

Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta de transição Amazônia Cerrado

Oswaldo Borges Pinto Júnior¹, Francisco Almeida Lobo¹,
Luciana Sanches², George Louis Vourlitis², José de Souza Nogueira²

¹*Faculdade de Agronomia e Veterinária
PPG em Agricultura Tropical/UFMT - Cuiabá, MT*

²*PPG em Física Ambiental/UFMT - Cuiabá, MT*

e-mail: osvaldo.borges@gmail.com

Resumo

No presente trabalho foi estudada a variação sazonal da transpiração, de uma floresta tropical, e sua dependência com fatores bióticos e abióticos. Utilizaram-se dados do projeto Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), coletados floresta de transição Amazônia-cerrado, norte de Mato Grosso. Os valores máximos da condutividade de superfície (C_s), foram observados no período úmido ($0,17 \text{ m s}^{-1}$), e os mínimos ($0,011 \text{ s m}^{-1}$) no período de transição úmido-seco. A condutância aerodinâmica (C_a) máxima foi $0,052 \text{ m s}^{-1}$ no período úmido e $0,068 \text{ m s}^{-1}$ no período seco. A análise horária do fator de desacoplamento sugere que a evapotranspiração, durante a manhã, tem um maior controle realizado pela disponibilidade de energia, quando comparado ao período menos chuvoso. Durante a tarde verifica-se que o dossel da floresta progressivamente tende a estar mais acoplado à atmosfera, para os períodos estudados, demonstrando maior controle superficial na transpiração.

Palavras - chaves: Transpiração, Condutâncias da Superfície e Aerodinâmica, Fator de Desacoplamento.

Introdução

A Amazônia Legal apresenta uma grande diversidade natural, social, econômica, tecnológica e cultural, constituindo uma região com crescente processo de diferenciação que contraria, em muito, a imagem difundida pelo mundo de um espaço homogêneo caracterizado pela presença de uma cobertura florestal que o identifica tanto interna quanto externamente.

Atualmente, estudos científicos mostram que a floresta Amazônica é importante para a reciclagem do vapor d'água através da evapo-

transpiração durante o ano todo, contribuindo assim para aumentar a precipitação das chuvas e para sua própria manutenção.

Nos trópicos, a superfície terrestre e a atmosfera formam um sistema fortemente acoplado. A magnitude dos fluxos de superfície verificada nessas regiões trata-se de uma importante contribuição para o estudo da disponibilidade de água e energia na atmosfera. As propriedades dinâmicas e termodinâmicas da camada limite atmosférica que determinam as trocas de propriedades entre a biosfera e a atmosfera, dependem de fatores como nebulosidade, conteúdo de água no solo, evapotranspiração, hidrologia de superfície, cobertura vegetal, dentre outros. Nos últimos anos, a técnica de covariância de vórtices turbulentos vem sendo utilizada em estudos sobre os fluxos de superfície. Esses fluxos são utilizados para estimar as trocas líquidas de carbono, água, calor sensível e calor latente, entre a atmosfera e os ecossistemas.

O objetivo deste trabalho foi examinar a variação sazonal da transpiração e sua dependência com fatores climáticos e os seguintes parâmetros de controle: condutância da superfície (C_s), condutância aerodinâmica (C_a) e o fator de desacoplamento (Ω) para a Floresta de transição amazônia-cerrado.

Materiais e métodos

Descrição do sítio experimental

O estudo foi realizado a 50 km a nordeste no município de Cláudia, Mato Grosso, Brasil (11°24'43.4"S: 55°19'25.7"W), a 423 m acima do nível do mar, onde se encontra instalada uma torre micrometeorológica de 42 m de altura pertencente ao programa de pós-graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), que participa do projeto "Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA)" (Figura 1).

A área de estudo é constituída por uma floresta tropical de transição, que ocupa o ecótono entre os biomas Floresta Amazônica e Cerrado (ACKERLY *et al.*, 1989). Conforme classificação de Köppen (VIANELLO & ALVES, 1991) o clima nessa região é do tipo AW, mostrando uma pequena variação sazonal na temperatura, com uma maior variação no padrão de precipitação, sendo caracterizado por dois períodos bem definidos: seco (junho a setembro) e úmido (dezembro a março); e apresentando dois períodos de transição, um seco/úmido (outubro e novembro) e um úmido/seco (abril e maio) (VOURLITIS *et al.*, 2002).



Figura 1. Localização da área de estudo.

Origem dos dados

Os dados utilizados no presente trabalho fazem parte do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). As medições micrometeorológicas de fluxos de energia e concentração de vapor d'água foram obtidas através de um sistema de correlação de vórtices turbulentos (*eddy covariance*), que calcula a covariância entre as flutuações na componente vertical da velocidade do vento da temperatura e a concentração de vapor d'água na amostra de ar coletada.

Instrumentos meteorológicos e fluxo de energia

Foram calculadas as médias aritméticas horárias e diárias dos elementos meteorológicos para o úmido, úmido-seco, seco e seco-úmido a fim de se observar a diferença existente entre as estações.

O fluxo de energia foi obtido pelo sistema de "*eddy covariance*" o qual contém um anemômetro sônico tridimensional (modelo CSAT-3D) e um analisador de gás por infravermelho (LI-7500). O sistema é controlado por um "software" que calcula os fluxos de momento, calor sensível e la-

tente e dióxido de carbono a uma frequência de 20 Hz (Moncrieff *et al.*, 1997). O sistema fornece as médias a cada meia hora, as quais foram usadas na série temporal da mesma forma que os dados meteorológicos. Nas demais análises foram calculadas as médias aritméticas do ciclo diurno e dos valores diários para os períodos estudados.

Determinação da transpiração

A evapotranspiração é influenciada pela energia disponível na superfície, pelo gradiente de pressão de vapor d'água entre a superfície e a atmosfera e pelas resistências às transferências de vapor. Para caracterizar o processo de troca do dossel com a atmosfera, e como esses processos são controlados, em períodos distintos, pelos fatores bióticos e abióticos, foram calculadas médias horárias de cada estação dos seguintes parâmetros: condutância da superfície (C_s), condutância aerodinâmica (C_a) e o coeficiente de desacoplamento (Ω).

Condutância da superfície

Foram analisadas médias horárias e diárias para a condutância da superfície (C_s), no intervalo de 08:00 até às 18:00 h em condições de dossel seco, excluindo-se os horários em que ocorreram precipitações. A condutância da superfície foi calculada através da equação de Penman-Monteith invertida (Shuttleworth, 1988).

Segundo Kelliher *et al.* (1995), quando o índice de área foliar (IAF) é superior a $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ a evaporação do solo é tão pequena que a determinação micrometeorológica da condutância de superfície (C_s) permite uma boa aproximação do parâmetro fisiológico condutância estomática (g_s).

Dessa maneira, a partir dos resultados prévios referentes às condições da superfície vegetada, a C_s foi calculada utilizando a equação invertida de Penman-Monteith, Equação 1.

$$C_s = (r_s)^{-1} = \left[\frac{\rho_a c_p DPV}{\gamma LE} - \frac{1}{C_a} \left(-1 \frac{sH}{\gamma LE} \right)^{-1} \right] \quad (1)$$

Em que, C_s é a condutância de superfície (m s^{-1}), r_s é a resistência da superfície (m s^{-1}), ρ_a é a densidade do ar (kg m^{-3}), c_p é o calor específico do ar seco a pressão constante ($1013 \text{ J Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), DPV é o déficit de pressão de vapor (kPa), g é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), LE é o fluxo de calor latente (W m^{-2}), C_a é a condutância aerodinâmica (m s^{-1}), H é o

fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$) e s é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor d'água ($kPa ^\circ C^{-1}$).

A declividade da curva de pressão saturação (s) foi estimada a partir da equação 2.

$$s = \frac{4098e_s}{(T + 237,2)^2} \quad (2)$$

Em que, e_s é a pressão de saturação de vapor d'água (kPa) e T é a temperatura do ar ($^\circ C$).

Condutância aerodinâmica

Para a determinação da condutância aerodinâmica (C_a) considerou-se a equação 26, proposta por Grace et al. (1995), levando em consideração a correção para atmosfera estável, conforme proposto por Malhi et al. (2002).

$$Ca = \left[\frac{u}{(u^*)^2} \right]^{-1} \quad (3)$$

Onde u é a velocidade do vento ($m s^{-1}$) medida por um anemômetro sônico e u^* é a velocidade de fricção calculada pelo método de *Eddy covariance* para o fluxo de *momentum* (Baldochi et al., 1991).

Fator de desacoplamento (Ω)

A interação entre o dossel e atmosfera foi calculada de acordo com a teoria do fator de desacoplamento (Ω) de Jarvis & McNaughton (1983), conforme equação 4.

$$\Omega = \frac{1}{1 + [\gamma / (s + \gamma)](C_a / C_s)} \quad (4)$$

Onde, s é a declividade da curva de saturação, γ é a constante psicrométrica ($kPa ^\circ C^{-1}$), C_a é a condutância aerodinâmica e C_s é a condutância de superfície

Neste estudo foram calculadas as médias entre os intervalos de 8 – 18 horas, nos períodos úmido, transição úmido/seco, seco e transição seco/úmido.

Resultados e discussão

Condutância da superfície (C_s)

Utilizando-se o fluxo de calor latente medido pelo sistema de correlação de vórtices turbulentos acima do dossel, a condutância da superfície (C_s) para o dossel foi determinada através da inversão da equação de Penman-Monteith, conforme proposta na metodologia. A Figura 2 apresenta o comportamento médio horário da C_s , no intervalo de 8 até as 18 horas.

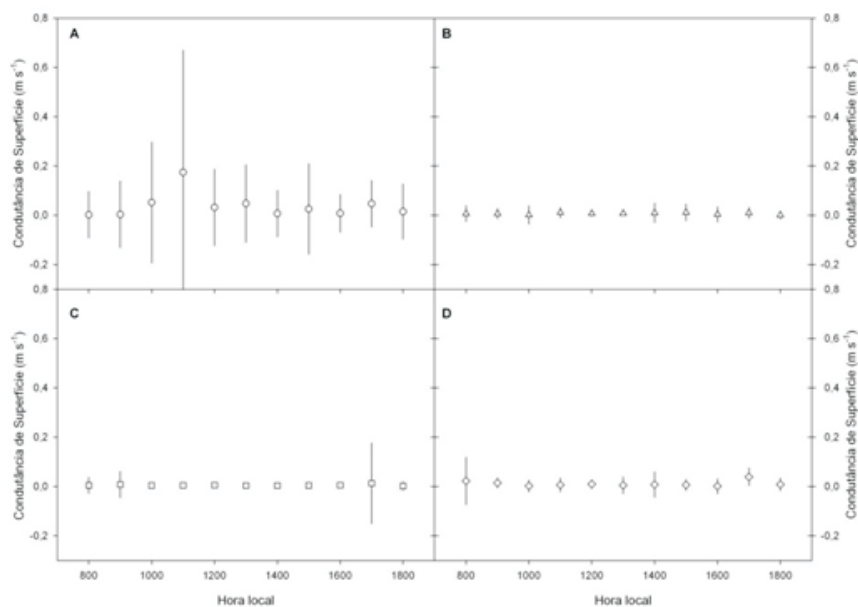


Figura 2. Comportamento da condutância de superfície (C_s) (média \pm DP) na floresta de transição Amazônia Cerrado, nos períodos úmido (A), úmido-seco (B), seco (C) e seco-úmido.

Comparando os quatro períodos, observa-se que, durante o período chuvoso, os valores de C_s , apresentam variação ao longo do dia maior quando comparada com as demais estações do ano, isso se deve ao fato de que nessa época a precipitação ocorre quase que todos os dias, o que afeta

a qualidade e a sazonalidade dos dados, observado isso nos desvios que se mostram variáveis ao longo do dia. Nas demais estações do ano não percebe-se grandes mudanças tanto diária quanto em relação as horas do dia, apresentando variações menores se comparada a estação chuvosa.

O padrão observado no curso diário de C_s , para a floresta de transição Amazônia Cerrado é similar aos trabalhos de Vourlitis *et al.* (2008), mas diferentes de outros trabalhos conduzidos na floresta amazônica (Roberts *et al.*, 1996; McWilliam *et al.*, 1996; Wright *et al.*, 1996; Sá *et al.*, 1996, Carswell *et al.* 2001, Souza Filho *et al.*, 2005). Fato esse que se deva ao fato da estrutura vegetal na Floresta Amazônica, e a precipitação se diferirem da área em estudo, o que reflete nos valores do calor latente e sensível e no déficit de pressão de vapor

Observa-se um aumento na condutância, no final da manhã, atingindo valores máximos entre 10 h e 12 h. A partir deste horário, os valores de condutância decrescem de maneira acentuada até o final da tarde, indicando o fechamento estomático. Os valores máximos de C_s , nos períodos de estudo, ocorreram às 11 h, na estação úmida sendo de $0,17 \text{ m s}^{-1}$ e o valor mínimo de C_s foi de $0,011 \text{ m s}^{-1}$ para o período úmido-seco, observado valor semelhante também no período seco. Os valores médios da estação na apresentaram maiores variações, sendo que estações de transição as que apresentaram maiores valores.

Condutância aerodinâmica (C_a)

A condutância aerodinâmica média (C_a) foi de $0,046 \text{ m s}^{-1}$ e $0,052 \text{ m s}^{-1}$, para os períodos chuvoso e seco, respectivamente. Este valor de C_a , durante o período seco favoreceu o processo de transpiração. A condutância aerodinâmica (C_a) apresentou valores máximos de $0,052$ (12 h) e $0,068 \text{ m s}^{-1}$ (11 h) para os períodos úmido e seco, respectivamente (Figura 3). Observou-se que a velocidade média do vento apresentou valores mais intensos no período seco. Um maior valor da velocidade do vento é favorável ao aumento da transpiração, pois o processo de evapotranspiração é facilitado em função do aumento da condutância aerodinâmica.

Desta forma, maiores valores desta variável, na estação seca contribuíram para um maior valor da transpiração nesse período.

Estudos na Floresta Amazônica comprovam resultados similares ao presente estudo, onde constatou também que a estação seca apresentou maior valor da condutância aerodinâmica, se comparado ao período chuvoso (SOUZA FILHO *et al.*, 2005). Vourtilis *et al.* (2008), relataram em seus trabalhos valores superiores para na estação úmida e seca, apresentando uma sazonalidade características.

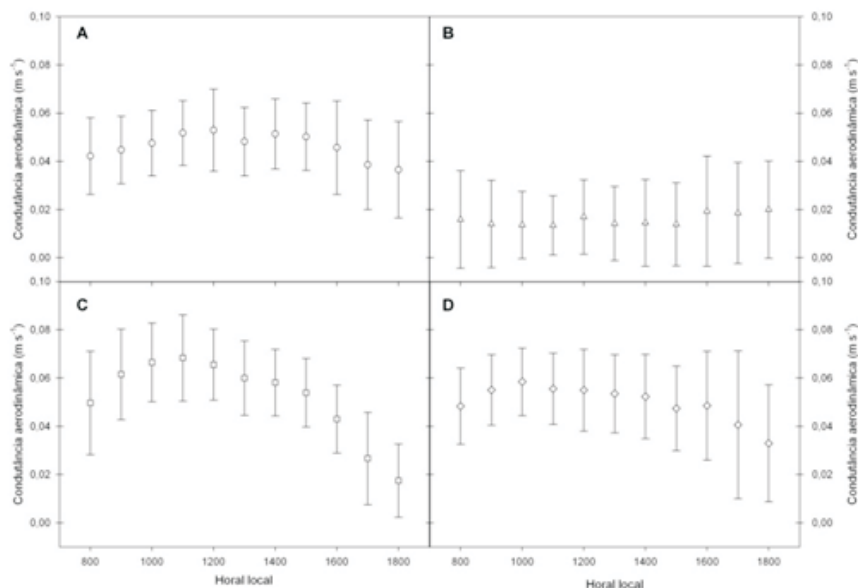


Figura 3. Comportamento da condutância aerodinâmica (C_a) (média \pm DP) na floresta de transição Amazônia Cerrado, nos períodos úmido (A), úmido-seco (B), seco (C) e seco-úmido.

Fator de Desacoplamento (Ω)

Para compreender melhor a contribuição dos diferentes elementos que controlam a evapotranspiração, foi calculado o fator de desacoplamento (Ω) proposto por Jarvis e McNaughton (1986), para os quatro períodos de estudo (Tabela 1). Este fator permite distinguir o grau de controle sobre o processo de transpiração entre vegetação associada à condição atmosférica (umidade, temperatura do ar e condições de estabilidade atmosférica e vento) e o saldo de radiação.

Os valores de Ω variam entre 0 e 1, sendo que valores mais próximos a 1 indicam que a transpiração é mais dependente do saldo de radiação. Por outro lado, valores de Ω mais próximos a 0 indicam que a transpiração tem um maior controle, exercido pelas condições atmosféricas reinantes associadas ao controle fisiológico das plantas.

No início da manhã, verifica-se que os valores de Ω são mais elevados para o período chuvoso, quando comparado aos demais períodos de estudo. Tal fato indica que o primeiro período guarda uma maior dependência do saldo de radiação no processo de transferência de vapor d'água para

a atmosfera, o que pode ser explicado em razão da menor disponibilidade de energia verificada no período chuvoso, devido em parte a maior nebulosidade.

Tabela 1. Média por período (\pm SD) do fator de desacoplamento (Ω)*.

| Períodos | Fator de desacoplamento (Ω) |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Úmido | 0,41 \pm 0,25 |
| Transição (Úmido -Seco) | 0,35 \pm 0,27 |
| Seca | 0,24 \pm 0,17 |
| Transição (Seco-Umido) | 0,26 \pm 0,19 |

* Valores considerados entre 8 e 18h

No presente estudo observa-se que o período úmido encontra-se ligeiramente diferente dos demais, indicando que nesse período existe, ainda que baixa (0,41) uma dependência do processo de evaporação ligado ao saldo de radiação, nos demais períodos os valores do fator de desacoplamento (Ω), encontram-se menores, sendo o valor menor encontrado no período seco (0,26), indicando que nesse período a transpiração é regulada não só pelas condições atmosféricas, mas também pelas variáveis fisiológicas da planta.

Souza-Filho *et al.*, (2002) apresentou desacoplamento da floresta Amazônica localizada em Caxiuanã em relação a atmosfera, com valores horários médios de Ω maiores para o período chuvoso pela manhã e declínio durante a tarde. Granier *et al.*, (1996), encontrou valores de 0-0,38 para a floresta tropical.

Fraga (2009) observou no pantanal em área monodominante de cambará, um valor Ω indicativo da maior importância da energia disponível na condução da evapotranspiração durante o período úmido, considerando relativamente, menor a importância do controle estomático. Comportamento semelhante foi observado em vários estudos em florestas tropicais associado ao IAF elevado (SOUZA FILHO, 2002; CIENCIALA *et al.*, 2000; WULLSCHLEGER *et al.*, 2000; MEINZER *et al.*, 1997).

Outros autores como Vourlitis *et al.* (2005), encontram valores próximos ao presente estudo, sendo ambos concordantes que existe uma sazonalidade característica, sendo o período seco o que melhor representa a interdependência entre as condições atmosféricas e as condições fisiológicas da planta, ou seja, o ecossistema em estudo encontra-se mais acoplado com a atmosfera.

Conclusões

· Os valores médios da condutância de superfície na estação não apresentaram maiores variações, sendo que os períodos de transição foram os que apresentaram maiores valores.

· Houve sazonalidade, quando comparada às estações, mas levando-se em consideração a média diária observou-se que não houve variações na condutância aerodinâmica ao longo do período de estudo.

· O período úmido encontra-se ligeiramente diferente dos demais, indicando que nesse período existe, ainda que baixa (0,41) uma dependência do processo de evaporação ligado ao saldo de radiação.

Bibliografia

ACKERLY, D. D., W. W. THOMAS, C. A. C. FERREIRA, and J. R. PIRANI), The forest-cerrado transition zone in southern Amazonia: Results of the 1985 Projecto Flora Amazônica expedition to Mato Grosso, **Brittonia**, 41, 113– 128. 1989.

BALDOCCHI, D. D., R. J. LUXMOORE, J. L. HATFIELD. Discerning the forest from the trees: An essay of scaling canopy stomatal conductance, **Agric. For. Met.**, 54, 197– 226. 1991.

CARSWELL, F. E.; COSTA, A. C. L.; PALHETA, M.; MALHI, Y.; MEIER, P.; COSTA, J. P. R.; RUIVO, M. L.; LEAL, L. S. M. ; COSTA, J. M. N.; CLEMENTE, R. J.; GRACE, J. Seasonality in CO₂ and H₂O flux at an eastern Amazonian Rain Forest. **Journal of Geophysical Research – Atmospheres**. 107 (D20). 2002.

CIENCIALA, E.; KUCERA, J.; MALMER, A. Tree sap flow and stand transpiration of two *Acacia mangium* plantations in Sabah, Borneo. **Journal of Hydrology**, v. 236, 109-120, 2000.

FRAGA, C. I. M. **Evapotranspiração e Fator de Desacoplamento em Área de Cambarazal no Pantanal**. 2009. 56 f., Dissertação (Física Ambiental) Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá MT. 2009.

GRANIER, A., R. HUC, S. T. BARIGAH. Transpiration of natural rain forests and its dependence on climatic factors, **Agricultural Forest Meteorological**, 78, 19– 29. 1996.

JARVIS, P. G.; e McNAUGHTON, K. G. Stomatal control of transpiration. **Advances in Ecological Research**. 15: 1-49. 1986.

KELLIHER, F. M.; LEUNING, R.; RAUPACH, M. R.; SCHULZE, E. D. **Maximum conductances for evaporation from global vegetation types.** *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 73, 1-16, 1995.

MALHI, Y., E. PEGORARO, A. D. NOBRE, M. G. P. PEREIRA, J. GRACE, A. D. CULF, and R. CLEMENT, Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest, *J. Geophys. Res.*, 107(D20), 8061, doi:10.1029/2001JD000623, 2002.

McWILLIAM, A-L.; CABRAL, M. R.; GOMES, B. M.; ESTEVES, J. M. Forest and pasture leaf-gas exchange in south-west Amazonia. *In*: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. **Amazonian Deforestation and Climate.** John Wiley and Sons, 1st ed. p.265 –285. 1996.

MEINZER, F. C.; ANDRADE, J. L.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N. M.; CAVELIER, J.; JACKSON, P. Control of transpiration from the upper canopy of a tropical forest: the role of stomatal, boundary layer and hydraulic architecture components. *Plant Cell Environment* , v. 20, 1242–1252, 1997.

MONCRIEFF, J.; VALENTINI, R.; GRECO, S.; SEUFERT, G.; CICCIOLO, P. Trace gas exchange over terrestrial ecosystem: methods and perspectives in micrometeorology. *Journal of experimental botany.* 48 (310): 1133-1142. 1997.

ROBERTS, J. M.; CABRAL, M. R.; COSTA, J. P.; WILLIAM, A. L. C.; SÁ, T. D. Na overview of the leaf area index and physiological measurements during ABRACOS. *In*: Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.; Victoria, R. L. **Amazonian Deforestation and Climate.** John Wiley and Sons, 1st ed. p.287-306. 1996.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation from Amazonian rainforest. *Proc. R. Soc. Lond.*, v. b233,: 321-346. 1988.

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.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações.** UFV, Viçosa, MG, Brasil, Editora da UFV, 1991.

VOURLITS, G. L., PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S; CASEIRO, F. T. CAMPELO JR, J. H. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. *Water Resouces Research*, v. 38, 2002.

VOURLITIS, G. L., J. de S NOGUEIRA, N. PRIANTE-FILHO, W. HOEGER, F. RAITER, M. S. BIUDES, J. C. ARRUDA, V. B. CAPISTRANO, J. L. B. de FARIA, F. de ALMEIDA LOBO. The sensitivity of diel CO₂ and H₂O vapor exchange of a tropical transitional forest to seasonal variation in meteorology and water availability, *Earth Interactions*, Volume 9, Paper 27. 2005.

VOURLITIS, G. L., J. de SOUZA NOGUEIRA, F. de ALMEIDA LOBO, K. M. SENDALL, S. R. de PAULO, C. A. ANTUNES DIAS, O. B. PINTO Jr., N. L. R. de ANDRADE. Energy balance and canopy conductance of a tropical semi-deciduous Forest of the southern Amazon Basin, *Water Resour. Res.*, **44**, W03412, doi:10.1029/2006WR005526. 2008.

WRIGHT, I. R.; GASH, J. H. C.; ROCHA, H. R., ROBERTS, J. M. Modeling surface conductance for Amazonian pasture and forest. *In*: Gash, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. **Amazonian Deforestation and Climate**. John Wiley and Sons, 1st ed. p.437-458. 1996.

WULLSCHLEGER, S. D.; WILSON, K. B.; HANSON, P. J. Environmental control of whole-plant transpiration, canopy conductance and estimates of the decoupling coefficient for large red maple trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 104, 157-168, Agosto, 2000.

Submetido em: 16/08/2009

Aceito em: 16/12/2009