabá, MT, localidade muito próxima e sem diferenças geográficas apreciáveis com Santo Antonio de Leverger (Oliveira et al., 2007).

A tendência da direção dos ventos é ilustrada na Figura 10, pelos gráficos de rosa dos ventos, para os meses de abril a dezembro de 2009. Constatou-se que a direção predominante do vento varia conforme as estações do ano, obedecendo à sazonalidade, como apontado por Santanna et al. (2008). Na primavera e no verão, a predominância dos ventos é na direção norte – nordeste (N – NE). Já no outono e no inverno, há a predominância dos ventos na direção sul – sudoeste (S – SW).

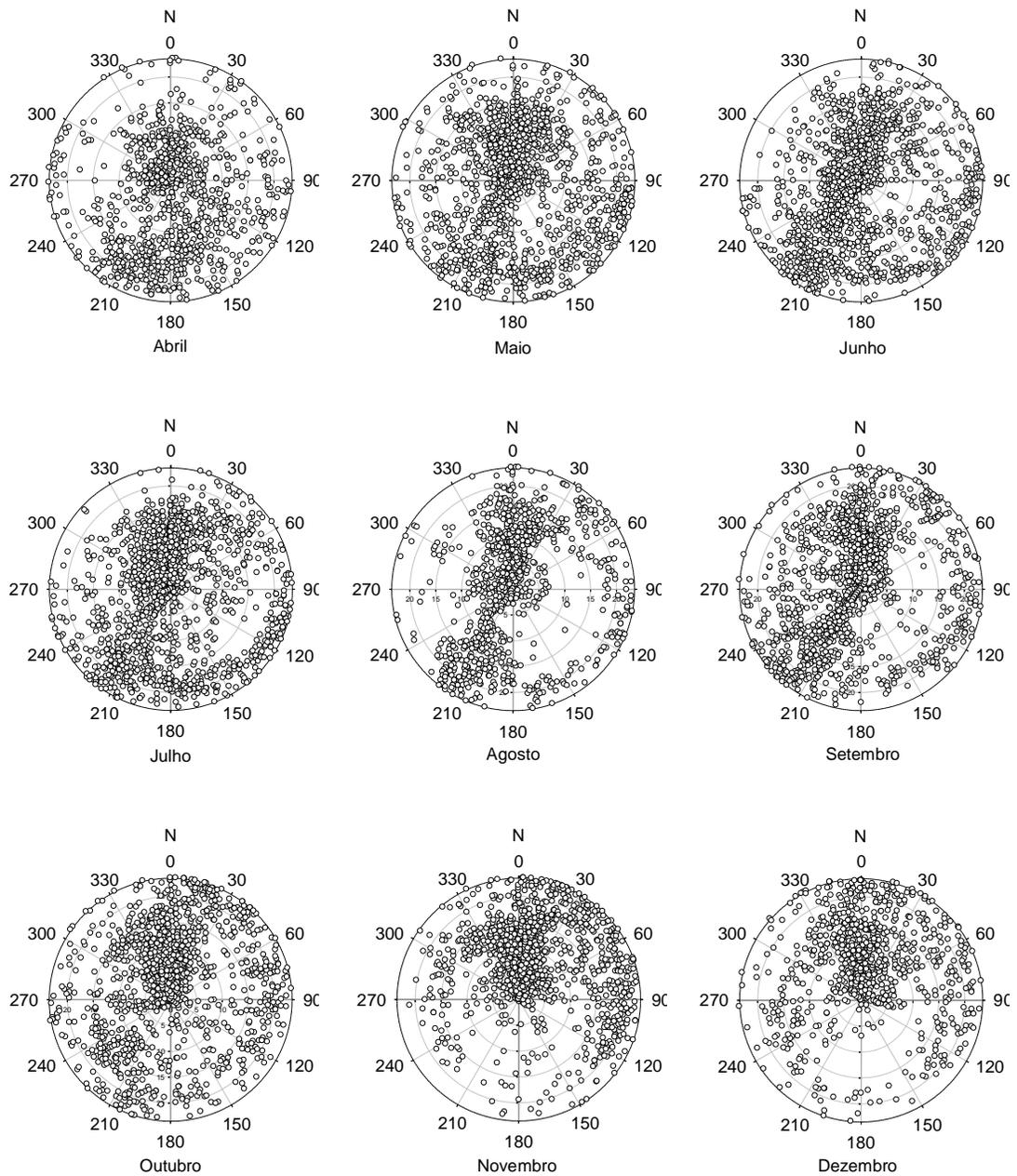


FIGURA 10. Tendência instantânea da direção dos ventos para os meses compreendidos entre abril e dezembro de 2009, na Fazenda Miranda. Onde a frequência, que varia de 0:00 h a 23:30 h, está plotada no eixo radial.

2.3.4 Frequência de rejeição de dados estimados pela razão de Bowen

Pela Tabela 6 é possível observar que a menor porcentagem de rejeição de dados, utilizando a metodologia descrita por Perez et al. (1999) ao estimar os componentes do balanço de energia pela razão de Bowen, foi notada entre os níveis z_2 e z_3 , no valor de 62,61%.

TABELA 6. Porcentagem de dados rejeitados no cálculo da estimativa dos componentes do balanço de energia pela razão de Bowen, utilizando a metodologia descrita por Perez et al. (1999).

Dados produzidos entre os níveis	Número de dados possíveis	Número de dados não descartados	Porcentagem de rejeição dos dados
z_1 e z_2	12288	1957	84,07
z_1 e z_3	12288	4127	66,41
z_2 e z_3	12288	4594	62,61

Utilizando a mesma metodologia descrita por Perez et al. (1999), Gavilán e Berengena (2007) e Silva et al. (2007b) encontraram uma porcentagem de exclusão menor do que o observado neste trabalho, com valores em torno de 37% e 49%, respectivamente. É possível que essa menor frequência de rejeição esteja relacionada com condições de maior cobertura do solo e da execução de irrigações periódicas realizadas pelos autores.

A Figura 11 mostra a frequência de rejeição média horária dos dados da razão de Bowen para o período estudado, de abril a dezembro de 2009, na área de pastagem na Fazenda Miranda.

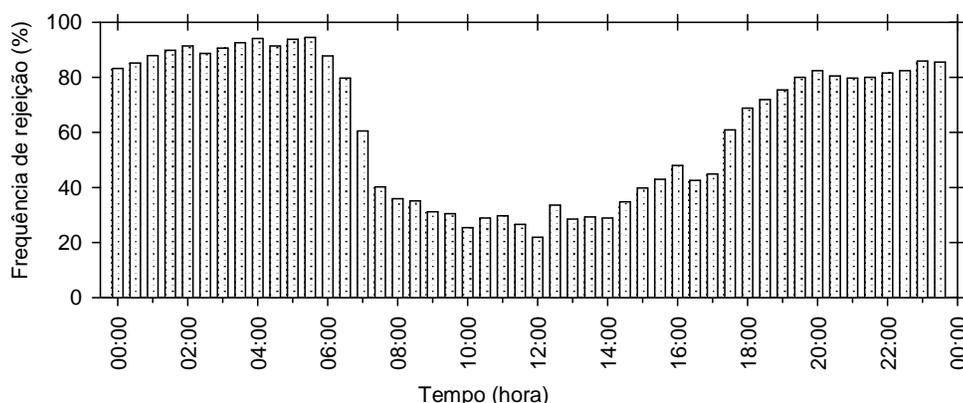


FIGURA 11. Frequência de rejeição dos dados para diferentes horas do dia durante o período estudado, para as alturas z_2 e z_3 , na área de pastagem da Fazenda Miranda, em Santo Antônio de Leverger, MT.

A partir das 7:00 h, quando a evapotranspiração começa a aumentar, até 17:00 h, foram observados valores de frequência de rejeição de até 22% (Figura 11). Após esse horário, a frequência aumentou durante a noite, alcançando um máximo durante o período da madrugada, com valores próximos de 95%. Da exclusão de 62,61% observada entre os níveis z_2 e z_3 (Tabela 6), 82% desse valor corresponderam às horas da noite e 18% às horas do dia. Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Silva et al. (2007b), ao relatarem que cerca de 90% dos casos de rejeição referia-se a dados do período noturno.

2.3.5 Variação mensal dos componentes do balanço de energia

A Tabela 7 apresenta as médias diárias das variáveis do balanço de energia na área experimental, para o período compreendido entre abril e dezembro de 2009.

TABELA 7. Totais diários do saldo de radiação (*Rn*), densidade de fluxo de calor no solo (*G*), densidade de fluxo de calor sensível (*H*) e latente (*LE*), na área de pastagem na Fazenda Miranda, de abril a dezembro de 2009.

Variável	Mês	Média (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Intervalo de Confiança da Média (95%)	
			Limite Superior (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Limite Inferior (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
<i>Rn</i>	Abril	11,08 ab	11,88	10,31
	Maio	8,39 bc	9,28	7,39
	Junho	7,13 c	8,12	5,97
	Julho	8,41 bc	9,28	7,32
	Agosto	9,88 ab	10,77	8,76
	Setembro	10,60 ab	11,77	9,15
	Outubro	11,73 a	12,97	10,40
	Novembro	11,94 a	13,48	10,28
	Dezembro	10,42 ab	12,14	8,39
<i>G</i>	Abril	1,44 ab	1,76	1,14
	Maio	0,66 c	1,11	0,18
	Junho	0,64 c	1,06	0,21
	Julho	1,48 abc	2,14	0,78
	Agosto	2,00 a	2,52	1,35
	Setembro	1,51 abc	2,25	0,74
	Outubro	2,18 a	2,74	1,63
	Novembro	1,53 abc	2,04	0,96
	Dezembro	0,84 bc	1,25	0,42
<i>H</i>	Abril	3,60 ab	4,03	3,19
	Maio	3,30 abc	3,76	2,83
	Junho	3,48 abc	4,00	2,95
	Julho	3,38 abc	3,78	2,96
	Agosto	4,24 ad	4,77	3,62
	Setembro	3,99 ab	4,58	3,35
	Outubro	3,14 bcd	3,57	2,65
	Novembro	2,42 d	2,75	2,09
	Dezembro	2,68 cd	3,14	2,17
<i>LE</i>	Abril	6,02 b	6,47	5,61
	Maio	4,41 c	4,75	4,08
	Junho	3,03 e	3,33	2,73
	Julho	3,55 d	3,75	3,39
	Agosto	3,51 de	3,77	3,23
	Setembro	5,11 c	5,56	4,70
	Outubro	6,41 b	7,00	5,85
	Novembro	7,98 a	8,65	7,20
	Dezembro	6,82 ab	7,81	5,75

Pela Tabela 7, observa-se que Rn apresentou padrão semelhante de variabilidade sazonal igualmente observado para Rg , com o maior valor médio mensal em novembro ($11,94 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e menor valor para o mês de junho ($7,13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), constatando-se o efeito da época do ano e das condições atmosféricas sobre Rn .

Silva et al. (2007a) também observaram que Rn acompanhou as variações sazonais da Rg em áreas de pastagem. Segundo Moura (2007), a variação notada nos valores de Rg e Rn podem estar associada com a variabilidade diária da cobertura de nuvens. Tipicamente, dias com maior incidência de radiação solar implicam em maiores T e Rn .

A densidade de fluxo de calor no solo (G), a qual variou entre os valores de $0,64 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (junho) e $2,18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (outubro), apresentou valores bem acima dos observados por outros autores que trabalharam com balanço de energia em áreas de pastagem, tanto na região do cerrado (Biudes et al., 2009), quanto na região amazônica (Galvão e Fisch, 2000). Esses elevados valores provavelmente estão relacionados com a característica de pouca cobertura da superfície do solo pela vegetação, observada na área de pastagem da Fazenda Miranda, resultando no favorecimento da incidência da radiação solar diretamente no solo e aumentando a participação de G nos valores totais de Rn (Oliveira et al., 2009).

A densidade de fluxo de calor sensível (H) apresentou os maiores valores para os meses da estação seca, com $4,33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $3,99 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, em setembro e agosto, respectivamente. O menor valor foi observado em novembro, com média diária de $2,42 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 7). Os resultados estão de acordo com comportamento de H apontado em pastagens da região amazônica (Galvão e Fisch, 2000) e em cerrado de campo aberto (Giambelluca et al., 2009), onde as maiores médias são observadas no período seco, tendo em vista que a diminuição da disponibilidade de água no solo, ocasionada pela baixa ou nenhuma precipitação que ocorre neste período, boa parte dos valores totais de Rn passam a ser destinados para o aquecimento do ar.

Os maiores valores da densidade de fluxo de calor latente (LE) foram notados em abril ($6,02 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), outubro ($6,41 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), novembro ($7,98 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e dezembro ($6,82 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e estão relacionados com a maior disponibilidade de água no solo para o processo evapotranspirativo, devido às precipitações ocorridas nesses meses ou, provavelmente, no final da estação chuvosa passada, como é o caso do mês de abril (Tabela 7). Comportamento semelhante de LE em áreas de pastagem foi relatado para o Cerrado (Biudes et al., 2009) e floresta Amazônica (Galvão e Fisch, 2000) e em áreas cobertas com florestas na região de transição Amazônia-Cerrado (Vourlitis et al., 2002; Priante Filho et al., 2004).

2.3.6 Partição dos componentes do balanço de energia

A Tabela 8 apresenta a partição do saldo radioativo pelos componentes do balanço de energia, para os meses compreendidos entre abril e dezembro de 2009, na área de pastagem na Fazenda Miranda.

TABELA 8. Partição da radiação solar incidente em saldo de radiação (Rn/Rg) e partição do saldo de radiação em densidade de fluxo de calor no solo (G/Rn), latente (LE/Rn) e sensível (H/Rn), na área de pastagem na Fazenda Miranda, para o período de abril a dezembro de 2009.

Mês	Rn/Rg (%)	G/Rn (%)	H/Rn (%)	LE/Rn (%)
Abril	72,64	25,95	36,84	37,21
Mai	70,70	31,30	42,49	26,21
Junho	68,33	34,04	45,59	20,37
Julho	67,88	43,52	40,25	16,23
Agosto	67,68	43,55	49,37	7,08
Setembro	72,56	38,37	44,08	17,54
Outubro	75,01	36,68	32,08	31,23
Novembro	77,59	29,01	22,48	48,51
Dezembro	78,47	23,61	25,86	50,53
Média	72,31	34,00	37,67	28,32

A Tabela 8 demonstra a relação entre Rn e Rg , para os dados obtidos na área de pastagem na Fazenda Miranda, considerando que a média de

todo período avaliado indicou que Rn representa cerca de 72% de Rg , com média mínima mensal de 67,68% (agosto) e máxima de 78,47% (dezembro). Segundo Sentelhas e Nascimento (2003), variáveis como nebulosidade e umidade do ar associadas ao regime de chuvas interferem no balanço de radiação, promovendo redução da perda de radiação na faixa de infravermelho termal, resultando maior saldo de radiação diário, aumentando a relação de Rn/Rg , como ocorrido no mês de novembro.

Ainda, pela Tabela 8, observa-se que a maior porção do saldo de radiação (Rn), em média, foi utilizada como H (37,67%), posteriormente como G (34,00%) e LE (28,32%). As maiores participações de LE no Rn ocorreram em novembro (48,51%) e dezembro (50,53%), meses pertencentes ao período chuvoso. É provável que esse comportamento esteja relacionado com uma condição de umidade mais elevada no solo em decorrência das chuvas, conforme relato de vários autores que encontraram maior participação de LE no balanço energético na época chuvosa utilizando o *BERB*, para vários tipos de cobertura vegetal (Hayashi et al., 2002; Meirelles et al., 2003; Pezzopane et al., 2007; Giambelluca et al., 2009).

A maior proporção de H na Rn foi observada no mês de agosto (49,37%) e a menor (22,48) em novembro (Tabela 8). A limitação do suprimento de água ao processo evapotranspirativo, que ocorre em meses do período seco, pode explicar a maior participação de H no balanço de energia, conforme constatação de vários autores (Galvão e Fisch, 2000; Pezzopane e Pedro Júnior, 2003; Santos et al., 2003; Lima et al., 2005; Oliveira et al., 2005; Pezzopane et al., 2007; Giambelluca et al., 2009; Oliveira et al., 2009). Segundo Lima et al. (2005) e Fernandes (2007), outro fator que pode favorecer que H represente uma considerável quantidade da energia disponível, ocorre quando a vegetação não cobre totalmente o solo.

Já para a porção de Rn utilizada pelo G , o maior valor (43,55) foi observado no mês de agosto (Tabela 8), período caracterizado pela baixa ocorrência de chuvas, aliado a redução da cobertura foliar que ocorre durante a estação seca (Biudes, 2008; Giambelluca et al., 2009). Outro fator que pode ter contribuído para a elevada participação de G no Rn , em

relação a outros estudos em área de pastagem (Galvão e Fisch, 2000; Biudes et al., 2009), é a peculiaridade da cobertura parcial do solo pela vegetação encontrada na área de estudo. De acordo com Kustas et al. (2000), caso o solo esteja totalmente coberto, a porcentagem de G gira em torno de 5 a 10% de Rn . No entanto, estando o solo coberto parcialmente, este valor aumenta consideravelmente, podendo variar de 20 a 40% do saldo radiativo. Segundo Oliveira et al. (2009), quando a cobertura do solo é reduzida, os fatores atmosféricos e do solo possuem uma maior participação do que os fatores da vegetação na variação dos componentes do balanço de energia. Fernandes (2007) também afirma que o fluxo de calor no solo pode atingir valores expressivos em relação à radiação líquida, enquanto que para uma superfície vegetada ele é um termo menor no balanço de energia. Em seu trabalho com a cultura de soja o autor encontrou G representando acima de 18% da Rn e concluiu que G pode ser considerável quando a cobertura do solo não for total.

Valores de G acima de 20% da Rn foram reportados por Biudes et al. (2008), ao trabalhar com estimativa de evapotranspiração em uma pastagem mista em condições de cerrado, utilizando, entre outros métodos, a razão de Bowen. Vale ressaltar que em um dos dias avaliados foram encontrados G/Rn acima de 40%, que, segundo os autores, ocorreu devido a entrada do gado para o pastejo que acarretou na diminuição no grau de cobertura do solo, com conseqüente aumento da fração da energia disponível para o aquecimento do solo.

2.3.7 Dinâmica horária dos componentes do balanço de energia

A dinâmica horária dos componentes do balanço de energia na área de pastagem na Fazenda Miranda, para o período compreendido entre abril e dezembro de 2009, é apresentada na Figura 12.

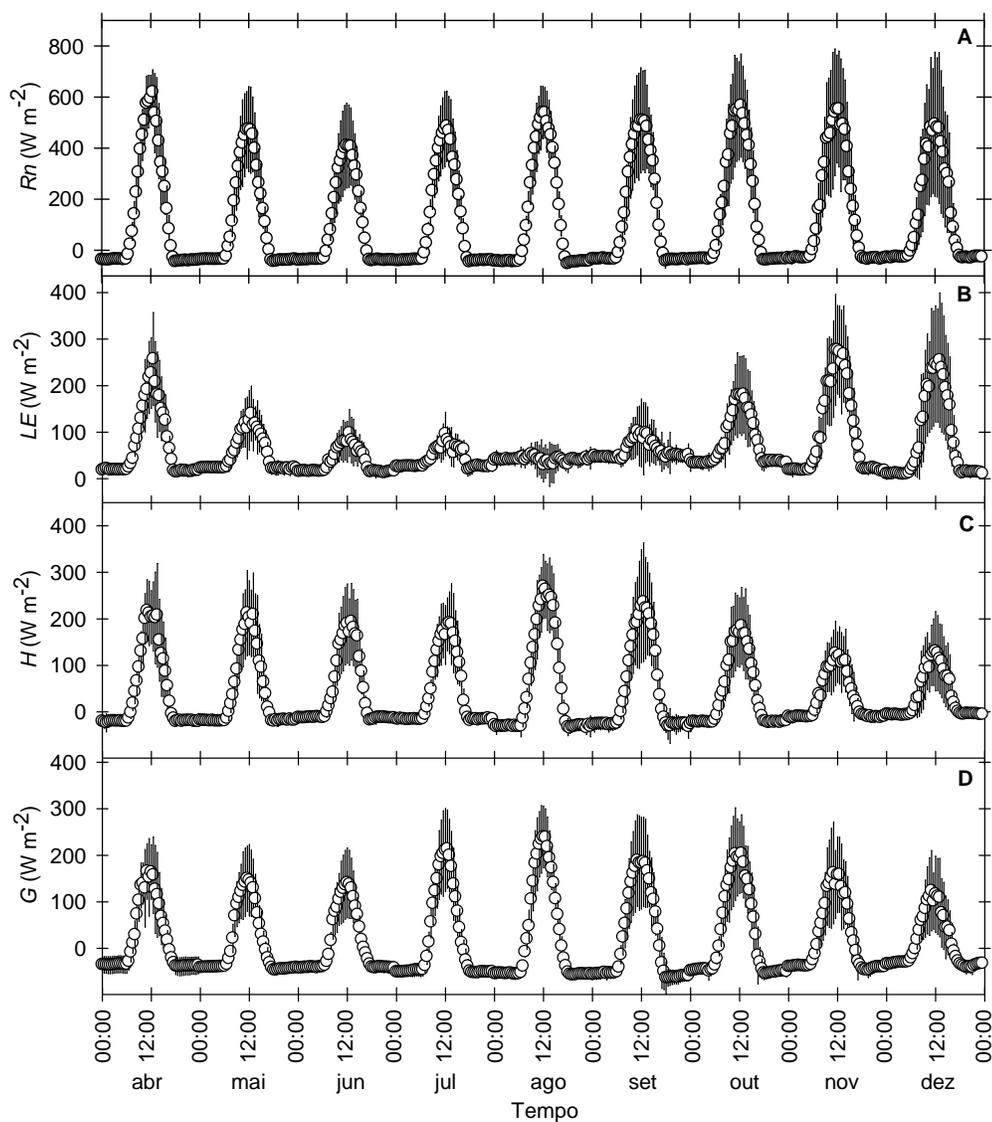


FIGURA 12. Dinâmica diária dos componentes do balanço de energia na área de pastagem na Fazenda Miranda, para o período de abril a dezembro de 2009.

Pela Figura 12 é possível observar que a variação horária dos componentes do balanço de energia apresentaram aumento a partir das primeiras horas do dia, atingindo máximos aproximadamente às 12:00 h, seguido por um decréscimo até o final da tarde, conforme descrito por Biudes et al. (2009).

Seguindo a variação da radiação global, o R_n apresentou seu maior valor no mês de abril ($619,89 \text{ W m}^{-2}$), diferente de LE que atingiu o máximo de $277,10 \text{ W m}^{-2}$ no mês de novembro, por estar relacionado com a maior disponibilidade hídrica no solo. Tanto H quanto G apresentaram seus máximos no mês de agosto, nos valores de $269,73 \text{ W m}^{-2}$ e $239,38 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente, devido, principalmente, à escassez das precipitações pluviais (Tabela 4).

A condição encontrada neste trabalho para a situação de alguns meses do período seco assemelha-se às observadas em regiões áridas e de vegetação heterogênea, pois a principal característica das curvas dos fluxos de energia nessas regiões é a curva de H ser maior do que a curva de LE , o que implica que, do total da energia radiante disponível, a maior parcela é utilizada para o aquecimento do ar acima da superfície (Pereira, 2006). Resultados semelhantes foram encontrados por Fontana et al. (1991), Cunha e Bergamaschi (1994) e Teixeira (2001), ao observarem elevados valores de G devido a influência do grau de cobertura do solo, sendo que em alguns casos, G chegou até superar H . Esses resultados referem-se ao estudo de balanço de energia para as culturas da soja, alfafa e banana, respectivamente.

Lima et al. (2005) acrescenta que quanto maior o conteúdo de água no solo, maior também será a quantidade de energia utilizada no processo de evaporação da água do solo, contudo, quando se inicia a secagem do solo, a maior parte do saldo de radiação começa a ser usada no processo de aquecimento do ar e do solo. Oliveira et al. (2009), estudando o balanço de energia em brejo paraibano, encontrou elevação no fluxos de calor no solo em função de uma menor umidade volumétrica, com conseqüente redução na quantidade de energia utilizada no processo de evaporação da água e do solo.

2.4 Conclusões

Os valores dos componentes do balanço de energia foram afetados

principalmente pela variabilidade na distribuição de chuvas ao longo dos meses, sendo o saldo de radiação utilizado, em média, como 28,32% na densidade de fluxo de calor latente, 37,67% como densidade de fluxo de calor sensível e 34,00% como densidade de fluxo de calor no solo.

Os componentes do balanço de energia apresentaram variação ao longo do período de estudo, sendo que a porção do saldo de radiação utilizada como densidade de calor latente foi maior em novembro e dezembro. A porção do saldo de radiação utilizada como densidade de fluxo de calor sensível foi maior para os meses de junho a setembro e a utilizada como densidade de fluxo de calor no solo foi maior para o período compreendido entre junho e outubro.

2.5 Referências Bibliográficas

ALVES, A.V.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2, p. 139-146, 1998.

ANDRÉ, R.G.B.; VISWANADHAM, Y. Distribuição de energia numa cultura de soja. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, p.27-39, 1986.

ANGELL, R.F.; SVEJCAR, T.; BATES, J.; SALIENDRA, N.Z.; JOHNSON D.A. Bowen ratio and closed chamber carbon dioxide flux measurements over sagebrush steppe vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.108, p.153-161, 2001.

ARAÚJO, T.L. **Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/LANDSAT 5**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Alagoas, 2006.

ARRUDA, J.C.; JORGE, A.; PRIANTE FILHO, N.; NOGUEIRA, J.S.; ALMEIDA FILHO, E.O.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; VOURLITIS, G.L. Aplicação de três metodologias para estimar o fluxo de calor latente em floresta de transição. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p.233-240, 2006.

BETTS, A.K.; DESJARDINS, R.L.; WORTH, D. Impact of agriculture, forest and cloud feedback on the surface energy budget in BOREAS. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, p.156-169, 2007.

BIUDES, M.S. **Balço de energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do pantanal.** 2008. 142 f. Tese (Doutorado em agricultura tropical). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UFMT, Mato Grosso, 2008.

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

BIUDES, M.S.; VALENTINI, C.M.A.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; NOGUEIRA, J.S. Estimativa da evapotranspiração numa pastagem mista, em condições de cerrado, pelos métodos de razão de Bowen e Penman-Monteith. **Ciência e Natura**, v. 30, p. 71-86, 2008.

BORGES, C.J.R.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, V.P.R.; CAMPOS, J.H.B.C.; MOURA, M.S.B.; SOARES, J.M.; SILVA, B.B. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.393-339, 2008.

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

CARDOSO, G.B.; VIANA, T. V.A.; AZEVEDO, B.M.; SOUSA, V.F.; SOUZA, F. de. Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicrômetros instalados a diferentes alturas. **Revista Ciência Agrônômica**, v.36, n.1, p.16-23. 2005.

CASEIRO, F.T.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; PRIANTE FILHO, N. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.), no período seco em Santo Antônio de Leverger – MT. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.0-0, 1997.

CELLIER, P.; OLIOSO, A. A simple system for automated long-term Bowen ratio measurement. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.66, n.1, p.81-92, 1993.

CHABOT, R., BOUARFA, S., ZIMMER, D., CHAUMONT, C., MOREAU, S. Evaluation of the sap flow determined with a heat balance method to measure the transpiration of a sugarcane canopy, **Agricultural Water Management**, v.75, p.10-24, 2005.

CHEN, S.; CHEN, J.; LIN, G.; ZHANG, W.; MIAO, H.; WEI, L.; HUANG, J.; HAN, X. Energy balance and partition in Inner Mongolia steppe ecosystems with different land use types. **Agricultural and Forest Meteorology**, p.1800-1809, 2009.

CHRISTIE, D. Resampling with Excel. **Teaching Statistics**. V. 26, n.1, p.9-14, 2004.

CLOTHIER, B.E.; KERR, J.P.; TALBOT, J.S.; Measured and estimated evapotranspiration from well-watered crops. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.25, p.301-307, 1982.

CUNHA, A.R.; ESCOBEDO, J.F.; KLOSOWSKI, E.S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n.6, p.753-743, 2002.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.2, p.9-16, 1994.

DINIZ, G.L.; FONSECA, M.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana. **Biomatemática**, v.18, p.37-48, 2008.

DIRMEYER, P.A. Vegetation stress as a feedback mechanism in midlatitude drought. **Journal of Climate**, v.7, n.10, p.1463-1483, 1994.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FARIAS, S.E.M.; MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C.; NOGUEIRA, J.L.M.; GUERRA, A.F.; MANZI, A.O. Balanço de energia em cultivo de milho no cerrado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.2, p.227-233, 2004.

FEITOSA, J.R.P.; COSTA, R.F.; FISCH, G.; SOUZA, S.S.; NOBRE, C.A. Radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.1, p.1-7, 1998.

FERNANDES, J.E. Estudo do calor sensível e latente obtidos por intermédio da razão de Bowen em uma cultura de soja irrigada. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 281-286, 2007.

FIGUEREDO, P.S. Fenologia e estratégias reprodutivas das espécies arbóreas em uma área marginal de cerrado, na transição para o semi-cerrado no nordeste do Maranhão, Brasil. **Revista Tropica**, v.2, n.2, p.8, 2008.

FISCH, G. **Camada Limite Amazônica: Aspectos Observacionais e de Modelagem**. 171f. 1996. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1996.

FISCH, G.; LEAN, J.; WRIGHT, I.R.; NOBRE, C.A. Simulações climáticas do

efeito do desmatamento na região Amazônica: estudo de um caso em Rondônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, p.33-48, 1997.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, n.26, p.403-10, 1991.

FRISINA, V.A.; ESCOBEDO, J.F. Balanço de radiação e energia da cultura de alface em estufa de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.10, p.1775-1786, 1999.

GALVÃO, J.A.C.; FISCH, G. Balanço de energia em áreas de floresta e de pastagem na Amazônia (Ji-Paraná, RO). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, n.2, p.25-37, 2000.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J. Accuracy of the Bowen ratio-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment. **Irrigation Science**, v.25, p.127-140, 2007.

GIAMBELLUCA, T.W.; SCHOLZ, F.G.; BUCCI, S.J.; MEINZER, F.C.; GOLDSTEIN, G.; HOFFMANN, W.A.; FRANCO, A.C.; BUCHERT, M.P. Evapotranspiration and energy balance of Brazilian Savannas with contrasting tree density. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.1365-1376, 2009.

HAYASHI, M.M.S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; PRIANTE FILHO, N.; NOGUEIRA, J.S.; VOURLITIS, G.L. Balanço de energia da *Crotalaria juncea* L. no período seco e no período úmido do ano, em condições de Cerrado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.2, p.197-205, 2002.

HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirement for Bowen ratio measurement of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.44, p.261-73, 1989.

KARAN, H.A.; PEREIRA FILHO, A.J. Revisão dos métodos de Penman e Penman-Monteith e sua aplicação a cânions urbanos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.1, p.86-106, 2006.

KUSTAS, W.P.; STANNARD, D.I.; ALLWINE, K.J. Variability in surface energy flux partitioning during Washita'92: resulting effects on Penman-Monteith and Priestly-Taylor parameters. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.82, p.171-93, 1996.

KUSTAS, W.P.; PRUEGER, J.H.; HATFIELD, J.L.; RAMALINGAM, KHIPPS, L.E. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. **Agricultural and Forest Meteorological**, v.103, p.249-264, 2000.

LEITÃO, M.M.V.B.R.; MOURA, M.S.B.; SALDANHA, T.R.F.C.; SOBRINHO, J.E.; OLIVEIRA, G.M. Balanço de radiação sobre um solo descoberto para quatro períodos do ano. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 15, p. 57-63, 2000.

LEITAO, M.M.V.B.R.; OLIVEIRA, G.M. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.214-218, 2000.

LEITAO, M.M.V.B.R.; OLIVEIRA, G.M.; LEITAO, T.J.V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação para duas regiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p. 585-593, 2007.

LENZA, E.; KLINK, C.A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, n.4, p.627-638, 2006.

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

LIMA, N.G.B.; GALVANI, E. Análise da variação da temperatura do ar no ambiente manguezal e em uma estação meteorologia automática (PCD), localizados no município de Iguape/SP. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa – MG. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. 2005. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, Respiração, Relações Hídricas e Nutrição Mineral**, Editora UFV. Viçosa, MG. 451p.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima ácida "Tahiti". **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, v.17, n.2, p.219-228, 2002.

MEIRELLES, M.L.; FARIAS, S.E.M.; FRANCO, A.C. Balanço de energia de uma pastagem cultivada no cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 81**. Planaltina-DF: EMBRAPA, 2003. 14 p.

MONTEIRO, M.B.C.; AZEVEDO, T.R. Comparação do perfil vertical da temperatura e da umidade relativa do ar em fragmentos de Mata Atlântica no interior e arredores da cidade de São Paulo, SP. **Estudos geográficos**, v.3, n.2, p.01-13, 2005.

MOURA, R.G. **Estudo das radiações solar e terrestre acima e dentro de**

uma floresta tropical úmida. 2007. 147f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, SP, 2007.

NEIS, E.C.; MARIANI, R.L.; BARBOSA, A.M.; NOGUEIRA, J.S. Material particulado atmosférico e correlações com as variáveis meteorológicas e queimadas em Cuiabá, MT. **Ciência e Natura**, v.30, n.2, p.43-56, 2008.

OLIVEIRA, A.S.; GAIO, D.C.; WYREPKOWSKI, C.C.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; LOBO, F.A.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L.; PALÚ, A.E.R.; RODRIGUES, V. Eficiência de utilização da radiação fotossinteticamente ativa na produção de matéria seca de uma pastagem mista no cerrado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.15, n.3, p.299-303, 2007.

OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, M.M.V.B.R. Estimativas de Evapotranspiração e as conseqüências aos erros na determinação de saldo de radiação e efeitos advectivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.343-347, 2000.

OLIVEIRA, I.A.; LIMA, J.R.S.; SILVA, I.F.; ANTONINO, A.C.D.; GOUVEIA NETO, G.C.; LIRA, C.A.B.O. Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.185-191, 2009.

ORTEGA-FARIAS, S.O.; CUENCA, R.H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.81, p.131-143, 1996.

PENSO, S.; BAUER, M.O.; CHICHORRO, J.F.; GONDIM, C.A.; VASCONCELOS, L.V. caracterização estacional de uma pastagem natural do cerrado Mato-Grossense submetida ao pastejo. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, n.1, p.124-134, 2009.

PEREIRA, L.C. **Caracterização do balanço de energia no Vale do Curaçá – Bahia.** 2006. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Geofísica) – Curso de Pós-graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 2006.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração.** 1. ed. Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183p.

PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBÁÑEZ, M.; ROSELL, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.97, n.3, p.141-50, 1999.

PEREZ, J.P.; 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**, Amsterdam, v. 148, p.25-37, 2008.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JUNIOR, M.J. Balanço de energia em vinhedo de 'Niagara Rosada'. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.155-161, 2003.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JUNIOR, M.J.; GALLO, P.B. Balanço de energia em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.15, n.2, p.169-177 2007.

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

RIGHI, E.Z. **Balanço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. 2004. 168f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2004.

SANTANNA, F.B.; ARRUDA, P.H.Z.; FARIA, J.L.B.; NOGUEIRA, J.S. Estudo preliminar da velocidade e direção dos ventos, em Cuiabá, MT, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. V.16, n.2, p.175-180, 2008.

SANTOS, A.J.B.; SILVA, G.D.T.A.; MIRANDA, H.S.; MIRANDA, A.C.; LLOYD, J. Effects of fire on surface carbon, energy and water vapour fluxes over campo sugo savanna in central Brazil. **Functional Ecology**, v.17, p.711-719, 2003.

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. 2, p.249-260, 2009.

SENTELHAS, P.C.; NASCIMENTO, A.L.C. Variação sazonal da relação entre o saldo de radiação e a radiação solar global. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.18, n.1, p.71-77, 2003.

SILVA, D.B.S; FOLEGATTI, M.V.; VILLA NOVA, N.A.; CARVALHO, D.F. Relações do saldo de radiação em grama batatais e capim tanzânia com a radiação solar global em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.15, n.3, p.250-256, 2007a.

SILVA, L.D.B. **Evapotranspiração do Capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e Grama Batabais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem.** 2003. 104f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.

SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V.; VILLA NOVA, N.A. Evapotranspiration of Guinea grass using automated Bowen ratio system and lysimeter. **Revista Engenharia Agrícola**. V.25, n.3, p.705-712. 2005.

SILVA, T.J.A.; FOLEGATTI, M.V.; SILVA, C.R.; ALVES JÚNIOR, J.; BONFIM-SILVA, E.M. Balanço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo Método da Razão de Bowen. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.392-403, 2007b.

SILVA JÚNIOR, J.A.; COSTA, R.F.; COSTA, A.C.L.; GONÇALVES, P.H.L.; BRAGA, A.P.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L.E.O.E.C.; MEIER, P. Sazonalidade de elementos meteorológicos em ecossistema de Manguezal na Região Equatorial, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p.241-247, 2006.

SOARES, J.M.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B. Bowen ratio-energy balance associated errors in vineyards under dripping irrigation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, p.233-240, 2007.

SOUZA FILHO, J.D.C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; COHEN, J.C.P. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. **Acta Amazônica**, v.35, n.2, p.223-129, 2005.

TEIXEIRA, A.H.C.; BASSOI, L.H.; REIS, V.C.S.; SILVA, T.G.F.; FERREIRA, M.N.L.; MAIA, J.L.T. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações meteorológicas automáticas e convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n.3, p.457-460, 2003.

TEIXEIRA, A.H.C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.28-32, 2001.

TODD, R.W.; EVETT, S.R.; HOWELL, T.A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfafa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, p.335-348, 2000.

UNLAND, H.E.; HOUSER, P.R.; SHUTTLEWORTH, W. J.; YANG, Z. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid Sonoran Desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.82, p.119-153, 1996.

VALENTINI, C.M.A.; ARRUDA, J.C.; SANCHES, L.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; PAULO, S.R.; PRIANTE FILHO, N. Balanço de energia em *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex. A. Rich) Stapf no cerrado Mato-Grossense pelo método da razão de Bowen. **Revista Agricultura Tropical**, v.9, p.58-67, 2007.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital. 2006.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE-FILHO, N.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.; CASEIRO, F.T.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brasil. **Water Resources Research**, v.38, p.1-11, 2002.

WILSON, K.B.; BALDOCCHI, D.D. Seasonal and interannual variability of energy fluxes over a broadleaf temperate deciduous forest in North America. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.100, n.1, p.1-18, 2000.

ZHANG, Y.; LIU, C.; SHEN, Y.; KONDOH, A.; TANG, C.; TANAKA, T.; SHIMADA, J. Measurement of evapotranspiration in a winter wheat field. **Hydrological Processes**, v.16, p.2805-2817, 2002.

ZHAO, W.; LIU, B.; ZHANG, Z. Water requirements of maize in the middle Heihe River basin, China. **Agricultural Water Management**, 2009.

**3 EFEITO DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NO INTERCÂMBIO
GASOSO DE CAMBARÁ (*Vochysia divergens* Pohl) E LIXEIRA (*Curatella
americana* L.) EM ÁREA DE PASTAGEM NO CERRADO MATO-
GROSSENSE**

RESUMO – O intercâmbio gasoso é afetado pelas condições micrometeorológicas, porém, em muitos casos e em especial para espécies nativas, a aclimação das plantas a condições precedentes contribui para o seu desempenho fisiológico posterior. Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o grau de associação entre valores das variáveis do intercâmbio gasoso e alguns elementos do clima prevalentes no momento da medição e tomados como valores médios do dia anterior, para duas espécies vegetais *Vochysia divergens* e *Curatella americana* que ocorrem na região e duas idades de folhas (jovens e adultas), no caso de *V. divergens*. O trabalho foi realizado em uma área de pastagem no Cerrado Mato-Grossense, situado no município de Santo Antônio de Leverger e distante 15 km de Cuiabá, para o período compreendido entre maio e dezembro de 2009. Com base nos resultados, concluiu-se que as taxas do intercâmbio gasoso de *V. divergens* foram afetadas tanto pelas condições ambientais passadas quanto pelas prevalentes na manhã das medições, com a participação significativa de todas as variáveis microclimáticas estudadas apenas para a segunda situação. Dentro da idade de folhas de *V. divergens*, as jovens demonstraram maior sensibilidade às variações das condições meteorológicas em relação às adultas. Por outro lado, em nenhum momento as taxas do intercâmbio gasoso de *C. americana* apresentaram correlação significativa com as variáveis ambientais, como se a espécie fosse sensível às mudanças instantâneas das condições microclimáticas, dentro dos limites empregados neste estudo.

Palavras-chave: fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração.

**EFFECT OF MICROCLIMATIC VARIABLES IN EXCHANGE GASEOUS OF
CAMBARÁ (*Vochysia divergens* Pohl) AND LIXEIRA (*Curatella Americana*
L.) IN PASTURE AREA OF MATO-GROSSENSE CERRADO**

ABSTRACT – Leaf gas exchange is affected by micrometeorological conditions, but in many cases and especially for native species, plant acclimation to prior conditions contributes to their physiological performance later. In this sense, the objective of this research was to assess the association between leaf gas exchange and climate variables prevailing at the time of measurement and taken as average values of the previous day, for two plant species *Vochysia divergens* and *Curatella americana* representatives of the region and two leaf ages (young and adult), in the case of *V. divergens*. The work was performed in a pasture in the Cerrado of Mato Grosso, located in Santo Antonio de Leverger 15 km SSE from Cuiabá, for the period between May and December of 2009. Based on the results, it was concluded that *V. divergens* gas exchange rates were affected by both the past environmental conditions and prevailing conditions on the morning of the measurements. Within the ages of leaves of *V. divergens*, the young leaves showed greater sensitivity to variations in weather conditions as compared to older leaves. In contrast, the gas exchange of *C. americana* leaves were not significantly correlated with environmental variables. It's like *C. americana* respond instantly to changes in microclimate that occur in the environment.

Key-words: net photosynthesis, stomatal conductance and transpiration.

3.1 Introdução

O Cerrado, a segunda maior formação vegetal do Brasil, apresenta grande diversidade fisionômica e florística em seus domínios (Borges e Shepherd, 2005). No entanto, grande parte das áreas de cerrado já não possui mais a cobertura vegetal original, sendo atualmente ocupada por paisagens antrópicas (Silva et al., 2002).

Com o agravamento dos problemas ambientais em razão do avanço das fronteiras agrícolas no cerrado, em detrimento das áreas naturais, tem aumentado o interesse dos pesquisadores em estudar as conseqüências dessas transformações e procurar soluções (Coutinho, 2006).

Segundo Pereira et al. (1986), o monitoramento periódico das variações sazonais e diurnas do potencial hídrico foliar e das trocas gasosas, quando associadas com medições da condutância estomática e das variações climáticas e edáficas, podem servir como importantes ferramentas para a compreensão de como determinada espécie ou determinado genótipo utiliza os recursos disponíveis do ambiente e de como as flutuações sazonais destes recursos afetam a produtividade primária das plantas.

De acordo com Larcher (2000), fatores climáticos, como temperaturas excessivamente altas ou baixas e precipitação deficiente são significativas fontes de estresse abiótico. Mudanças interanuais nas variáveis climáticas podem influenciar adversamente a produção de biomassa, alterando a taxa de acumulação de biomassa e o período e taxa de senescência (Lee et al., 2002).

No entanto, a variação sazonal da taxa de fotossíntese e da condutância dos estômatos em espécies arbóreas, nas regiões tropicais, também está relacionada com as condições de déficit de pressão de vapor do ar, temperatura do ar e principalmente umidade do solo, característica de cada estação do ano (Eamus e Cole, 1997; Prior et al., 1997).

Machado e Lagôa (1994) relatam que estudos detalhados das repostas e regulação da abertura estomática, em função da variação do

estádio fisiológico, da espécie e de cada fator ambiental, têm sido feitos com sucesso em laboratório. Porém, sob condições naturais, devido à variação dos fatores ambientais, a avaliação dos mecanismos de regulação de abertura estomática e das trocas gasosas é mais complexa.

Nas condições de Cerrado Mato-Grossense, observam-se em espécies arbóreas da região, que fluxos característicos de crescimento vegetativo ocorrem em função das estações do ano e que, possivelmente, estão relacionados com variações na taxa de fotossíntese. No entanto encontram-se poucas referências a estudos sobre fotossíntese em diferentes meses do ano para o referido bioma.

Para isso, o conhecimento das interações de alguns atributos fisiológicos com variáveis microclimáticas, principalmente em espécies que por alguma razão são de importância para o bioma Cerrado, como o cambará (*Vochysia divergens*) e a lixeira (*Curatella americana*), é de grande importância para o entendimento do comportamento dessas plantas no ambiente em questão.

Ambas as espécies são consideradas como pioneiras e invasoras de pastagens. Porém a *C. americana* é classificada como planta decídua e suas folhas possuem uma duração média de 12 meses, sendo uma característica marcante para a maioria de plantas decíduas a substituição por completa de suas folhas no final da estação da seca (Monasterio e Sarmiento 1976; Montes e Medina, 1977; Silva, 2005; Araújo e Haridasan, 2007) e início da estação chuvosa (Eiten, 1972, 1978; Ferri, 1944, 1955, 1961; Ferri e Coutinho, 1958; Franco, 2002b; Grisi, 1971a, b; Perez e Moraes, 1991). A *V. divergens* possui fenologia de plantas sempre-verdes, sendo caracterizada pela maior longevidade de folhas que permanecem por no mínimo um ano na planta (Franco et al., 2005).

Outra diferença marcante entre *C. americana* e *V. divergens* é pela primeira ser natural da região dos cerrados e por apresentar características xeromórficas, consideradas como estratégicas na redução da perda de água para os meses do período seco, típicos do clima sazonal das Savanas Tropicais (Santos et al., 2006; Franco et al., 2007). Já *V. divergens* é original

da região amazônica e apresenta características ecológicas e fisiológicas, as quais favorecem seu rápido espalhamento e dominância em campos sazonalmente inundados. Sua alta taxa de crescimento sob intensa luminosidade, sua tolerância à condição de prolongado alagamento, a capacidade de suas plântulas para manter suas folhas intactas embaixo da superfície da água e a grande produção de sementes espalhadas pelo vento e água são algumas delas (Arieira e Nunes da Cunha, 2006; Santos et al., 2006).

Devido à escassez de estudos envolvendo a ecofisiologia da lixeira e do cambará, teve-se como objetivo avaliar o grau de associação entre variáveis do intercâmbio gasoso e alguns elementos do clima prevalentes no momento da medição e tomados como valores médios do dia anterior, para duas espécies vegetais (*C. americana* e *V. divergens*) e duas idades de folhas (jovens e adultas), no caso de *V. divergens*.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi conduzido em uma área de pastagem situada no município de Santo Antônio de Leverger, mais precisamente na Fazenda Miranda, localizada a 15 km a sudeste de Cuiabá (coordenadas: 15°43'53,65" Sul e 56°04'18,88" Oeste e altitude média de 157 m). É uma região de savana sazonal com uma camada relativamente contínua de gramíneas perenes com uma camada descontínua de árvores com uma forma de crescimento baixa e quase arbustiva. A maioria das árvores e arbustos possui uma casca grossa, troncos retorcidos e folhas escleromórficas.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (Bastos,1972), com uma temperatura média mensal variando entre 22°C e 28°C, e uma precipitação média anual de 1320 mm ano⁻¹. Nesta área ocorre um período de déficit hídrico, o qual se inicia em maio e termina em setembro, sendo que, do início de junho ao final de agosto a precipitação média mensal é menor que 15 mm e a evapotranspiração média mensal ultrapassa os 75 mm.

O solo é pouco desenvolvido, em consequência da exposição recente, com ocorrência de solos litólicos distróficos, os quais também podem apresentar-se na forma de concrecionários (Plintossolos) distróficos, às vezes epicascalhentos (EMBRAPA, 1999).

3.2.2 Material vegetal

Foram estudados indivíduos jovens em condições naturais para duas espécies em questão, a *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) (cambará) e *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) (lixeira), comuns na fitofisionomia da área de estudo e consideradas invasoras de pastagens, porém pertencentes a diferentes grupos fenológicos segundo sua deciduidade (Figura 13).

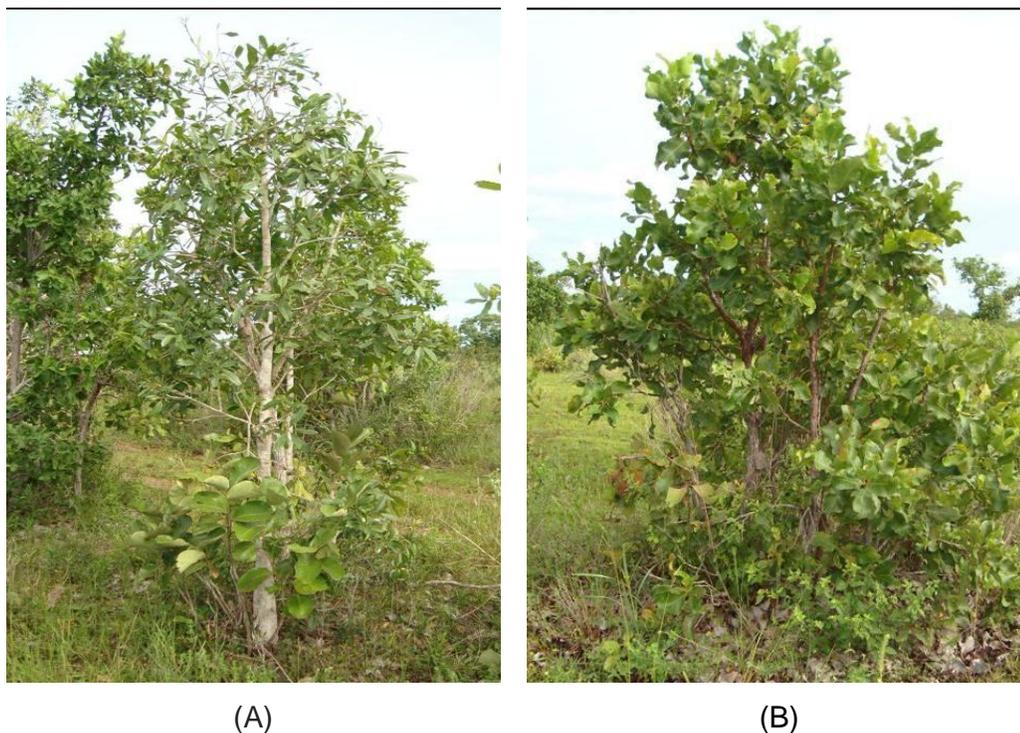


FIGURA 13. *Vochysia divergens* (A) e *Curatella americana* (B).

3.2.3 Medições de intercâmbio gasoso

As medições de intercâmbio gasoso foram realizadas uma vez por mês, no período compreendido entre maio e dezembro de 2009. De cinco indivíduos de ambas as espécies estudadas, as medidas foram realizadas durante o período da manhã, das 7:30 h às 12:30 h (horário local), em folhas que estavam totalmente expostas ao sol, sem sinais de injúrias, herbivoria ou ataque de patógenos e localizadas no terço médio da copa. Considerou-se folha jovem (*FJ*) a primeira do ramo, e folha adulta (*FA*) a terceira folha no sentido basípeto.

Utilizando-se um sistema portátil de medição da fotossíntese modelo LI-6400 (LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA), foi realizada uma primeira avaliação do intercâmbio gasoso, medindo-se a condutância estomática (g_s), taxa fotossintética líquida potencial (A) e a taxa transpiratória (E). O equipamento foi ajustado para fornecer uma condição potencial à planta, com densidade de fluxo fotossinteticamente ativo de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*PAR*), temperatura do bloco de 28°C , umidade relativa do ar de referência

próxima de 60% e a concentração de CO₂ do ar de referência de cerca de 400 μmol mol⁻¹, a fim de padronizar as condições nas quais as plantas foram avaliadas.

3.2.4 Características microclimáticas

Para obtenção das variáveis microclimáticas, foi instalada uma estação meteorológica automática numa torre micrometeorológica, localizada próxima do sítio experimental. Na estação, encontravam-se acoplados sensores de temperatura e umidade relativa do ar modelo HMP 45AC (Vaisala, Inc., Helsinki, Finland), e um sensor quantum modelo LI-190SB-L (LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA), medindo a radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*). O déficit de pressão de vapor d'água do ar (*dpv*) foi calculado pela diferença entre a pressão de vapor d'água do ar saturado (*e_s*) e a pressão de vapor d'água do ar atual (*e*), conforme a eq. (16):

$$dpv = e_s - e \quad (16)$$

A pressão de vapor d'água do ar saturado (*e_s*) foi calculada aplicando-se a eq. (17):

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left(\frac{7,5T}{237,3+T} \right)} \quad (17)$$

em que, *T* é a temperatura do ar, em °C, e *e_s* expressa em kPa.

A pressão de vapor d'água do ar atual (*e*), por sua vez, foi calculada pela eq. (18):

$$e = \frac{e_s UR}{100} \quad (18)$$

em que, *UR* é a umidade relativa atual do ar, em %.

Os equipamentos da estação meteorológica foram alimentados com tensão de 12 V por uma bateria de 150 Ah, carregada por meio de um painel solar de 65 W e com regulador de tensão.

Os dados micrometeorológicos foram coletados por meio de sensores de aquisição de dados, ligados a um datalogger CR 1000 (Campbell Scientific, Inc., USA), com intervalo de leitura de 30 segundos e registro das médias a cada 30 minutos.

3.2.5 Análise estatística

Neste trabalho o coeficiente de correlação r foi utilizado para verificar a relação entre as variáveis de intercâmbio gasoso (g_s , A , E) e variáveis ambientais (PAR , T , UR , dpv) da manhã do mesmo dia (das 7:30 às 12:30) e da média diária anterior à medição do intercâmbio gasoso.

Em decorrência da característica de sempre-verdes de *V. divergens*, foi possível correlacionar variáveis ambientais com as variáveis do intercâmbio gasoso de duas idades de folhas (FJ , FA). Para *C. americana*, considerou-se apenas a idade em que as folhas encontravam-se no momento da medição.

Para cada variável das trocas gasosas (g_s , A , E) foi aplicada à técnica do “bootstrap” com 1000 sub-amostragens, com o intuito de se obter os intervalos de confiança dos resultados e permitir, com isso, a comparação de médias sob diferentes tratamentos (Christie, 2004).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Caracterização climática

Pelo resumo das condições meteorológicas ocorridas entre maio e dezembro de 2009 na área experimental (Figura 14), é possível observar que durante todo o período do estudo houve precipitação, mesmo para os meses que geralmente não apresentam tal fenômeno para a região de Santo Antônio de Leverger, como é o caso de junho, agosto e setembro (Caseiro et al., 1997; Penso et al., 2009).

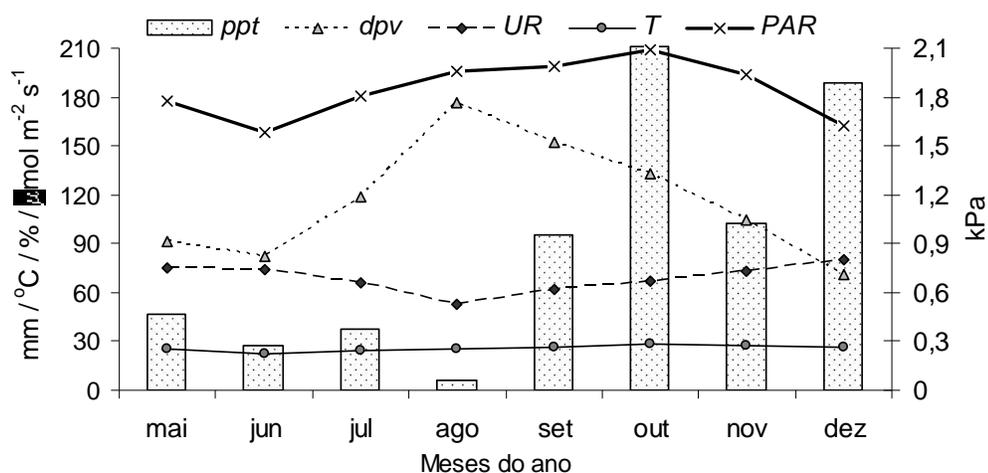


FIGURA 14. Médias mensais da precipitação pluviométrica (*ppt*, em mm), umidade relativa do ar (*UR*, em %), temperatura média do ar (*T*, em °C), radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*, em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e déficit de pressão de vapor do ar (*dpv*, em kPa) na Fazenda Miranda, para o período compreendido entre maio e dezembro de 2009.

O *dpv* apresentou a maior média para o mês de agosto, período também caracterizado pela menor *UR* observada durante o estudo. A *T* apresentou valores mais baixos nos meses de junho e julho, com médias de 22,9 e 24,3 °C, respectivamente, e os meses mais quentes foram outubro e novembro, com médias de 28,1 e 27,8 °C, respectivamente. Já a *PAR* apresentou as menores médias para junho e dezembro, o que está

associado com a diminuição da incidência da radiação solar na região e a atenuação da radiação solar pela nebulosidade característica da época chuvosa, respectivamente.

3.3.2 Comportamento das espécies durante o período do estudo

Segundo Lenza e Klink (2006), variações quanto ao grupo fenológico podem ocorrer de acordo com as condições edáficas ou climáticas, podendo as espécies apresentar plasticidade fenotípica. O termo plasticidade fenotípica refere-se à capacidade que alguns indivíduos possuem de alterar suas características externas (fenótipo) sem que mudanças genotípicas sejam necessárias (Scheiner, 1993). Para a *C. americana* esta plasticidade foi observada, uma vez que durante o período de estudo a distribuição da precipitação não foi a mesma comparada aos anos anteriores.

Em virtudes das alterações no regime pluviométrico no período de observação, com antecipação das chuvas, pôde-se observar que, no final da estação seca, época em que a *C. americana* fica totalmente sem as folhas, haviam folhas de duas épocas diferentes presentes na mesma árvore, algumas desenvolvidas durante a temporada anterior, e folhas novas que estavam em desenvolvimento, fazendo com que *C. americana* se comportasse como plantas brevidecíduas. Essa alteração é comum segundo Peixoto (2007).

Durante todo o período de estudo verificou-se que a *V. divergens* lançava novas folhas, ou seja, sempre haviam folhas jovens e adultas ao longo do tempo.

3.3.3 Avaliação do intercâmbio gasoso potencial

Os valores médios da fotossíntese (A) para *V. divergens*, observados no período experimental (Tabela 9), ficaram em torno de $11,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $9,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para folhas jovens e adultas, respectivamente, não havendo diferença significativa entre esses valores. É sabido que, durante o desenvolvimento das plantas, a atividade fotossintética por área foliar aumenta com a idade da folha, até a sua expansão máxima, decrescendo

após, até a sua senescência (Pimentel e Rossiello, 1995). Segundo Kikuzawa (1995), em espécies com contínua produção de folhas, novas folhas emergem quando a capacidade fotossintética da folha imediatamente inferior decresce ou se torna senescente. Kitajima et al. (2002) acrescenta que o declínio na taxa fotossintética não é um descontrolado mecanismo de deteriorização fisiológica, mas é causada por uma redistribuição de recursos, especialmente de nitrogênio em folhas jovens para favorecer o ganho fotossintético.

TABELA 9. Valores médios potenciais de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas de plantas de *V. divergens* (FJ e FA) e *C. americana*, observados ao longo do período experimental.

Variável	Espécie – idade das folhas	Média	Intervalo de Confiança da Média (95%)	
			Limite Superior	Limite Inferior
A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	<i>V. divergens</i> – FJ	11,57 ab	12,74	10,46
	<i>V. divergens</i> – FA	9,55 b	10,62	8,51
	<i>C. americana</i>	12,06 a	13,02	11,07
g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	<i>V. divergens</i> – FJ	0,21 b	0,25	0,18
	<i>V. divergens</i> – FA	0,19 b	0,23	0,15
	<i>C. americana</i>	0,32 a	0,37	0,27
E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	<i>V. divergens</i> – FJ	3,46 ab	3,91	3,03
	<i>V. divergens</i> – FA	2,90 b	3,28	2,57
	<i>C. americana</i>	3,79 a	4,10	3,47

Para *C. americana* observou-se um valor médio de A ($12,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) maior do que FA de *V. divergens*, mas não diferente da FJ (Tabela 9). Os valores de A obtidos neste trabalho são considerados elevados em comparação aos relatados pela literatura já existente para espécies do cerrado (Franco et al., 2005; Rossatto, 2008). Vale ressaltar que as medições do intercâmbio gasoso dos trabalhos citados acima foram

realizadas em condições naturais de campo, ao contrário do presente trabalho, o qual foi baseado em medições feitas em condições potenciais.

Ao observar a Tabela 9, verifica-se que *C. americana* apresentou o maior valor médio de g_s ($0,32 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), diferindo de ambas as idades de folhas de *V. divergens*. Para g_s de FJ de *V. divergens* ($0,21 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observado valor próximo da FA ($0,19 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), não havendo diferença entre os mesmos. Segundo a literatura, os valores de g_s , no geral, foram maiores do que encontrado para comunidades florestais estudadas na floresta de transição amazônia-cerrado (Miranda et al., 2005), assim como observados para plantas no cerrado (Prado et al., 2004).

Da mesma forma observada em A, a E média de *C. americana* ($3,79 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) não apresentou diferença significativa em relação à E de FJ de *V. divergens* ($3,46 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mas foi maior que a FA ($2,90 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), considerando que, entre as duas idades de folhas de *V. divergens* não houve diferença significativa (Tabela 9). Em comparação com espécies do Cerrado, os valores médios de E notados neste trabalho mostraram-se maiores do que relatado por Rossato (2008). Novamente, deve-se considerar que os resultados das trocas gasosas encontrados na presente pesquisa foram realizados em condições potenciais.

3.3.4 Avaliação do grau de associação entre as variáveis microclimáticas e as do intercâmbio gasoso

O processo de abertura e fechamento estomático é um fenômeno complexo e está relacionado principalmente com a intensidade de luz, concentração intercelular de CO_2 , ao estado hídrico da planta, à demanda evaporativa da atmosfera e à disponibilidade de água no solo (Paiva et al., 2005; Lobo et al., 2007; Costa e Marengo, 2007; Silva et al., 2009).

No presente trabalho, os resultados do estudo de correlação entre as variáveis microclimáticas do dia anterior à mediação e do intercâmbio gasoso, para *V. divergens*, podem ser visualizados na Figura 15.

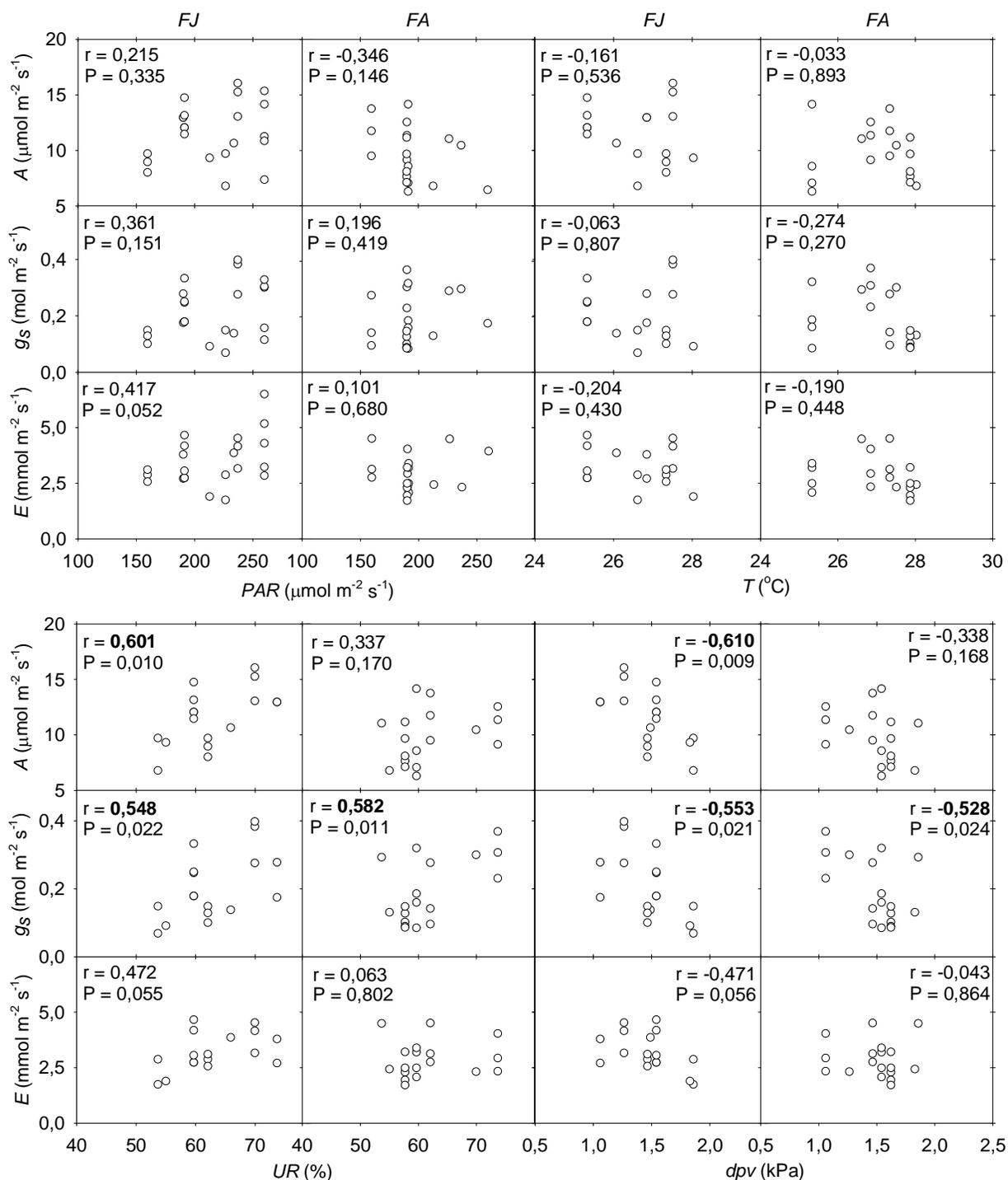


FIGURA 15. Correlação entre as variáveis microclimáticas do dia anterior à medição e a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas jovens (FJ) e adultas (FA) de *V. divergens*. Sendo que r é o coeficiente de correlação e P o erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade.

De acordo com os resultados deste estudo (Figura 15), apenas A e g_s correlacionaram-se com as variáveis microclimáticas UR e d_{pv} do dia anterior, para folhas de *V. divergens* consideradas jovens. No caso das folhas adultas, apenas g_s correlacionou com UR e d_{pv} . Segundo Begg e Turner (1976), os efeitos causados na atividade fotossintética, em situações de adversidade climática, são maiores em tecidos jovens do que em adultos, o que pode explicar a correlação de A com UR e d_{pv} apenas para *FJ*.

De forma geral, nota-se que a UR do dia anterior influenciou diretamente A e g_s (Figura 15). Desta forma, pode-se constatar que o sinal negativo do coeficiente de correlação entre d_{pv} e A e g_s indicou que a medida que este parâmetro climático aumentou, reduziu-se a g_s e consequentemente a A , fato igualmente observado por Dias e Marengo (2007) ao trabalhar com a fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara. Conforme Machado e Lagôa (1994), condições propícias à fixação do carbono favorecem a abertura do estômato, enquanto condições propícias à perda de água favorecem-lhe o fechamento, como é o caso de baixa UR e elevado d_{pv} .

Ao estudar a regulação sazonal da transpiração para quatro espécies sempre-verdes do cerrado, Meinzer et al. (1999) encontraram correlação significativa entre g_s e d_{pv} , e concluíram que a transpiração nessas espécies foi limitada, em partes, pela elevada demanda evaporativa da atmosfera. Nunes da Cunha et al. (2000) e Nunes da Cunha e Junk (2004) comentam que *V. divergens* possui baixa tolerância ao estresse do período seco decorrentes das suas características ecofisiológicas, o que pode estar influenciando para que ocorra o resultado significativo das correlações.

Estudando a fenologia de espécies lenhosas sempre-verdes e decídua no cerrado, Damascos et al. (2005b) observaram que, por possuírem um sistema radicular mais curto e apresentarem a persistência de folhas durante o ano todo, as plantas sempre-verdes demandam maior quantidade de água ao longo do período anual. Isso faz com que espécies como *V. divergens*, tornem-se mais dependentes de alguns fatores climáticos, como a pluviosidade, do que as espécies decíduas, para, por

exemplo, manterem as taxas de crescimento de ramos e da longevidade das folhas.

Naves-Barbiero et al. (2000), estudando o fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies sempre-verdes do cerrado, concluíram que ambas as espécies não foram capazes de extrair água do solo na quantidade suficiente para fazer frente à alta demanda evaporativa da atmosfera e exerceram um controle estomático rígido nas taxas de transpiração, com queda acentuada do fluxo de seiva.

Por outro lado, nota-se que a análise de correlação não identificou uma associação significativa entre as variáveis microclimáticas da média diária anterior com as variáveis do intercâmbio gasoso, no caso da espécie *C. americana*, demonstrando que a condição climática ocorrida no dia passado não afetou de forma significativa as trocas gasosas (Figura 16).

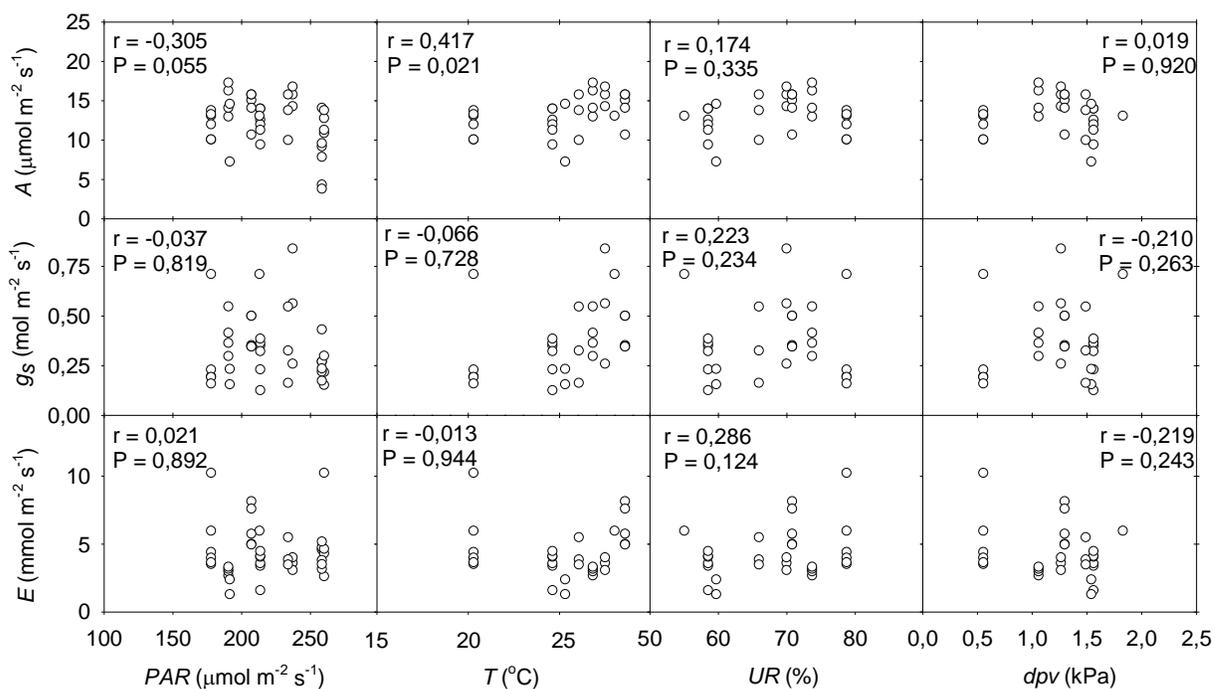


FIGURA 16. Correlação entre as variáveis microclimáticas da manhã anterior à medição e a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas de plantas de *C. americana*. Sendo que r é o coeficiente de correlação e P o erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade.

O suprimento de água para uma planta e, conseqüentemente, sua atividade fotossintética resultam de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. As influências recíprocas entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica e a fotossíntese da planta dependerão sempre da combinação desses três segmentos (Santos e Carlesso, 1998). No caso de *C. americana*, uma possível explicação para as não-correlações apresentadas na Figura 16, entre as variáveis ambientais e das trocas gasosas, podem estar associadas com a maior influência dos fatores solo e/ou planta dentro do sistema solo-planta-atmosfera, principalmente em espécies adaptadas às condições de seca que ocorrem em certas épocas do ano nos ambientes de cerrado. Para Wenhui e Prado (1998), a maioria das espécies do cerrado, na época seca, ajusta seus mecanismos internos para reforçar a capacidade de absorver a água do solo mais seco, mantendo um gradiente potencial de água do solo para a folha, enquanto outras possuem uma forte habilidade de armazenar água em seus corpos em resposta ao severo estresse hídrico. Segundo Jackson et al. (1999), as espécies decíduas geralmente possuem sistema radicular mais profundo do que as espécies sempre-verdes, o que as torna menos dependentes de chuvas para a expansão de folhas, por exemplo. Além disso, a redução da área de transpiração foliar que acontece em espécies decíduas melhora o estado hídrico das plantas e permite que ocorra a produção de flores e folhas, mesmo durante a estação seca (Damascos et al., 2005b).

Estudando o intercâmbio gasoso de plantas jovens e adultas de Teca (*Tectona grandis*), Lobo et al. (2007) verificaram o efeito de variáveis meteorológicas sobre a g_s apenas nas plantas jovens e não nas adultas. A explicação para este fenômeno é a de que as plantas jovens apresentavam um sistema radicular menos desenvolvido que nas plantas adultas e, por isso, foram mais sensíveis às variações ambientais relacionadas com a demanda evaporativa da atmosfera. Vale salientar que a *T. grandis* é uma planta decídua, porém, nativa das florestas tropicais situadas no sudeste asiático, ocorrendo em áreas com precipitação anual de até 2.500 mm.

De forma geral, todas as variáveis ambientais da manhã da medição passaram a afetar de forma significativa as trocas gasosas de *V. divergens* (Figura 17), o que não foi observado para o dia anterior (Figura 15).

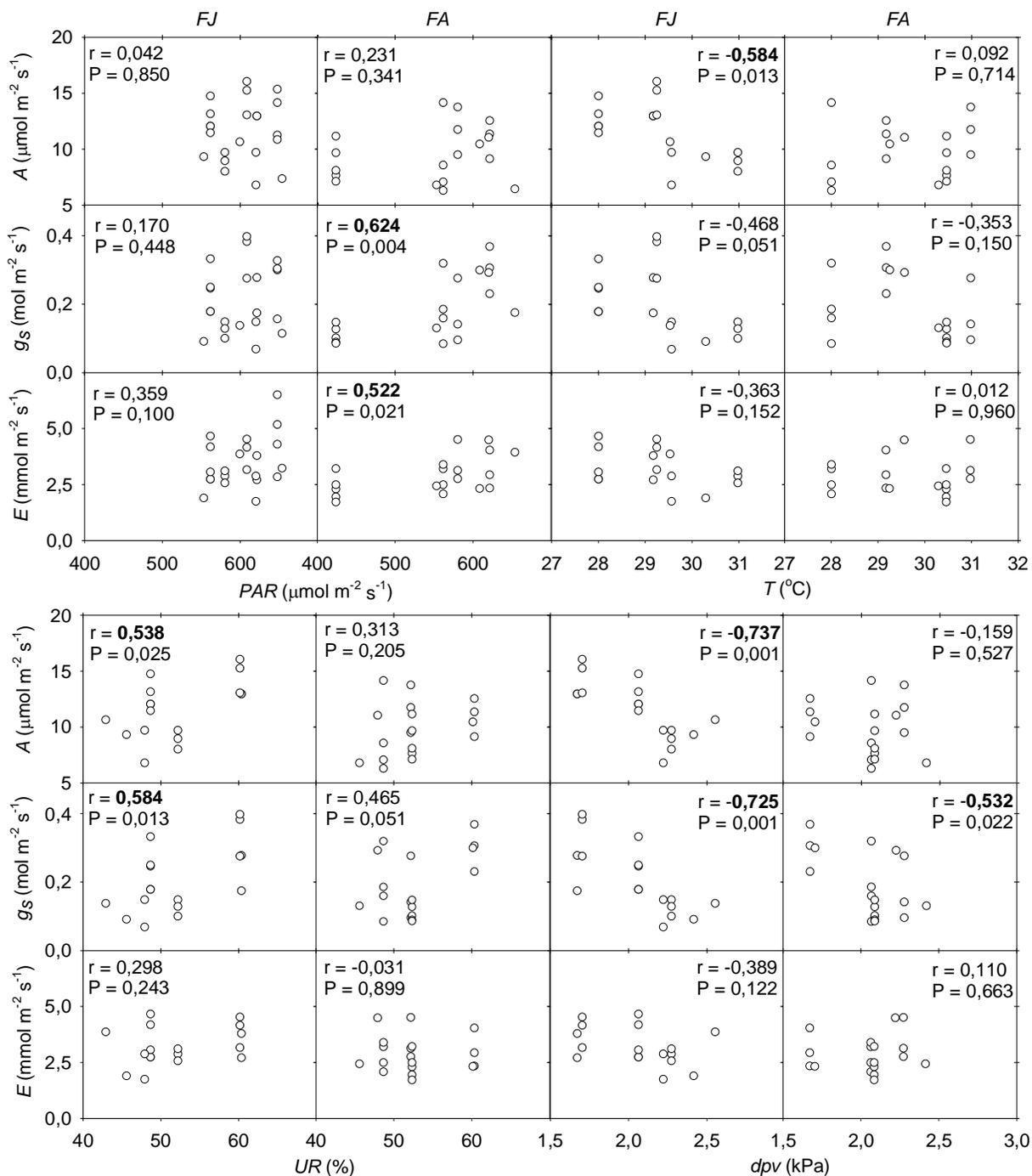


FIGURA 17. Correlação entre as variáveis microclimáticas da manhã da medição e a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas jovens (FJ) e adultas (FA) de *V. divergens*. Sendo que r é o coeficiente de correlação e P o erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade.

De acordo com Gonçalves et al. (2009), alterações nos fatores abióticos afetam sobremaneira a atividade fisiológica das plantas em suas diferentes fases de crescimento. Fatores como alta irradiância e baixa disponibilidade hídrica ou nutricional tornam mais difícil o sucesso no estabelecimento das plantas na fase juvenil. Pela Figura 17, observa-se que a *PAR* se correlacionou de forma positiva com as variáveis g_s e E , apenas para o caso de folhas adultas de *V. divergens*. Correlações da *PAR* com variáveis das trocas gasosas também foram relatadas por alguns autores (Nogueira et al., 1998; Silva et al., 2003). Segundo Lobo et al. (2007), é possível que o estágio de desenvolvimento, os fatores de estresse e a combinação das variáveis associadas ao controle estomático possam interferir na correlação entre *PAR* e elementos do intercâmbio gasoso.

De modo contrário à *PAR*, apenas a A de folhas jovens foi afetada pela T , mas com efeito negativo (Figura 17). Esse é um sinal de que as folhas jovens são mais sensíveis a esta variável meteorológica do que às folhas adultas. Mariano et al. (2009) também constataram menor efeito da temperatura em folhas mais velhas de *Myracrodruon urundeuva*. Na verdade, a T afeta todas as reações bioquímicas de A . Sob condições atmosféricas normais de concentração de CO_2 , à medida que se aumenta a T , há um correspondente incremento na atividade carboxilativa da Rubisco. Contudo, incrementos adicionais concorrem para diminuir a afinidade da Rubisco pelo CO_2 devido ao incremento na fotorrespiração. Por outro lado, o processo respiratório também é incrementado com o aumento da T , e somando-se à fotorrespiração, ambos os processos reduzem a taxa fotossintética líquida (Taiz e Zeiger, 2004). Demais correlações entre T e *PAR* e variáveis do intercâmbio gasoso foram relatadas por alguns autores (Nogueira e Silva, 2002; Silva et al., 2008), conforme também observado neste trabalho, para a espécie *V. divergens*.

Para UR , houve correlação significativa apenas com A e g_s de folhas jovens e, no caso do dpv , além da correlação com A e g_s de folhas jovens, houve também correlação negativa com g_s de folhas adultas (Figura 17), quase que de forma semelhante ao apresentado na Figura 15. Segundo

Mariano et al. (2009), as folhas jovens são as mais sensíveis às variações do meio em razão do fechamento mais efetivo dos estômatos em decorrência do seu estado das células da lâmina foliar, ainda, imaturo.

Trabalhando com *Carapa guianensis*, uma espécie de crescimento rápido, Costa e Marengo (2007) concluíram que tanto a A como a g_s são parâmetros da planta que respondem simultaneamente a um conjunto de fatores que interagem de forma coordenada, mas altamente complexa. Para clones de *Eucalyptus*, uma espécie sempre-verde, Tatagiba et al. (2007) observaram que as variáveis fisiológicas (A , g_s e E) acompanharam a demanda evaporativa da atmosfera, e que o aumento do dpv , da PAR , da T e o abaixamento da UR favorecem a redução dos valores das trocas gasosas. Alguns autores vão além ao afirmar que a transpiração de algumas espécies lenhosas depende mais das condições atmosféricas do que da disponibilidade de água no solo (Sarmiento et al., 1985).

Na Figura 18, são apresentadas as correlações entre as variáveis microclimáticas da manhã da mediação e do intercâmbio gasoso, para a espécie *C. americana*.

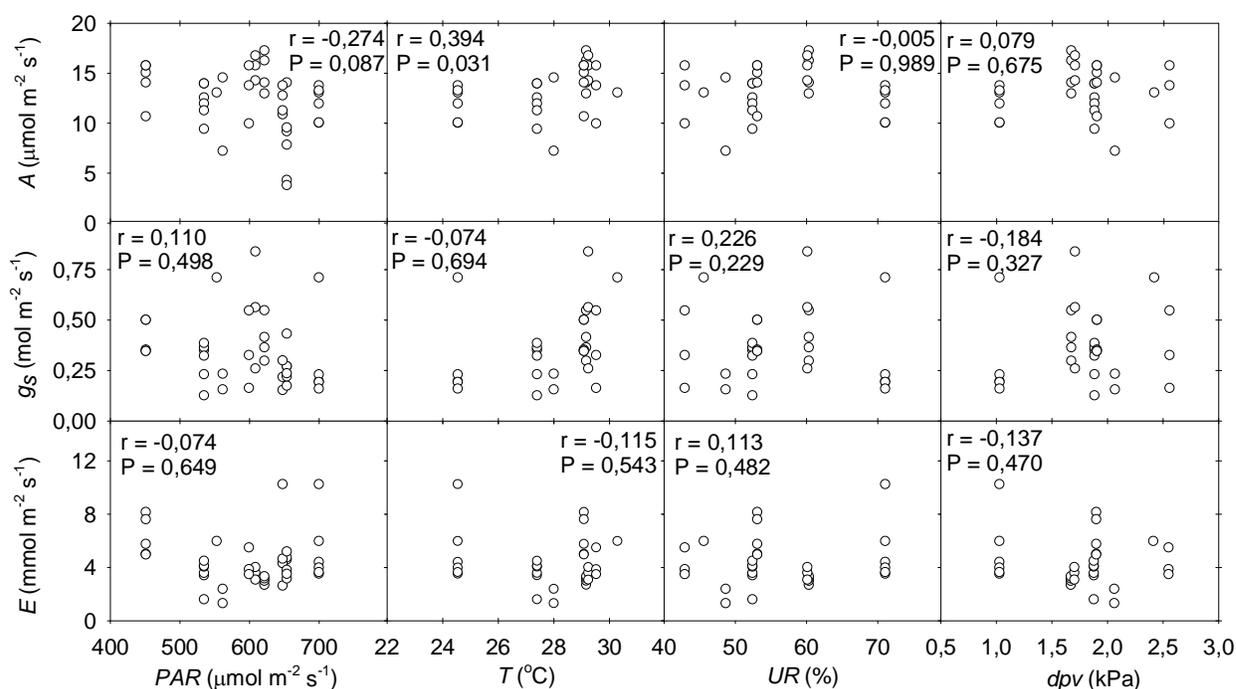


FIGURA 18. Correlação entre as variáveis microclimáticas da manhã da medição e a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de folhas de plantas de *C. americana*. Sendo que r é o coeficiente de correlação e P o erro que se comete rejeitando a hipótese de nulidade.

Pela Figura 18 é possível observar que não houve nenhuma correlação significativa entre as variáveis ambientais e as variáveis do intercâmbio gasoso, da mesma forma observada na Figura 16. Segundo Larcher (2000), a capacidade fotossintética é uma característica intrínseca de cada espécie vegetal, sendo que as trocas gasosas mudam durante o ciclo do desenvolvimento do indivíduo e dependem do curso anual e até mesmo do curso diário das flutuações ambientais (luz, temperatura, etc) em torno do vegetal.

É possível também que esse resultado pode estar relacionado com algumas características anatômicas encontradas nas folhas de *C. americana*. Segundo Oliveira e Castro (2002), a presença de um grande número de tricomas em ambas as faces da epiderme pode ser um caractere

de adaptação às condições áridas, pois eles mantêm uma superfície saturada em vapor d'água sobre a folha, o que ajuda na diminuição da temperatura e transpiração foliar, que interferem na assimilação de CO₂ (Oliveira et al., 2007). Além disso, Oliveira e Castro (2002) ainda observaram que os estômatos aparecem apenas em reentrâncias da face inferior da folha, conferindo-lhe a característica de folhas de ambientes mais secos (hipoestomáticas), e que apresentam reações rápidas de fechamento estomático, o que poderia atuar na redução da transpiração.

Além dos fatores morfológicos e anatômicos citados, os quais beneficiam as plantas nativas e adaptadas à condição de restrição hídrica dos cerrados contra a excessiva perda de água, outro acontecimento importante que pode ter influenciado para que as variáveis ambientais não influenciassem de forma significativa às trocas gasosas de *C. americana*, foi o elevado índice pluviométrico observado durante o período de estudo (item 3.3.1), e que pode ter ocasionado uma menor demanda evaporativa da atmosfera, refletindo em melhores condições para a realização da fotossíntese. Vários são os autores que observaram um efeito sazonal na abertura estomática de plantas do cerrado (Moraes e Prado, 1998; Naves-Barbiero et al., 2000; Prado et al., 2004; Monteiro e Prado, 2006). Na maioria dos casos, a g_s diminui na estação seca, quando a demanda evaporativa da atmosfera aumenta consideravelmente. Além disso, o decréscimo na disponibilidade de água no solo que ocorre em períodos de seca ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda de turgescência e também à redução da g_s . A redução da taxa de assimilação de CO₂ durante o estresse hídrico deve-se à redução na disponibilidade de CO₂ no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à diminuição da disponibilidade de água no solo. Esse aumento da resistência à difusão gasosa e a diminuição na taxa de assimilação de CO₂ determinam menor perda de água por transpiração, além de poder afetar a fotossíntese (Paiva et al., 2005).

3.4 Conclusões

O intercâmbio gasoso potencial de *V. divergens* foi afetado tanto pelas condições ambientais passadas quanto pelas prevalentes na manhã das medições, com a participação significativa de todas as variáveis microclimáticas estudadas apenas para a segunda situação. Dentro das idades de folhas de *V. divergens*, as jovens demonstraram maior sensibilidade às variações das condições meteorológicas em relação às adultas.

Em nenhum momento as taxas do intercâmbio gasoso potencial de *C. americana* apresentaram correlação significativa com as variáveis ambientais, como se a espécie fosse sensível às mudanças instantâneas das condições microclimáticas, dentro dos limites empregados neste estudo.

3.5 Referências Bibliográficas

ARAÚJO, J.F.; HARIDASAN, M. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.3, p.533-542, 2007.

ARIEIRA, J.; DA CUNHA, C.N. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.20, n.3, p.569-580, 2006.

BASTOS, T.X. **O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia Brasileira**. Belém, IPEAM, p.68-122, (Boletim técnico N. 54), 1972.

BEGG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, v.28, p.161-217, 1976.

BORGES, H.B.N.; SHEPHERD, G.J. Flora e estrutura do cerrado lenhoso numa comunidade de Cerrado de Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.1, p.61-74, 2005.

CASEIRO, F.T.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; PRIANTE FILHO, N. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.), no período seco em Santo Antônio de Leverger – MT. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.0-0, 1997.

CHRISTIE, D. Resampling with Excel. **Teaching Statistics**, v.26, n.1, p.9-

14, 2004.

COSTA, G.F.; MARENCO, R.A.; Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Ciências Florestais**, v.37, p.229-234, 2007.

COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasílica**, v.20, n.1, p.13-23, 2006.

DAMASCOS, M.A.; RONQUIM, C.C.; PRADO, C.H.B.A. Gas exchange and Plant Growth after Defoliation on *Leandra lacunosa*, a Cerrado Woddy Species with continuous Leaf Production. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.48, n.6, p.967-974, 2005a.

DAMASCOS, M.A.; PRADO, C.H.B.A, RONQUIM, C.C. Bud Composition, Branching Patterns and Leaf Phenology in Cerrado Woddy Species. **Annals of Botany**, v.96, p.1075-1084, 2005b.

DIAS, D.P.; MARENCO, R.A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.305-311, 2007.

EAMUS, D.; COLE, S. Diurnal and seasonal comparisons of assimilation, phyllode conductance and water potential of three *Acacia* and one *Eucalyptus* species in the wet-dry tropics of Australia. **Australian Journal of Botany**, v.45, p.275-290, 1997.

EITEN, G. Cerrado Vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v.38, p.201-341, 1972.

EITEN, G. Delimitation of Cerrado Concept. **Vegetatio**, v.36, p.169-178, 1978.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERRI, M.G. Transpiração de plantas permanentes dos cerrados. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Botânica**, v.4, p.161-224, 1944.

FERRI, M.G. Contribuição ao conhecimento da ecologia do cerrado e da caatinga. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Botânica**, v.12 p.1-170, 1955.

FERRI, M.G. Problems of water relations of some Brazilian vegetation types, with special considerations of the concepts of xeromorphy and xerophytism.

In: Plant water relationships in arid and semi-arid conditions, vol p.191-197. UNESCO, Paris, 1961.

FERRI, M.G.; COUTINHO, L.M. Contribuição ao conhecimento da ecologia de cerrado. Estudo comparativo da economia d'água de sua vegetação em Emas (SP), Campo Grande (MG) e Goiânia (GO). **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Botânica**. v.15, p.103-150, 1958.

FRANCO, A.C. Ecophysiology of woody plants. In: OLIVEIRA, P.; MARQUIS, R. (eds). The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. **Columbia University Press**, New York, p.178-197, 2002.

FRANCO, A.C.; BUSTAMANTE, M.; CALDAS, L.S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F.C.; KOZOVITS, A.R.; RUNDEL, P.; CORADIN, V.T.R. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees**, v.19, p.326-335, 2005.

FRANCO, S.P.A.; GOMES, L.G.; SILVA, H.S.; SOUZA, M.L.; RODRIGUES, P.M.S.; SILVA, J.O. Morfologia foliar como mecanismo determinante na taxa de herbivoria em *Curatella americana* (Dilleniaceae) em uma regia de Cerrado *Sensu strictu*. In: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2007. **Anais...** Caxambu, MG, 2007.

GONÇALVES, J.F.C.; SILVA, C.E.M.; GUIMARÃES, D.G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andibora submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.1, p.8-14, 2009.

GRISI, B.M. Contribuição ao conhecimento de ecologia vegetal do cerrado. Balanço hídrico de dois espécimes de *Ouratea spectabilis* (Mart) Engl. In: Ferri MG (ed) III Simpósio sobre o Cerrado. Editora Edgard Blücher, EDUSP, São Paulo, 1971a.

JACKSON, P.C.; MEINZER, F.C.; BUSTAMANTE, M.; GOLDSTEIN, G.; FRANCO, A.; RUNDEL, P.W. Partitioning of soil water among tree species in a Brazilian Cerrado ecosystem. **Tree Physiology**, v.19, p.717-724, 1999.

KIKUZAWA, K. Leaf phenology as an optimal strategy for carbon gain in plants. **Canadian Journal of Botany**, v.73, p.158-195, 1995.

KITAJIMA, K.; MULKEY, S.S.; SAMANIEGO, M.; JOSEPH WRIGHT, S. Decline of photosynthetic capacity with leaf age and position in two tropical pioneer tree species. **American Journal of Botany**, n.89, p.1925-1932, 2002.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Editora Rima, 2000, 539p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Editora Rima, 2004, 531p.

LEE, R.; YU, F.; PRICE, K.P. Evaluating vegetation phenological patterns in inner rasílic using NDVI time-series analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.12, p.2505-2512, 2002.

LENZA, E.; KLINK, C.A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, p.627-638, 2006.

LOBO, F.A.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; PARTOTSKI, M.; OLIVEIRA, K.V.; ORTÍZ, C.E.R. Intercâmbio gasoso em plantas jovens e adultas de *Tectona grandis* cultivadas no cerrado do Brasil central. **Revista Agricultura Tropical**, v.9, p.126-143, 2007.

MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M.A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, v.53, n.2, p.141-149, 1994.

MARIANO, K.R.; BARRETO, L.S.; SILVA, A.H.B.; NEIVA, G.K.P.; AMORIM, S. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. Submetida ao déficit hídrico. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, p.72-77, 2009.

MEINZER, F.C.; GOLDSTEIN, G.; FRANCO, A.C.; BUSTAMANTE, M.; IGLER, E.; JACKSON, P.; CALDAS, L.; RUNDEL, P.W. Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian cerrado woody species. **Functional Ecology**, v.13, p.273-282, 1999.

MIRANDA, E.J.; VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; PRIANTE, P.C.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; SULI, G.S.; FRITZEN, C.L.; LOBO, F.A.; SHIRAIWA, S. Seasonal variation in the leaf gas exchange of tropical forest trees in the rain forest-savanna transition of the southern Amazon Basin. **Journal of Tropical Ecology**, v.21, p.451-460, 2005.

MONASTERIO, M.; G. SARMIENTO. Phenological strategies of plant species in the tropical savanna woody species and the semideciduous forest of the Venezuelan Llanos. **Journal of Biogeography**. V.3, p.325-356, 1976.

MONTEIRO, J.A.F.; PRADO, C.H.B.A. Apparent carboxylation efficiency and relative stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in an evergreen cerrado species during water stress. **Photosynthetica**, v.44, n.1, p.39-45, 2006.

MONTES, R.; E. MEDINA. Seasonal changes in nutrient content of leaves of savanna trees with different ecological behavior. **International Journal of Tropical Ecology and Geography**, v.4, p.295-307, 1977.

MORAES, J.A.P.V.; PRADO, C.H.B.A. Photosynthesis and water relations in Cerrado vegetation. In: SCARANO, F.R.; FRANCO, A.C. (eds.). Ecophysiological strategies of Xerophytic and amphibious plants in the neotropics. **Series Oecologia Brasiliensis**, PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brazil, 1998, v.4, p.45-63.

NAVES-BARBIERO, C.C.; FRANCO, A.C.; BUCCI, S.J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes na campo sujo e cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, n.2, p.119-134, 2000.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; SILVA, E.C. Comportamento estomático em plantas de *Schinopsis brasiliensis* Engl. Cultivadas sob estresse hídrico. **Iheringia, Série Botânica**, v.57, n.1, p.31-38, 2002.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; BURITY, H.A.; MORAES, J.A.P.V. Transpiração e potencial hídrico foliar em aceroleiras (*Malpighia emarginata* DC) cultivadas na zona semi-árida de Pernambuco. **Revista Científica Rural**, v.3, n.2, p.75-81, 1998.

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

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W.J.; FALESSA, O.; COSTA, C.P.; ALMEIDA, L. Influences of dry and flooding periods on phenology and the dynamic of seedlings and saplings of *Vochysia divergens* Pohl, in the Pantanal of Poconé. In: **German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research**, p. 871-874. Hamburg, 2000.

OLIVEIRA, L.A.; CASTRO, N.M. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* e *Davilla elliptica*. **Horizonte científica revista eletrônica. PROP**, 2002.

OLIVEIRA, A.L.S.; ELIAS, S.R.M.; FIGUEIREDO, A.D.L. Anatomia foliar em plantas adultas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (Mimosaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, s.1, p.321-323, 2007.

PAIVA, A.S.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D.; TURCO, J.E.P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

PEIXOTO, M.M. **Variações sazonais no metabolismo de carbono e relações hídricas em espécies lenhosas do Cerrado de diferentes grupos funcionais**. 2007. 46p. Dissertação (Mestrado em Botânica). Universidade de Brasília, Departamento de Botânica, UnB.

PENSO, S.; BAUER, M.O.; CHICHORRO, J.F.; GONDIM, C.A.; VASCONCELOS, L.V. caracterização estacional de uma pastagem natural do cerrado Mato-Grossense submetida ao pastejo. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, n.1, p.124-134, 2009.

PEREIRA, J.S.; TENHUNEN, J.D.; LANGE, O.L. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas Exchange of *Eucalyptus globules* trees growing in Portugal. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.16, p.177-184, 1986.

PEREZ, S.C.J.G.A.; MORAES, J.A.P.V. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo de um Cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.3, p.27-37, 1991.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO, R.O.P. Entendimento sobre relações hídricas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1995, Belo Horizonte, MG. **Anais... EMBRAPA/CNPMS**, v.1, p.131-146, 1995.

PRADO, C.H.B.A.; EWNHUI, Z.; ROJAS, M.H.C.; Souza, G.M. Seasonal leaf gas exchange and water potential in woody cerrado species community. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16, n.1, p.7-16, 2004.

PRIOR L.D.; EAMUS, D.; DUFF, G.A. Seasonal and diurnal patterns of carbon assimilation, stomatal conductance and leaf water potential in *Eucalyptus tetradonta* sampling in a wet-dry savanna in northern Australia. **Australian Journal of Botany**, v.45, p.241-258, 1997.

ROSSATO, D.R. **Padrões anatômicos, fenológicos, fotossintéticos e de crescimento em espécies arbóreas do cerrado sensu stricto e de mata de galeria**. 2008. 89p. Dissertação (Mestrado em Botânica). Universidade de Brasília, Departamento de Botânica, UnB.

SANTOS, S.A.; NUNES DA CUNHA, C.; TOMÁS, W.; ABREU, U.G.P.; ARIEIRA, J. **Plantas invasoras no Pantanal: como entender o problema e soluções de manejo por meio de diagnóstico participativo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. 45 p. (Embr. Pantanal. Boletim de pesquisa, 66).

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SARMIENTO, G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. Adaptative strategies of woody species in neotropical savannas. **Biological Review**, v.60, p.315-355, 1985.

SCHEINER, S.M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. **Annual Review of Ecology and Entomology**, v.24, p.35-68, 1993.

SILVA, C.D.S.; SANTOS, P.A.A.; SANTANA, W.S.; LIRA, J.M.S.; SANTANA, M.C.; SILVA JÚNIOR, C.D. Condutância estomática e potencial hídrico em feijão-caupí submetido a diferentes regimes hídricos. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 2009. **Anais...** Fortaleza, 2009.

SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO NETO, A.D.; SANTOS, V.F. Comportamento estomático e potencial de água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasílica**, v.17, n.2, p.231-246, 2003.

SILVA, L.O.; COSTA, D.A.; ESPIRITO SANTO FILHO, K.; FERREIRA, H.D.; BRANDÃO, D.; Levantamento florístico e fitossociológico em duas áreas de cerrado *sensu stricto* no parque estadual da serra de Caldas Novas, GO. **Acta Botânica Brasílica**, v.16, n.1, p.43-53, 2002.

SILVA, M.A.V.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; OLIVEIRA, A.F.M.; SANTOS, V.F. Resposta estomática e produção de matéria seca em plantas jovens de aroeira submetidas a diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p.335-344, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre, Artmed. 2004, 719p.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F.; DARDENDO, M.C.J.D.; EFFGENT.A.M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v.13, n.2, p.149-159, 2007.

WENHUI, Z.; PRADO, C.H.B.A. Water relations balance parameters of 30 woody species from Cerrado vegetation in the wet and dry season. **Journal of Forestry Research**, v.9, n.4, 1998.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados, concluiu-se que os valores dos componentes do balanço de energia foram afetados principalmente pela variabilidade na distribuição de chuvas ao longo dos meses, conforme a hipótese deste trabalho, sendo o saldo de radiação utilizado, em média, como 28,32% na densidade de fluxo de calor latente, 37,67% como densidade de fluxo de calor sensível e 34,00% como densidade de fluxo de calor no solo.

Por outro lado, a hipótese inicial de que ambas as espécies estudadas apresentariam alguma correlação entre as variáveis do intercâmbio gasoso potencial e as variáveis do clima não foi confirmada, haja vista que, em nenhum momento as taxas do intercâmbio gasoso de *C. americana* apresentaram correlação significativa com as variáveis ambientais. Como se a espécie fosse sensível às mudanças instantâneas das condições microclimáticas, dentro dos limites empregados neste estudo. No entanto, no caso de *V. divergens*, observou-se que as taxas do intercâmbio gasoso foram afetadas tanto pelas condições ambientais passadas quanto pelas prevalecentes na manhã das medições, com a participação significativa de todas as variáveis microclimáticas estudadas apenas para a segunda situação, sendo que entre as idades de folhas de *V. divergens*, as jovens demonstraram maior sensibilidade às variações das condições meteorológicas em relação às adultas.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)