

CALIBRAÇÃO DO MODELO SITE PARA SIMULAR FLUXOS DE CALOR SENSÍVEL, CALOR LATENTE E CARBONO EM UM SÍTIO DE FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA

Edson Luís Nunes¹, Marcos Heil Costa¹, Thomé S. Almeida¹

RESUMO - Objetivou-se neste trabalho, a calibração do modelo SITE, para um sítio de floresta tropical amazônica, comparando os dados de fluxo de calor sensível, calor latente e troca líquida de CO₂ do ecossistema observados com os valores simulados, a partir da obtenção dos valores dos parâmetros biofísicos que aperfeiçoam as estatísticas dos coeficientes de correlação e de inclinação da reta de regressão entre os dados simulados e observados, e minimizam a raiz do erro quadrado médio, priorizando o melhor ajuste para a troca líquida de CO₂ do ecossistema. Obtendo-se um novo conjunto de parâmetros calibrados: $V_{\max} = 110 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $m = 7$, $C_s = 2,109 \times 10^4 \text{ J m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $C_u = 2,109 \times 10^3 \text{ J m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $L_u = 0,90 \text{ kg C m}^{-2}$, $L_s = 0,65 \text{ kg C m}^{-2}$, $D_f = 0,85 \text{ kg C m}^{-2}$ e $D_r = 0,55 \text{ kg C m}^{-2}$.

ABSTRACT - It was aimed at in this work, the calibration of the model SITE, for a site of Amazonian tropical forest, comparing the data of flux of sensitive heat, latent heat and liquid change of CO₂ of the ecosystem observed with the simulated values, starting from the obtaining of the values of the biophysical parameters that improve the statistics of the correlation coefficients and of inclination of the regression straight line among the simulated data and observed, and they minimize the root mean square error, prioritizing the best adjustment for the liquid change of CO₂ of the ecosystem. Being obtained a new group of calibrate parameters: $V_{\max} = 110 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $m = 7$, $C_s = 2,109 \times 10^4 \text{ J m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $C_u = 2,109 \times 10^3 \text{ J m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $L_u = 0,90 \text{ kg C m}^{-2}$, $L_s = 0,65 \text{ kg C m}^{-2}$, $D_f = 0,85 \text{ kg C m}^{-2}$ and $D_r = 0,55 \text{ kg C m}^{-2}$.

Palavras-chave – Modelagem de Ecossistema, Calibração, Floresta Tropical.

INTRODUÇÃO

O SITE (em inglês, Simple Tropical Ecosystem Model) é um modelo simplificado de dinâmica de vegetação de ecossistema tropical, desenvolvido por Santos e Costa (2004), que incorpora vários processos: balanço de radiação solar e infravermelha, processos aerodinâmicos, fisiologia e transpiração do dossel, balanço de água interceptada pelo dossel, transporte de massa e energia na atmosfera, fluxo de calor no solo, fluxo de água no solo e balanço de carbono, mais que possui a complexidade necessária para representar os processos fisiológicos envolvidos com o ciclo do carbono.

¹ Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Engenharia Agrícola – Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola - Av. P.H. Rolfs, s/nº - CEP: 36.570-000 Viçosa – MG – Tel.: 31-3899-1902 – E-mail: elnunes@vicosa.ufv.br

O SITE é um modelo pontual que em sua última versão (Site1.1-0d) usa um intervalo de integração (dt) de uma hora e é estruturado com uma camada de dossel e duas camadas no solo, onde a primeira camada é próxima à superfície do solo com uma profundidade de até 10 cm e a segunda, onde se encontram distribuídas as raízes, com uma profundidade de até 5 m. O modelo é forçado com base nos dados médios horários das observações meteorológicas das variáveis de temperatura do ar (T_a), umidade específica do ar (q_a), velocidade horizontal do vento (u_a), radiação de onda curta incidente (S_{in}), radiação de onda longa incidente (L_{in}) e precipitação (P), medidos acima do dossel.

De modo geral, os modelos são formulados para representar, de forma genérica, uma superfície vegetada, sendo necessário calibrá-los para os casos específicos. A calibração de modelos consiste em comparar os dados medidos com os simulados, visando ajustar os parâmetros do modelo para melhorar seu desempenho na representação dos processos.

O presente trabalho consiste na calibração do modelo SITE, para um sítio de floresta tropical amazônica, comparando os dados de fluxo de calor sensível (H), calor latente (LE) e troca líquida de CO_2 do ecossistema (NEE) observados com os valores simulados, a partir da obtenção dos valores dos parâmetros biofísicos que aperfeiçoam as estatísticas dos coeficientes de correlação (ρ) e de inclinação da reta de regressão (α) entre os dados simulados e observados, e minimizam a raiz do erro quadrado médio ($RMSE$), priorizando o melhor ajuste para a troca líquida de CO_2 do ecossistema (NEE).

METODOLOGIA

Para realização deste trabalho foram considerados os dados coletados no sítio instalado na Floresta Nacional de Tapajós localizada no município de Belterra-PA ($2^\circ 51' 18''S$; $55^\circ 02' 11''W$), à margem da rodovia Santarém-Cuiabá, próximo ao km 67 desta rodovia (Sítio Tapajós km 67). O conjunto de dados utilizados foi: S_{in} , L_{in} , radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{in}), saldo de radiação (R_n), T_a , u_a , velocidade de fricção do vento (u^*), P , q_a , H , LE e NEE , coletados no período de 19/06/2002 à 29/08/2003. Todas essas medidas foram tomadas acima do dossel a 65 m de altura. Sendo os dados de T_a , q_a , u_a , S_{in} , L_{in} e P usados para forçar o modelo e os outros para avaliar o desempenho. Os dados de L_{in} foram estimados por meio da expressão $L_{in} = R_n - S_{in} + \lambda \sigma T_a^4$, em que se supõe que a temperatura efetiva da emissão do dossel é igual à temperatura absoluta do ar, onde λ é a emissividade, σ é a Constante de Stefan-Boltzmann.

Os dados usados na calibração dos resultados do modelo tiveram todas as suas falhas preenchidas por interpolação, de acordo com as relações propostas por Senna (2004), e foram filtrados para eliminar valores espúrios, utilizando os seguintes critérios: de $PAR_{in} < 0 \mu mol m^{-2} s^{-1}$, $R_n < -100 W m^{-2}$ ou $R_n > 1200 W m^{-2}$; do limiar da velocidade de atrito; e do fechamento do

balanço de energia. Em que o critério do limiar da velocidade de atrito se baseia no questionamento de alguns autores da validade dos fluxos de CO₂ medidos pelo sistema de covariância de vórtices turbulentos em condições de baixa turbulência, pois, nessas condições, o fluxo de CO₂ poderia não ser detectado (Curtis et al. 2002; Saleska et al. 2003; e Kruijt et al. 2004). Neste trabalho foi usado $u^*_0 = 0,2 \text{ m s}^{-1}$, ou seja, os períodos que apresentaram valores inferiores a $u^*_0 = 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ foram descartados da análise. Já o critério do fechamento do balanço de energia se baseia no fato de que as medidas dos principais componentes do balanço de energia, feitas por instrumentos independentes, freqüentemente não são consistentes com o princípio de conservação de energia ($R_n = H + LE + G + S$, em que G é o fluxo de calor no solo e S é a taxa de variação da energia armazenada no dossel). Segundo Kustas et al. (1999) e Twine et al.(2000) a soma dos fluxos de calor sensível e latente pelo método de covariância de vórtices turbulentos é, geralmente, menor que a diferença entre o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo, e o viés no fechamento do balanço de energia é definido por $\delta = 1 - (H+LE)/(R_n-G-S)$. Com isso, o critério do fechamento do balanço de energia limita a fração dos dados diários de H+LE que está dentro do intervalo $[(1-\delta)(R_n-G-S), (1+\delta)(R_n-G-S)]$. No presente trabalho os dados de G e S não estavam disponíveis, estes foram supostos como desprezíveis, o que é razoável para médias diárias, e foram aproveitados apenas os valores de H e LE cujo balanço de energia diário medido pelo sistema de vórtices turbulentos estava dentro de 40% ($\delta = 0,4$) do balanço de energia medido pelos instrumentos radiativos, de acordo com $(1-\delta) \leq \left| \frac{H + LE}{R_n} \right| \leq (1+\delta)$.

Os parâmetros do modelo calibrados foram a capacidade máxima da enzima Rubisco a 15°C ($V_{m\acute{a}x}$), o coeficiente angular relacionado à condutância estomática (m), capacidade térmica dos galhos (Cs), capacidade térmica das folhas (Cu) e matéria orgânica morta no solo (folhas – Lu; galhos – Ls; raízes grossas – Dr e raízes finas – Df). Primeiramente procurou-se ajustar H e LE a partir de $C_s = 2,109 \times 10^5 \text{ J m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $C_u = 2,109 \times 10^3 \text{ J m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ encontrados por Imbuzeiro (2005), com os expoentes variando entre 3 e 5. Foram feitas simulações com $V_{m\acute{a}x}$ variando de 10 em $10 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, iniciando em 70 e indo até $120 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; com m variando de 1 em 1, iniciando em 7 e indo até 10; e com a matéria orgânica morta no solo (kg C m^{-2}) iniciando com $L_u = 0,50$, $L_s = 0,25$, $D_f = 0,45$ e $D_r = 0,15$, variando todos igualmente de 0,10 e indo até $L_u = 0,90$, $L_s = 0,65$, $D_f = 0,85$ e $D_r = 0,55$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes ρ , α e RMSE entre os dados observados e simulados, para as simulações com parâmetros não calibrados (iniciais) e com parâmetros calibrados, para o Sítio Tapajós, km 67, são apresentados na Tabela 1. Com os parâmetros iniciais, o modelo simula bem R_n e PAR_{in} , apresentando ótimos resultados para os coeficientes de calibração em relação aos valores

observados, não sendo necessário uma alteração nos parâmetros de calibração desses fluxos.

Enquanto que, H apresenta um bom resultado com uma pequena subestimativa do valor acumulado no início e no final do período de simulação, o modelo superestima LE acumulado para todo o período simulado e superestima NEE acumulado no mesmo período, pois apresenta uma baixa estimativa para a respiração noturna.

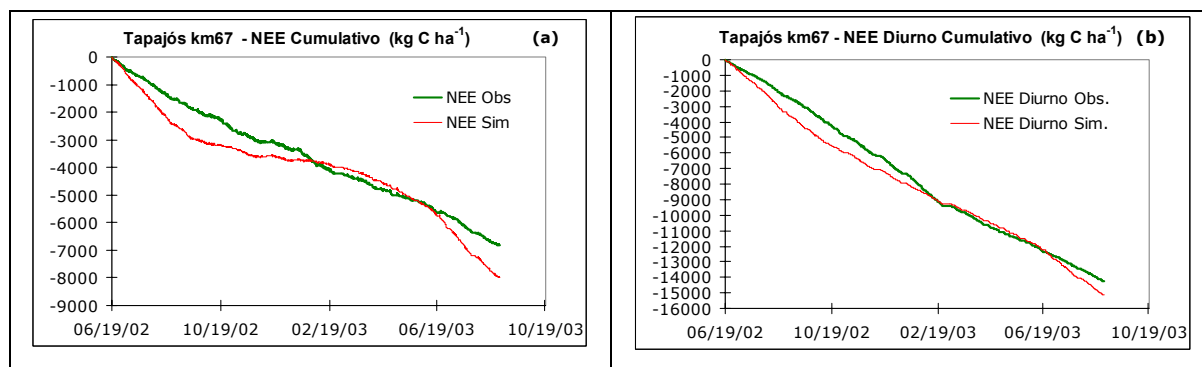
Com o novo conjunto de parâmetros calibrados (Tabela 2), os coeficientes ρ , α e RMSE entre os dados observados e simulados para H e LE apresentam uma pequena variação, não alterando consideravelmente os resultados dos valores simulados, enquanto que NEE apresenta uma melhora considerável nos coeficientes α e RMSE, e um melhor ajuste para os valores acumulados para todo o período de simulação, tanto para o NEE total, quanto para o NEE diurno (Figura 1).

Tabela 1 - ρ , α e RMSE entre os dados observados e simulados, para as simulações com o conjunto inicial de parâmetros não calibrados e após calibração para o Sítio Tapajós km 67. As unidades referem-se apenas ao RMSE, pois ρ e α são adimensionais.

		Rn (W m ⁻²)	PARin ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	H (W m ⁻²)	LE (W m ⁻²)	NEE (kg C ha ⁻¹ h ⁻¹)
Inicial	ρ	0,99	1,00	0,79	0,64	0,83
	α	0,98	0,95	0,80	0,68	0,63
	RMSE	36,52	30,11	44,44	118,87	2,79
Calibrado	ρ	0,99	1,00	0,76	0,64	0,86
	α	0,98	0,95	0,79	0,70	0,79
	RMSE	36,55	30,11	47,45	122,18	2,52

Tabela 2 - Parâmetros não calibrados (Inicial) e parâmetros calibrados para o Sítio Tapajós km 67.

	Vmáx ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	m	Cs (J m ⁻² °C ⁻¹)	Cu (J m ⁻² °C ⁻¹)	Lu (kg C m ⁻²)	Ls (kg C m ⁻²)	Df (kg C m ⁻²)	Dr (kg C m ⁻²)
Inicial	75 x 10 ⁻⁶	10	1,254 x 10 ⁵	1,254 x 10 ⁵	0,50	0,25	0,44	0,135
Calibrado	110 x 10 ⁻⁶	7	2,109 x 10 ⁴	2,109 x 10 ³	0,90	0,65	0,85	0,55



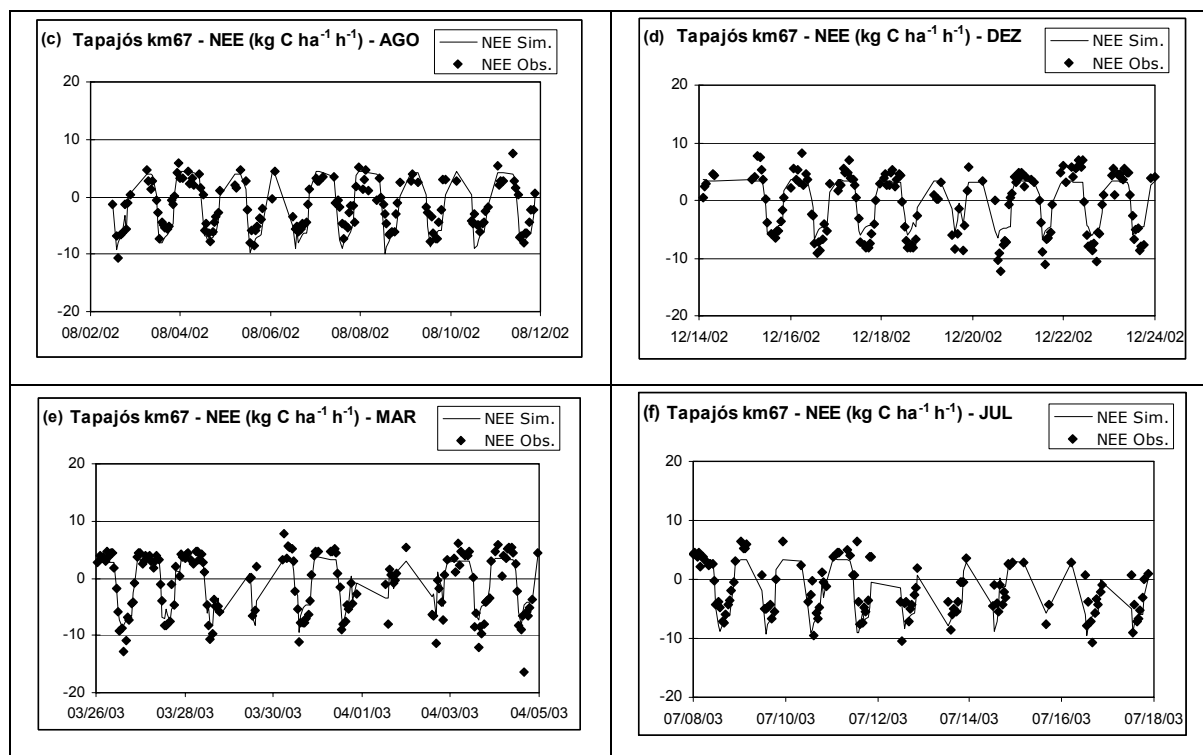


Figura 1 – Gráfico cumulativo de (a) NEE Total e (b) NEE Diurno; (c), (d), (e) e (f) gráficos de NEE observado e simulado, para períodos selecionados nos meses de agosto e dezembro de 2002 e março e julho de 2003; para dados com $u^* > 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ e $\delta = 0,4$, para o Sítio Tapajós km 67.

As Figuras de 2 a 4, apresentam os resultados dos coeficientes ρ , α e RMSE para H, LE e NEE em função dos parâmetros $V_{\text{máx}}$ e m , considerando fixos os valores calibrados para C_u , C_s , L_u , L_s , D_f e D_r (Tabela 2). Em que, os coeficientes ρ , α e RMSE para H tendem a valores levemente piores com o aumento de $V_{\text{máx}}$, com os melhores resultados para $m = 7$. Os coeficientes ρ e RMSE para LE tendem a valores levemente piores com o aumento de $V_{\text{máx}}$, com os melhores resultados para $m = 7$, enquanto o coeficiente α tende a valores levemente melhores com o aumento de $V_{\text{máx}}$. Para NEE, o coeficiente ρ apresenta valores levemente melhores com o aumento de $V_{\text{máx}}$, com os melhores resultados para $m = 7$; o coeficiente α tende a valores consideravelmente melhores com o aumento de $V_{\text{máx}}$, sendo pouco sensível a variação de m ; e o coeficiente RMSE tende a valores consideravelmente melhores com o aumento de $V_{\text{máx}}$, tendo o seu ponto mínimo para $V_{\text{máx}} = 110 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $m = 7$.

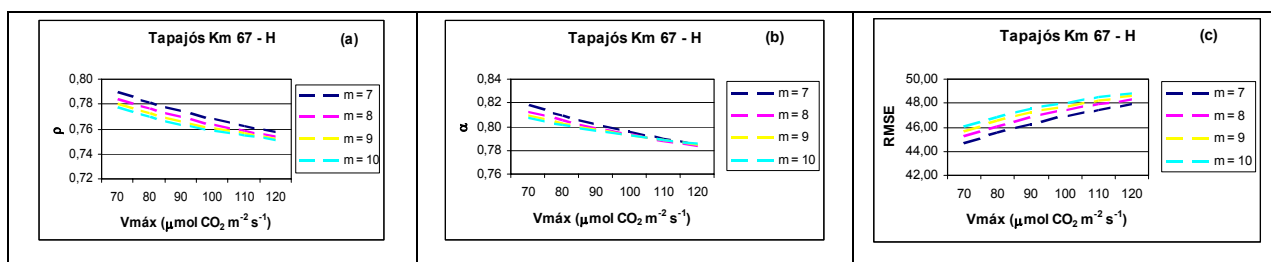


Figura 2 – Gráfico de (a) ρ , (b) α e (c) RMSE para H do Sítio Tapajós km 67 em função de $V_{\text{máx}}$ e m , para dados com $u^* > 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ e $\delta = 0,4$.

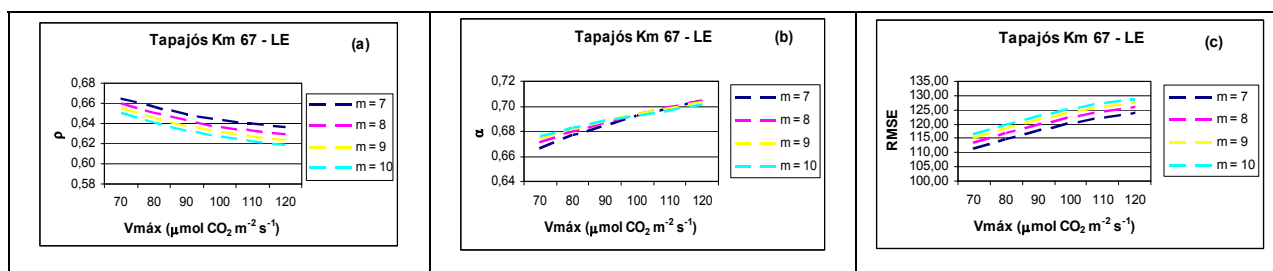


Figura 3 – Gráfico de (a) ρ , (b) α e (c) RMSE para LE do Sítio Tapajós km 67 em função de V_{\max} e m , para dados com $u^* > 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ e $\delta = 0,4$.

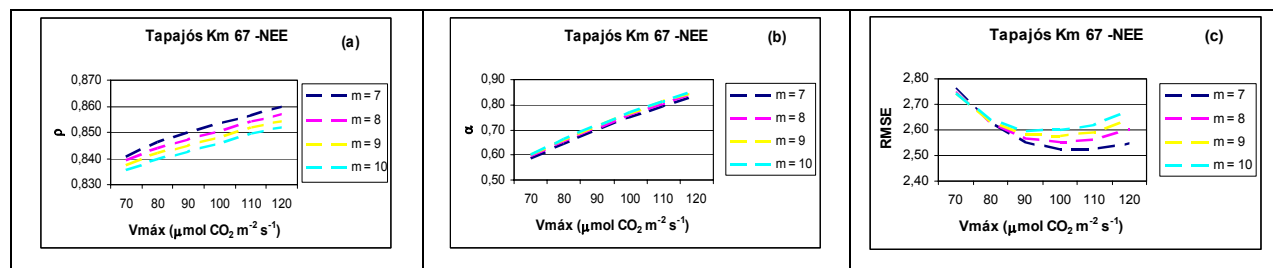


Figura 4 – Gráfico de (a) ρ , (b) α e (c) RMSE para NEE do Sítio Tapajós km 67 em função de V_{\max} e m , para dados com $u^* > 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ e $\delta = 0,4$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Curtis, P.S., Hanson, P.J., Bolstad, P., Barford, C., Randolph, J.C., Schmid, H.P., & Wilson, K.B., Biometric and eddy-covariance based estimates of annual carbon storage in five eastern North American deciduous forests. *Agric. Forest Meteorol.* 113, 3-19, 2002.
- Imbuzeiro, H.M.A. Calibração Do Modelo Ibis na Floresta Amazônica Usando Múltiplos Sítios. Tese de mestrado em Meteorologia Agrícola. 67p., Viçosa, 2005.
- Kruijt, B., Elbers, J.A., von Randow, C., Araujo, A.C., Oliveira, P.J., Gulf, A., Manzi, A.O., Nobre, A.D., Kabat, P., & Moors, E.J., The robustness of eddy correlation fluxes for Amazon rain forest conditions. *Ecol. Appl.*, 14, 101-113, 2004.
- Kustas, W.P., Prueger, J.R., Humes, K.S., & Starks, P.J., Estimation of surface heat fluxes at field scale using surface layer versus mixed layer atmospheric variables with radiometric temperature observations. *J. Appl. Meteorol.* 38, 224-238, 1999.
- Saleska, S.R., Miller, S.D., Matross, D.M., Goulden, S.C. Wofsy, Rocha, H.R., Camargo, P.B., Crill P., Daube, H.C. de Freitas, Hutyrá L., Keller, M., Kichhoff V., Menton M., Munger J.W., Pyle .H., Rice A.H., & Silva H., Carbon in Amazon forests: Unexpected seasonal fluxes and disturbance – induced losses. *Science*, 302: 1554-1557, 2003.
- Santos, S. N. M. e M. H. Costa, 2004: A simple tropical ecosystem model of carbon, water and energy fluxes. *Ecological Modelling*, 176, 291-312.
- Senna, M.C.A. Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida pela Floresta Tropical Amazônica: Uma Comparação entre Estimativas Baseadas em Modelagem, Sensoriamento Remoto e Medições de Campo. Tese de mestrado em Meteorologia Agrícola. 38p., Viçosa, 2004.
- Twine, T.E., Kustas, W.P., Cook, D.R., Houser, P.R., Meyers, T.P., Prueger, J.H., Starks, P.J., & Wesely, M.L., Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agr. and Forest Met.*, 103, 279-300, 2000.