

FLUXOS DE ENERGIA EM ÁREA DE FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA – CERRADO MODELADOS PELO ‘SOFTWARE SITE’[®]

NARA LUÍSA REIS DE ANDRADE¹, LUCIANA SANCHES ALVES², MARCOS
HEIL COSTA³

¹ Eng. Sanitarista, Doutoranda em Física Ambiental, Depto Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá - MT, Fone: (0 xx 65) 36158739, naraluisar@gmail.com

²Eng^a Sanitarista, Prof^a. Doutora Depto. de Engenharia Sanitária, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT, Cuiabá - MT.

³Engenheiro Agrícola, Doutor. Programa de Pós-Graduação em meteorologia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa-MG.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

RESUMO: Devido à importância das trocas de energia entre um ecossistema tropical e a atmosfera, e as dificuldades inerentes às medidas destas, o presente trabalho visou o estudo da aplicabilidade do modelo simplificado de ecossistema tropical (Simple Tropical Ecosystem Model – SITE) para simulação dos fluxos de energia em uma área de floresta de Transição Amazônia Cerrado, localizada no norte do estado de Mato Grosso. Os fluxos foram simulados por meio de dados representativos distribuídos em estações e o modelo calibrado, quando necessário, de acordo com as características inerentes a cada estação. Os dados de saída do modelo calibrados (radiação líquida -Rn, fluxo de calor latente - LE e fluxo de calor sensível - H) foram comparados com os dados observados em campo, para sua validação. O modelo SITE apresentou boa aplicabilidade para simular as variações do ciclo diário. Apresentou também uma simulação satisfatória do saldo de radiação, com leve tendência a subestimativas, uma boa simulação de LE e uma maior dificuldade de ajuste de H.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem de ecossistemas, fluxos de energia, floresta tropical.

ENERGY FLUX IN A TRANSITIONAL AMAZONIA-CERRADO FOREST AREA MODELLING BY SITE

ABSTRACT: Due to the importance of energy changes between a tropical ecosystem and the atmosphere, and the difficulties inherent to these measures, this work aimed to study the applicability of the Simple Tropical Ecosystem Model – SITE- for simulation of energy fluxes in a Transitional Amazonian Cerrado forest. The model was simulated with data representing the stations, and was calibrated according to each season. The output data of the calibrated model (net radiation - Rn, latent heat flux – LE and sensible heat flux - H) were compared with observed data in the field, for its validation. The SITE model presented good applicability to simulate changes in the daily cycle. Also presented a satisfactory simulation of net radiation, with slight tendency to underestimate, and a satisfactory simulation of LE and higher difficult to adjusting H.

KEYWORDS: Ecosystem models, energy fluxes, tropical forest.

INTRODUÇÃO: O entendimento e a quantificação dos processos relacionados ao papel das florestas no balanço de energia na Amazônia são relevantes para a formulação de políticas ambientais e climáticas (BALDOCHI et al., 1996; FALKOWSKI et al., 2000), visto que estes

ecossistemas desempenham importante papel no funcionamento do clima e da biologia na terra, e as transferências de energia, água e carbono são as mais importantes interações entre a biosfera e a atmosfera, da qual são amplamente dependentes diversas formas de vida. A complexidade e o custo de instalar experimentos para avaliar o impacto potencial de mudanças ambientais no funcionamento de um ecossistema, fazem da modelagem uma alternativa viável para responder às questões mencionadas anteriormente (SANTOS, 2001). Existe uma série de modelos consolidados para utilização em áreas de Florestas Tropicais, como por exemplo, o LSX, o LSM e o IBIS. Porém, estes exigem uma grande quantidade de dados de entrada, fazendo com que haja o direcionamento de pesquisas para a busca por modelos mais simples, que possam ser aplicados, sem detrimento da qualidade do modelo, à áreas de Floresta tropical, como é o caso da área de estudos em questão, uma Floresta de Transição madura e intacta, ecótono entre a Floresta Amazônica e o Cerrado, pertencente à Amazônia Legal, próximo à cidade de Sinop - MT. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o modelo simplificado de ecossistema tropical – SITE, para estimativa de fluxos de energia em uma região de transição Amazônia - Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS: A área em estudo, inserida na bacia Amazônica, localiza-se a aproximadamente 60 km ao norte de Sinop, Mato Grosso (55°19'O; 11°25'S), e é composta por uma área de floresta tropical de transição entre Amazônia e Cerrado, com altura média do dossel de 28 m e algumas árvores emergentes alcançando 42 m. Nos últimos 30 anos, a temperatura média anual foi 24 °C com pequena variação sazonal. No presente trabalho foram analisadas as estações seca (J-J-A) e úmida (D-J-F), de acordo com o adotado anteriormente em estudos de VOURLITIS et al. (2004). Foram utilizados dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global incidente, radiação solar líquida, precipitação e fluxos de calor latente e sensível, medidos de 2001 a 2007, previamente filtrados de acordo com valores limites pré-estabelecidos (AGUIAR, 2005). Desta série de dados foram selecionados períodos para serem utilizados na modelagem sendo o critério para seleção dos períodos o fato de possuírem medidas de todas as variáveis de entrada do modelo (Tabela 1), agrupadas por estação – seca e úmida.

Tabela 1: Descrição das séries de dados utilizadas como entrada do modelo SITE.

Série	Ano	Mês	Dia juliano	Estação
Série 1	2001	Janeiro a fevereiro	22 a 59	Úmida
Série 2	2002	Julho a agosto	213 a 236	Seca
Série 3	2002	Dezembro	336 a 363	Úmida
Série 4	2003	Julho a agosto	213 a 244	Seca
Série 5	2007	Junho e julho	182 a 213	Seca

Na floresta de transição foi instalado um piranômetro (LI-200SA Pyranometer Sensor) a 42 m de altura em uma torre micrometeorológica, para medição da radiação solar global (Rsd). As medidas de temperatura (T) e umidade do ar (UR) foram realizadas por psicrômetro (HMP-35, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland). A mesma torre contou com um sistema de correlação de vórtices turbulentos a 42 m (12-14 m acima do dossel da floresta) que originou as medidas dos fluxos de calor sensível (LE), calor latente (H) e velocidade do vento (u), medidos em 10Hz usando um analisador de gás infravermelho de caminho aberto (NOAA-ATDD, Oak Ridge, TN, USA; Modelo LI-7500, LI-COR, Inc. Lincoln, NE, USA). Os dados obtidos foram armazenados por um sistema de aquisição de dados, um Datalogger (CR10 -X, Campbell Scientific, Inc., UT, USA), programado para fazer leituras das medidas a cada 30 segundos e armazenar uma média a cada 30 minutos.

Modelagem

Para simulação dos fluxos foi utilizado o modelo simplificado de dinâmica de vegetação de ecossistema tropical pontual - SITE (em inglês, Simple Tropical Ecosystem Model, versão atual 1.1-0d), desenvolvido por SANTOS e COSTA (2004), disponível no endereço eletrônico: <http://madeira.dea.ufv.br> (último acesso: 14 de abril). É um modelo pontual, que usa um intervalo de integração (dt) de uma hora, representando um ponto de terreno totalmente coberto por uma floresta tropical perene de folhas largas. As variáveis do conjunto de dados de entrada utilizado para modelagem dos fluxos de energia pelo modelo SITE foram: velocidade horizontal do vento (u), temperatura do ar (T), umidade específica do ar (qa), radiação de onda curta incidente (Sin), radiação de onda longa incidente (Lin) e precipitação (Ppt). Os dados de Lin foram estimados por meio da equação: $Lin = Rn - Sin + \lambda \sigma T_a^4$, sugerida por NUNES et al. (2007), em que, se supõe que a temperatura efetiva da emissão do dossel é igual à temperatura absoluta do ar, em que λ é a emissividade do dossel e σ é a constante de Stephan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$). O valor de λ para o sítio de Sinop (0,997521) foi determinado pela equação: $\lambda = 1 - e^{-LAI}$ (VILANI, 2007), em que, LAI é o índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$). As variáveis de saída utilizadas para a avaliação do modelo foram H, LE e Rn. O desempenho do modelo foi analisado de acordo com os critérios estatísticos RMSE - root mean square error, e análise de regressão, com determinação dos coeficientes de correlação (ρ) e de inclinação da reta de regressão (α) entre os dados medidos e simulados. Para a obtenção da equação, as variáveis observadas foram consideradas como eixo X, e as variáveis simuladas, como eixo Y. Deste modo, $\alpha > 1$ representa tendência do modelo a superestimar as variáveis em questão, e $\alpha < 1$, tendência a subestimar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: De acordo com as variações do ciclo diurno (Figura 1), pode-se dizer que o modelo simula bem a variabilidade horária dos fluxos Rn, LE e H. A Rn apresentou um bom ajuste nos dois períodos analisados, o LE modelado, embora simule o padrão de comportamento dos fluxos observados, apresentou um deslocamento de, em média, uma hora de retardamento dos horários de picos, nas estações em questão. E, o H modelado, além de subestimar os valores observados, apresentou uma anomalia nos fluxos calculados por volta das 16 às 18 horas, período em que os fluxos modelados apresentaram uma diminuição não condizente com os padrões dos dados observados. Para as estações analisadas, o modelo SITE simulou bem os fluxos, de um modo geral. No entanto, apresentou a tendência a subestimar levemente os valores de Rn (em média 10%), e, em percentuais um pouco maiores, os valores de LE (em média 20%), e H (em média 50%). As médias da estação úmida e úmida seca (Tabelas 2 e 3) demonstraram, como identificado nas análises estatísticas, que o modelo subestimou Rn e H, embora a subestimativa de Rn possa ser considerada insignificante, e superestimou LE, na estação úmida. Apesar das sub ou superestimativas do modelo, a literatura apresenta, para o período úmido, valores de fluxos semelhantes aos modelados. Na floresta Nacional de Caxiuanã foram observados valores de 145,3, 82,6 e 29,7 W m^{-2} , respectivamente para Rn, LE e H, e simulados pelo modelo SITE, na mesma ordem, valores de 145,3, 109,5 e 9,1 W m^{-2} (SANTOS, 2001). O fluxo de calor sensível simulado, tanto no caso do presente trabalho como em SANTOS (2001), apesar de menor do que o medido localmente, apresentou-se mais próximo aos valores encontrados por ROCHA et al. (1996), 13,9 W m^{-2} para Reserva Ducke entre setembro de 1983 a agosto de 1985. O modelo, de um modo geral, conseguiu representar um padrão de comportamento dos fluxos, exceto para o caso do LE durante a estação úmida, em que os valores simulados apresentaram-se além das medidas reais, o que pode ser devido ao fato de o modelo ter embutidas algumas

características típicas de floresta tropical úmida, ocasionando superestimativas do referido fluxo em condições de umidades elevadas.

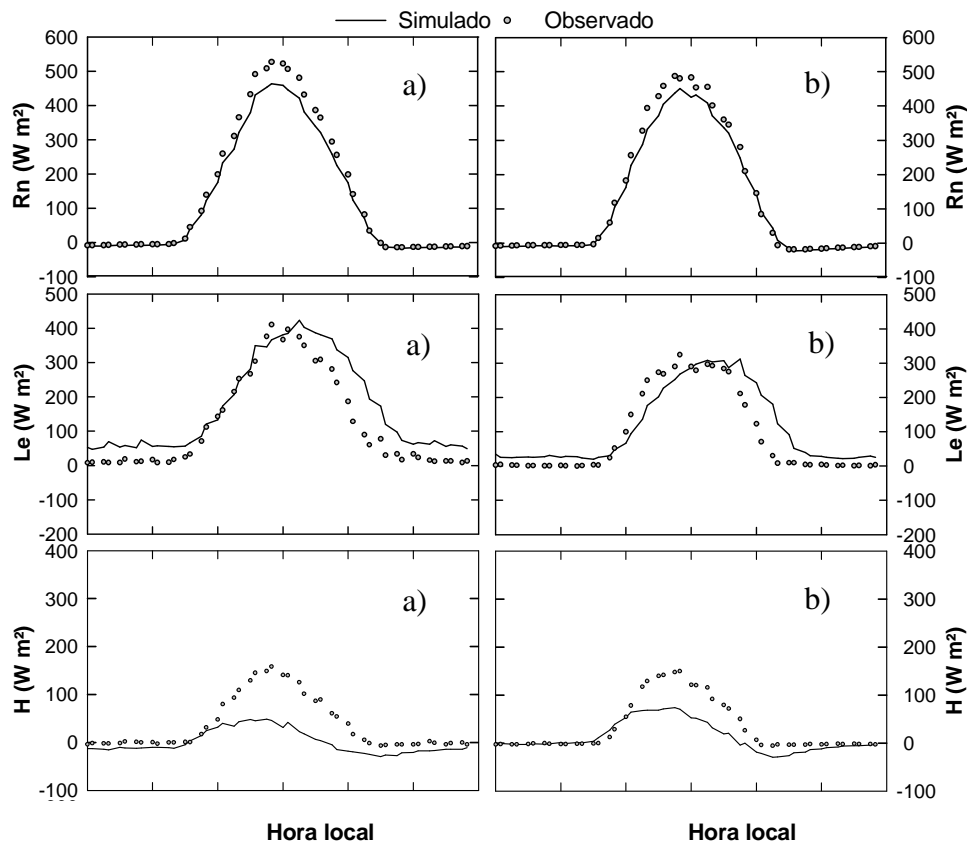


Figura 1: Ciclos diurnos da radiação solar líquida, fluxo do calor latente e fluxo de calor sensível, nas estações úmida (a) e seca (b).

Tabela 2: Análises das médias dos dados observados e simulados, e de ajuste entre os dados do ciclo diurno: coeficiente de correlação (ρ), inclinação da reta de regressão (α), e a raiz do erro quadrado médio ($RMSE$), para as simulações com o conjunto de parâmetros após calibração, estação úmida, anos 2001 e 2002.

		Observado (%)	Simulado (%)	Estatística		
				ρ	α	$RMSE$
Calibrado	Rn ($W m^{-2}$)	142,95 (100)	124,45 (87,05)	0,999	1,129	1,280
	LE ($W m^{-2}$)	115,55 (100)	169,5 (146,69)	0,943	1,095	6,149
	H ($W m^{-2}$)	37,15 (100)	25,0 (67,29)	0,917	0,410	232,018

Tabela 3: Análises das médias dos dados observados e simulados, e de ajuste entre os dados do ciclo diurno observados e simulados: coeficiente de correlação (ρ), inclinação da reta de regressão (α), e a raiz do erro quadrado médio ($RMSE$), para as simulações com o conjunto inicial de parâmetros após calibração, estação seca, anos 2002, 2003 e 2007.

	Observado (%)	Simulado (%)	Estatística		
			ρ	α	$RMSE$

	Rn (W m⁻²)	124,3 (100)	122,5 (98,55)	0,999	0,981	0,570
Calibrado	LE (W m⁻²)	98,5 (100)	76,5 (77,66)	0,891	0,730	8,524
	H (W m⁻²)	33,8 (100)	26,5 (78,40)	0,909	0,715	15,892

CONCLUSÃO: O modelo SITE apresentou boa aplicabilidade para simular as variações do ciclo diário, com excelente simulação do saldo de radiação, com leve tendência a subestimativas. Os valores do fluxo de calor latente (LE) foram superestimados na estação úmida, no entanto apresentaram-se adequados no período seco, com leve tendência subestimativas. O fluxo de calor sensível (H) foi a variável de mais difícil ajuste, de modo que sua simulação, mesmo após a calibração do modelo, apresentou forte tendência a subestimativa desses fluxos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AGUIAR, R.G. **Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia.** Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 56 f, 2005.
- BALDOCHI, D. D.; VALENTINI, R.; RUNNING, S.; OECHELS, W.; DAHLMAN, R. Strategies for measuring and modeling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems. **Global Change Biology.** v. 2, p. 159-168, 1996.
- FALKOWSKI, P.; SCHOLLES, R. J.; BOYLE, E.; CANADELL, J.; CANFIELD, D.; MACKENZIE, F. T.; MOORE III, B.; PE\ERSEN, T.; ROSENTHAL, Y.; SEITZINGER, S.; SMETACEK, V.; STEFFEN, W. The global carbon cycle: a test of our knowledge of Earth as a system. **Science.** v. 290, p. 291-296, 2000.
- NUNES, E. L.; IMBUZEIRO, H. M. A.; COSTA, M. H. **Uso do modelo site para simular fluxos de calor sensível, calor latente e carbono em um sítio de mata atlântica.** Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE. 2007.
- ROCHA, H.R., SELLERS, P.J., COLLATZ, G.J., WRIGHT, I.R. & GRACE, J., Calibration and use of the SiB2 model to estimate water vapour and carbon exchange at the ABRACOS forest sites. 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. 459 - 473. 1996.
- SANTOS, S. N. M. **Modelo de fluxos de energia, água e CO2 aplicado em ecossistema de floresta tropical.** Viçosa, MG, 2001.80p. Dissertação (Mestrado).Universidade Federal de Viçosa. 2001.
- VILANI, M. T. **Estimativa da fapar utilizando três métodos para uma floresta de transição amazônia-cerrado.** 2004. 88f. Dissertação de mestrado (Física Ambiental) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá . 2007.
- VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. S.; NOGUEIRA, J. S.; RAITER, F.; HOEGEL, W.; CAMPELO JR, J. H. Effects of meteorological variations on the CO2 exchange of a brazilian transitional tropical forest. **Ecological Applications.** v. 14, n. 4, p. S89-S100, 2004.