

# MODELO TRIDIMENSIONAL PARA INTERPRETAÇÃO DOS MECANISMOS DE ACOPLAMENTO DA BIOSFERA-ATMOSFERA EM FLORESTA TROPICAL

LUDYMILLA B. DA SILVA<sup>1</sup>, LUCIANA SANCHES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bióloga, Doutoranda em Física Ambiental, Instituto de Física, UFMT, Cuiabá – MT, Fone: (0 xx 65) 3615 8738, [ludymillab@gmail.com](mailto:ludymillab@gmail.com)

<sup>2</sup>Eng. Sanitarista, Prof<sup>a</sup> Doutora, Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental, FAEC/UFMT, Cuiabá – MT.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia –18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

**RESUMO:** O estudo teve por objetivo elaborar um modelo tridimensional para interpretação dos mecanismos de acoplamento do sistema biosfera-atmosfera por meio do fator de desacoplamento, condutância aerodinâmica e condutância de superfície para uma floresta semidecídua localizada em Sinop, norte de Mato Grosso – Brasil. O modelo parabólico apresentou o melhor ajuste e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,99. A análise dos valores de  $\Omega$  que indicaram acoplamento entre biosfera e atmosfera nas estações seca e úmida, porém, este acoplamento foi menor durante a estação chuvosa, com valores médios de 0,4 (úmida) e 0,2 (seca). Quando a condutância aerodinâmica foi mínima (vegetação acoplada com a atmosfera) foram verificados valores mínimos de condutância de superfície ( $C_s$ ) e o valor do fator de desacoplamento ( $\Omega$ ) tendeu a zero. Por outro lado, quando a condutância aerodinâmica apresentou os maiores valores (vegetação isolada aerodinamicamente da atmosfera) e a condutância de superfície ( $C_s$ ) também apresentou valores elevados (diminuição da resistência estomática) e o valor de fator de desacoplamento ( $\Omega$ ) tendeu a um.

**PALAVRAS-CHAVE:** fator de desacoplamento, condutância de superfície, condutância aerodinâmica.

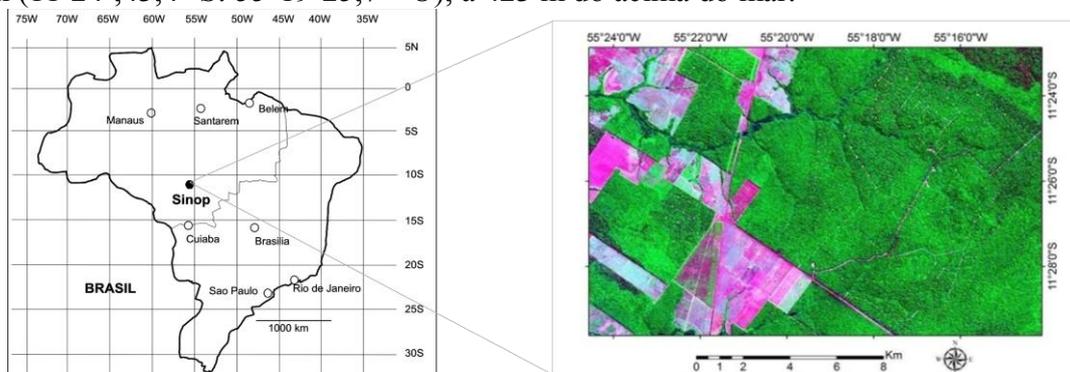
**ABSTRACT:** The study developed a three-dimensional model for interpretation of the coupling mechanisms of the biosphere-atmosphere system through the decoupling factor, aerodynamic conductance and surface conductance for a semi-deciduous forest located in Sinop in northern Mato Grosso - Brazil. The parabolic model produced the best fit and coefficient of determination ( $R^2$ ) greater than 0.99. The analysis of the values of  $\Omega$  indicate that coupling between biosphere and atmosphere in dry and wet seasons, however, this coupling was lower during the rainy season, with average values of 0.4 (rainy) and 0.2 (dry). When the aerodynamic conductance was minimal (vegetation coupled with the atmosphere) were observed minimum values of surface conductance ( $C_s$ ) and the value of decoupling factor ( $\Omega$ ) tended to zero. Already, when the aerodynamic conductance showed the high values (vegetation aerodynamically isolated from the atmosphere) and surface conductance ( $C_s$ ) also showed high levels (decreased stomatal resistance) and the value of decoupling factor ( $\Omega$ ) tended to one.

**KEYWORDS:** decoupling factor, surface conductance, aerodynamic conductance.

**1. INTRODUÇÃO:** Mudanças no uso e ocupação do solo em ecossistemas naturais ocasionam impactos no microclima regional, que são altamente discutidos no âmbito científico com relação às interações entre solo, vegetação e atmosfera. Os impactos da

remoção da vegetação nativa ocorrem desde a escala local, mas alcançam proporções ainda não elucidadas pela ciência devido às relações intrincadas de interdependência entre os ecossistemas e os fatores que influenciam sua dinâmica. O processo evapotranspirativo de um ecossistema é controlado por fatores físicos como a energia disponível na superfície ( $R_n$ ), a demanda atmosférica de vapor d'água, a resistência à transferência de vapor d'água e por fatores fisiológicos da vegetação. Visando a compreensão dos fatores que controlam o processo de evapotranspiração foram estimados os parâmetros condutância aerodinâmica ( $C_a$ ), condutância da superfície ( $C_s$ ) e fator de desacoplamento ( $\Omega$ ). Tendo isso em vista, o objetivo do trabalho foi elaborar um modelo tridimensional para interpretação dos mecanismos de acoplamento do sistema biosfera-atmosfera por meio do fator de desacoplamento e condutância aerodinâmica e de superfície em uma área de floresta semidecídua no norte de Mato Grosso.

**2. MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado em um ecossistema de transição entre os biomas Cerrado e a Amazônia situada a aproximadamente a 50 km de Sinop, Mato Grosso, Brasil (11°24',43,4''S: 55°19'25,7''O), a 423 m do acima do mar.



**Figura 1-** Localização da área de estudo.

O clima da região conforme classificação de Köppen é tropical quente e úmido (AW), com temperatura média anual de 24°C e uma precipitação média anual de 2000 mm (VOURLITIS et al., 2005). A estação seca compreendeu sete meses (abril a outubro), enquanto que, a chuvosa estendeu-se por um período menor, de cinco meses (janeiro a março e de novembro a dezembro). A vegetação foi classificada como floresta semidecídua, com altura média do dossel entre 28 a 30 m. A biodiversidade vegetal no local é constituída por aproximadamente 80 espécies, distribuídas em 35 famílias (VOURLITIS et al., 2008). O solo do local de estudo foi classificado como neossolo quartzarênico órtico típico A moderado álico, com profundidade de 50 cm e textura arenosa, com 84% de areia, 4% de silte, 12% de argila na camada superior do solo (50 cm) (PRIANTE FILHO et al., 2004).

#### **Instrumentação e medidas micrometeorológicas**

As medições foram realizadas por equipamentos fixados numa torre micrometeorológica com 42 metros de altura. Para a estimativa dos fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e velocidade de fricção do ar ( $u^*$ ), foi utilizado o método de covariâncias de vórtices turbulentos (Eddy covariance). Os fluxos foram realizados em dados de 10 Hz e armazenados a cada 30 minutos em um datalogger CR 5000 (Campbell Scientific, Inc.). O sistema de covariância de vórtices turbulentos era composto por um anemômetro sônico tridimensional (CSAT-3D, Applied Technologies, Inc., USA), e um analisador de gás por infravermelho de caminho aberto (IRGA, LI-7500, LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA).

#### **Mecanismos de controle da dinâmica de evapotranspiração no ecossistema**

A condutância aerodinâmica ( $m s^{-1}$ ) foi estimada adotando a condição de não neutralidade atmosférica descrita na equação 1.

$$C_a = \frac{0,4^2 u^*(z)}{\left[ \ln\left(\frac{z-d}{z_0} + \Psi_M\right) \right] \left[ \ln\left(\frac{z-d}{z_0} + \Psi_H\right) \right]} \quad (1)$$

Em que,  $C_a$  é a condutância aerodinâmica ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $u^*$  é a velocidade de fricção do ar na altura ( $z$ ) em que foi mensurado,  $d$  é o distanciamento do plano e  $z_0$  é a rugosidade do dossel (m). Foi utilizado ainda o fator de correção para fluxo de momentum ( $\Psi_M$ ) e fluxo de calor sensível ( $\Psi_H$ ) em condições de estabilidade e instabilidade, conforme CAMPBELL & NORMAN (1998). A condutância de superfície ou estomática ( $\text{m s}^{-1}$ ) é inversamente proporcional a resistência da superfície a difusão do vapor de água ( $r_s$ ) conforme Penman-Monteith, equação 2.

$$C_s = (r_s)^{-1} = \left[ \frac{\rho_a c_p \text{DPV}}{\gamma \text{LE}} - \frac{1}{C_a} \left( 1 - \frac{\delta H}{\gamma \text{LE}} \right)^{-1} \right] \quad (2)$$

Sendo, DPV o déficit de pressão de vapor (kPa),  $C_s$  é a condutância de superfície,  $r_s$  é a resistência da superfície ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\rho_a$  é a densidade do ar,  $c_p$  é o calor específico do ar úmido, DPV é o déficit de pressão de vapor (kPa),  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ ), LE é o fluxo de calor latente ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $C_a$  é a condutância aerodinâmica ( $\text{m s}^{-1}$ ), H é o fluxo de calor sensível ( $\text{W m}^{-2}$ ) e  $\delta$  é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor d'água ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ ).

### Fator de desacoplamento

Para a compreensão da contribuição dos elementos fisiológicos e meteorológicos que controlam a evapotranspiração, foi calculado o fator de desacoplamento ( $\Omega$ ) proposto por JARVIS & MCNAUGHTON (1986), que permite verificação do grau de interação entre o dossel e a vegetação por meio da condutância de superfície ( $C_s$ ) e a aerodinâmica ( $C_a$ ).

$$\Omega = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\gamma}{\delta + \gamma} \right] \left( \frac{C_a}{C_s} \right)} \quad (3)$$

O fator  $\Omega$  varia conforme o intervalo  $0 < \Omega < 1$ , sendo que valores próximos ou iguais a 0, indicam que a transpiração vegetal depende do controle dos estômatos ( $C_e$ ) e de outros fatores fisiológicos da vegetação e, quando próximos a 1, que a transpiração está sensível ao saldo de radiação solar ( $R_n$ ).

**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Figura 2 estão apresentados os modelos tridimensionais da relação entre os mecanismos de controle da evapotranspiração e o parâmetro fator de desacoplamento ( $\Omega$ ) nas estações seca e úmida. O melhor ajuste obtido foi por meio do modelo parabólico com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,99.

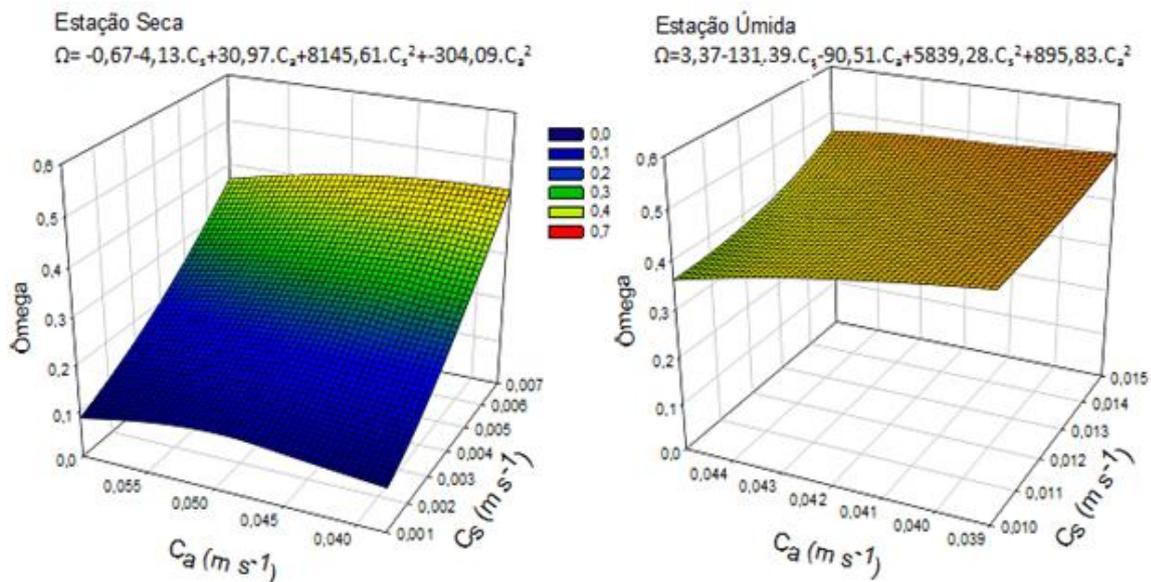


Figura 2 - Modelos tridimensionais da relação condutância aerodinâmica (eixo y), condutância de superfície (eixo x) e fator de desacoplamento (eixo z) nas estações seca e úmida.

Quando a condutância aerodinâmica foi mínima (vegetação acoplada com a atmosfera) ou, a resistência da superfície a transferência de vapor foi grande (estômatos fechados) foram verificados valores mínimos de condutância de superfície ( $C_s$ ) e o valor de  $\Omega$  tende a zero. Nessas condições, o déficit de pressão de vapor (DPV) foi o fator predominante no processo de transpiração, sendo que a vegetação exerceu um controle efetivo sobre o fenômeno. Por outro lado, quando a condutância aerodinâmica apresentou os maiores valores (vegetação isolada aerodinamicamente da atmosfera) e a condutância de superfície ( $C_s$ ) também apresentou valores elevados (diminuição da resistência estomática), o valor de  $\Omega$  tendeu a um. Nestas condições, a evaporação foi predominantemente governada pelo saldo de radiação e a vegetação exerceu menor controle sobre a transpiração. A complexidade e a interação entre os fatores bióticos e abióticos dificilmente permitem com que os valores de  $\Omega$  alcancem os extremos absolutos 0 e 1. Assim, a floresta semidecídua apresentou valores de  $\Omega$  que indicaram acoplamento entre biosfera e atmosfera em ambas as estações, porém, este acoplamento foi menor durante a estação chuvosa, com valores médios de 0,4 (chuvosa) e 0,2 (seca). As médias estacionais e mensais do fator de desacoplamento (Tabela -1) demonstraram que durante a estação seca houve maior controle da evapotranspiração por fatores fisiológicos da vegetação em relação à estação úmida.

Tabela 1. Valores mensais médios, máximos e mínimos médios para o déficit de pressão de vapor (DPV), condutância de superfície ( $C_s$ ), condutância aerodinâmica ( $C_a$ ) e fator de desacoplamento ( $\Omega$ ).

Estação	Mês	DPV(kPa)	$C_s$ ( $m s^{-1}$ )			$C_a$ ( $m s^{-1}$ )			$\Omega$		
			Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín
Úmida	Jan	0,617	0,012	0,043	0,004	0,039	0,061	0,025	0,470	0,618	0,280
Úmida	Fev	0,502	0,015	0,036	0,004	0,044	0,078	0,028	0,468	0,610	0,294
Úmida	Mar	0,865	0,010	0,048	0,003	0,042	0,059	0,028	0,422	0,596	0,295
Seca	Abr	0,720	0,007	0,025	0,003	0,038	0,053	0,025	0,438	0,582	0,357
Seca	Jul	3,167	0,002	0,003	0,001	0,051	0,079	0,024	0,143	0,228	0,093
Seca	Ago	3,190	0,002	0,002	0,001	0,060	0,085	0,028	0,118	0,157	0,090
Seca	Set	3,396	0,001	0,003	0,001	0,047	0,076	0,025	0,118	0,180	0,069
Seca	Out	3,502	0,001	0,003	0,001	0,045	0,065	0,025	0,112	0,186	0,042
Úmida	Nov	0,655	0,013	0,035	0,004	0,045	0,064	0,031	0,393	0,592	0,203
Úmida	Dez	0,537	0,014	0,043	0,006	0,042	0,060	0,025	0,457	0,570	0,332

Em maio e junho ocorreram falhas instrumentais nas medições de temperatura que impossibilitaram as estimativas de  $C_s$ ,  $C_a$  e  $\Omega$ . A condutância aerodinâmica ( $C_a$ ) foi superior a condutância de superfície ( $C_s$ ) em todos os meses. De acordo com LEAL et al. (2006) os mecanismos fisiológicos que regulam a transpiração podem ser reconhecidos quando as taxas transpiracionais não acompanham a capacidade evaporativa do ar, sendo que as causas iniciais para a uma redução temporária no grau de abertura estomática vão desde a redução da intensidade luminosa, o ar seco associado ao vento, elevado déficit de pressão de vapor (DPV), as temperaturas extremas ou os gases tóxicos. Isso pode ser verificado quando o déficit de pressão de vapor (DPV) nos meses de estação seca (Tabela 1) foram significativamente maiores em relação a estação úmida. Na estação seca houve uma amplitude maior das condições de acoplamento entre biosfera e atmosfera, em geral, nessa estação as

condições de maior acoplamento são preponderantes, no entanto, a maior disponibilidade de água no ecossistema durante o mês de abril contribuiu para as taxas de condutância de superfície maiores em relação aos demais meses do período seco e menor acoplamento no entre biosfera e atmosfera nesse mês.

**4. CONCLUSÕES:** A estimativa do fator de desacoplamento ( $\Omega$ ) nas estações seca e úmida apresentou melhor ajuste por meio do modelo parabólico com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,99. A floresta semidecídua apresentou valores de  $\Omega$  que indicaram acoplamento entre biosfera e atmosfera em ambas as estações, porém, este acoplamento foi menor durante a estação chuvosa, com valores médios de 0,4 (chuvosa) e 0,2 (seca).

**5. AGRADECIMENTOS:** Agradecemos a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PGFA), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An introduction a environmental biophysics**. 2 ed. New York: Springer. 1998. 286 p.

JARVIS, P. G.; MCNAUGHTON, K.G., 1986. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Advances in Ecological Research**, v. 15, p. 1-49, 1986.

LEAL, L. S. M.; CARNEIRO, R. L. C.; LEAL, B. G.; RIBEIRO, A. Variação diurna da concentração de CO<sub>2</sub> no dossel vegetativo da floresta Amazônica em Caxiuanã – PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, p. 122-128, 2006.

Priante-Filho, N.; Vourlitis, G. L.; Hayashi, M. M. S.; Nogueira, J. S. de, Campelo JR, J. H.; Nunes, P. C.; Sanches, L.; Couto, E. G.; Hoeger, W.; Raiter, F.; Trienweiler, J. L.; Miranda, E. J.; Priante-Filho, P. C.; Pereira, L. C.; Biudes, M. S.; Fritzen, C. L.; LACERDA, M.; Suli, G. S.; Shiraiwa, S.; Silveira, M. 2004. 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. doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00775.x

Vourlitis, G. L.; Nogueira, J. S.; Priante-Filho, N.; Hoeger, W.; Raiter, F.; Biudes, M. S.; Arruda, J. C.; Capistrano, V. B.; Faria, J. L. B.; Lobo, F. A. 2005. The sensitivity of diel CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O vapor exchange of a tropical transitional forest to seasonal variation in meteorology and water availability. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1-13. doi: 10.1175/EI124.1

Vourlitis, G. L.; Nogueira, J. S.; Lobo, F. A.; Sendall, K. M.; Paulo S. R.; Dias, C. A. A.; Pinto-Junior, O. B.; Andrade, N. L. R. 2008. Energy balance and canopy conductance of a tropical semi-deciduous Forest of the southern Amazon Basin. **Water Resources Research**, v. 44. doi:10.1029/2006WR005526