

RAZÃO DE BOWEN PARA CONDIÇÃO DE ADVECÇÃO SOBRE FLORESTA TROPICAL

Ralf Gielow, Regina Célia dos Santos, Jesus Marden dos Santos e Yelisetty Viswanadham

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
C.P. 515, 12201 São José dos Campos - SP

RESUMO A razão de Bowen em floresta de terra firme na Amazônia, durante estação seca, varia entre -3,5 e 0,85 e apresenta (i) valores bem negativos antes do nascer e após o pôr do sol, (ii) valores erráticos no nascer do sol e crepúsculo e (iii) valores positivos relativamente constantes durante cada período diurno normal, com médias horárias diurnas variando de 0,05 a 0,85, um comportamento bem dentro da faixa encontrada para outros tipos de florestas.

1. INTRODUÇÃO

A floresta é uma região meteorológica ativa com processos de troca muitas vezes vigorosos, apesar de ventos fracos. O dossel dela não é uma barreira impenetrável para o transporte de calor e vapor d'água: a floresta contém fortes fontes e sumidouros de calor e umidade, os quais dependem muito de fatores fisiológicos. Por estes motivos, a Floresta Amazônica possui uma função importante para o clima mundial, sendo a principal razão para estudar escoamentos turbulentos, neste ambiente, o entendimento dos processos que governam a troca de momentum, calor e massa entre a atmosfera e a floresta biologicamente ativa, conhecimento este importante em modelagem de mesoescala e de circulação geral. Em particular, no que concerne à evapotranspiração, um parâmetro importante é a razão de Bowen, tendo Spittlehouse and Black (1980) concluído que ele pode ser utilizado confiavelmente para a medida contínua daquela. Neste trabalho, apresentam-se valores de B obtidos com a técnica das correlações turbulentas durante campanhas não-chuvosas do Experimento da Floresta Amazônica.

2. O MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN/BALANÇO DE ENERGIA

O balanço de energia da floresta, desprezando o armazenamento de energia fotossintética (menor que $0,03 Q^*$, conforme Jarvis et al. (1976)) é

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G + Q_C \quad (1)$$

onde Q^* , Q_H , Q_E , Q_G e Q_C , expressos em $W m^{-2}$, são os fluxos de radiação líquida, de calor sensível, de calor latente, de calor no solo e de calor armazenado no dossel, respectivamente. Q_E é igual a LxE , onde L é o calor latente de vaporização da água ($J kg^{-1}$) e E a taxa de evapotranspiração ($kg m^{-2} s^{-1}$). A razão de Bowen B , quociente entre os fluxos de calores sensível e latente (Bowen, 1926), é comumente utilizada para mostrar a partição entre estes fluxos. Assim, da Eq. (1) resulta

$$Q_E = (Q^* - Q_G - Q_C)/(1 + B) \quad (2) \quad \text{e} \quad Q_H = B Q_E \quad (3)$$

Deste modo, se B pode ser estimada com precisão, então Q_E e Q_H podem ser obtidos de medidas de Q^* , Q_G e Q_C . Entretanto, é difícil medir precisamente Q_G e Q_C para uma floresta; não obstante, exceto para curtos períodos em torno do nascer e do pôr do sol, $(Q_G + Q_C) < 0,05 Q^*$. Logo, mesmo um erro de 50% em $(Q_G + Q_C)$, resulta num erro mínimo na medida da energia disponível. Assim, o erro das medidas é menor que 10%. Note-se que se $B \ll 1$, o erro relativo numa estimativa de Q_E a partir da Eq.(2) é muito menor que o erro de B . Outrossim, se B for grande, a Eq.(3) provê uma boa estimativa de Q_H .

Neste trabalho calculam-se os valores de B para duas campanhas de estação não-chuvosa do Experimento da Amazônia, usando medidas diretas de Q_H e de Q_E obtidas pelo sistema "Hydra".

3. SÍTIO EXPERIMENTAL E MEDIDAS

O experimento foi realizado em floresta de terra firme na Amazônia, utilizando uma torre de 45 m instalada na Reserva Ducke, no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia ($2^{\circ}57'S$; $59^{\circ}57'W$, 84 m acima do nível do mar, a 26 km de Manaus).

O sítio é levemente ondulado, com vales de algumas dezenas de metros de profundidade ocorrendo em intervalos de 300 m. Cerca de três quartos da bacia são cobertos de floresta natural, com a topografia das copas modulada pelo seu crescimento diferenciado; sua altura varia de 20 a 42 m, com média de 30 m e desvio-padrão de 4 m (Sá et al., 1988). A torre situa-se próximo ao topo de uma elevação maior que a média, cercada por floresta

natural num raio de 3 km, na maioria das direções, o que garante fluxos unidimensionais, pressupostos no modelo adotado. Tem-se assim a faixa de 1/100 a 1/500 para a razão entre a altura e a pista ("fetch") de vegetação (Bradley, 1968), necessária para um nível de 90% aceitável no ajustamento da tensão de cisalhamento.

Os fluxos de momentum, de calor sensível e de calor latente (evaporação) foram medidos com o sistema "Hydra", um equipamento a baterias para obter correlações turbulentas, desenvolvido pelo Instituto de Hidrologia, de Wallingford, RU, montado num mastro acima da torre, até a altura de 48,5 m, conforme mostram Shuttleworth et al. (1982) e Sá et al. (1988). Como este sistema não permite medidas confiáveis durante chuvas, na presente análise utilizam-se tão somente dados horários nele obtidos em dias não-chuvosos, durante a 3a. (07-08/1984) e a 5a. (07-08/1985) campanhas do Experimento na Floresta Amazônica.

4. RESULTADOS

A convecção é o principal meio de transporte do excesso de energia diurna para longe da interface atmosfera-dossel da Floresta Amazônica. A importância relativa do calor sensível frente ao latente é governada, principalmente, pela disponibilidade de água para evaporação, apesar da importância dos sumidouros de água e calor atmosféricos. Os valores de B , sempre menores que 1 na floresta estudada, são relevantes para o entendimento do clima na camada limite dela. A situação $B < 1$ (Figs. 1 e 2), que não contribui diretamente para o aquecimento da baixa atmosfera sobre esta floresta, pode aumentar sua umidade; assim, o clima é provavelmente levemente morno e muito úmido. Valores negativos de B ocorrem comumente de manhã (antes das 8:00 h), à tarde (após as 16:00 h) e à noite, quando $Q_H < 0$ (para baixo), mas a evaporação continua ($Q_E < 0$, para cima). O modo de variação de B é sistemático de dia a dia, com valores entre -3,50 e 0,85 (Figs. 1 e 2). Em 20.08.84 (Fig. 1b) e em 05.08.85 (Fig. 2a), B varia diurnamente mais que em outros dias, devido a rápidas mudanças da quantidade de nuvens convectivas, além de pequenos Q_H associados com grandes Q_E , destacando-se mais o segundo dia, com valores erráticos de B , em especial os negativos (de 0:00 a 8:00 h e das 17:00 às 24:00 h), devido

tanto à relativa constância dos fluxos turbulentos, quanto à baixa evapotranspiração do dossel. Já $B < 0$ durante o dia (Fig. 2) ocorre, em geral, quando Q_E , com o avanço da tarde, consome proporções crescentes de Q^* (Viswanadham and André, 1983); a energia consumida em Q_E numa floresta também é provida, em certas áreas, pela advecção de Q_H . As Figs. 2a,b,c mostram, entretanto, que sob condições advectivas, calor e vapor d'água são transportados em sentidos opostos.

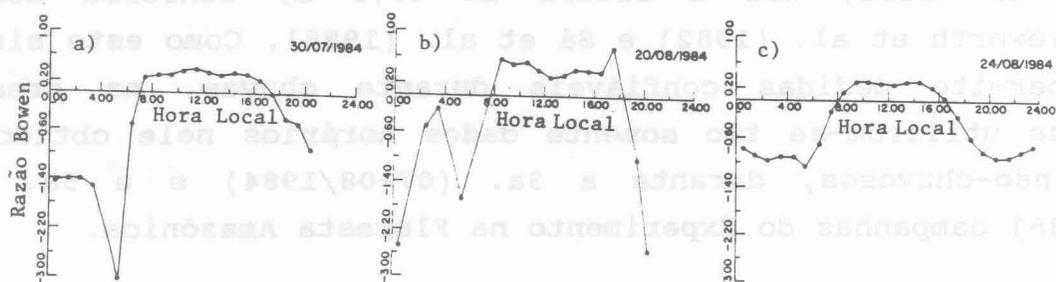


Fig. 1 - Variação diária da Razão de Bowen para a 3a. campanha.

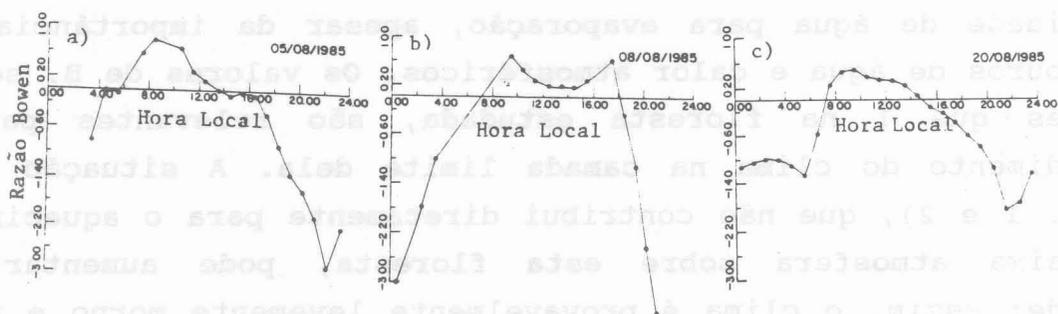


Fig. 2 - Variação diária da Razão de Bowen para a 5a. campanha.

Os valores médios horários de B , para o período de 7:00 às 16:00 h, variam de 0,05 a 0,85 nesta época e parte da Floresta Amazônica, sendo semelhantes às médias de 0,1 a 0,5 encontradas por Jarvis et al. (1976) para dosséis secos de diversas florestas de coníferas de espécies diferentes, mostrando serem estas faixas de valores independentes do tipo de floresta. Finalmente,

os valores de B não parecem relacionar-se com a direção do vento, indicando independência das condições de pista ("fetch").

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na época e parte da Floresta Amazônica estudada, a razão de Bowen B varia pouco no período diurno, em especial das 8:00 às 16:00 h, apresentando em geral um declínio gradual no fim da tarde; entretanto, em torno do crepúsculo e, mais ainda, do nascer do sol, os valores de B são erráticos. Os valores de B variam de -3,50 a 0,85 e sua média horária, calculada das 7:00 às 16:00 h, varia de 0,05 a 0,85, bem dentro da faixa encontrada para outros tipos de florestas. Não obstante, para melhorar o conhecimento dos mecanismos envolvidos, é importante que se façam observações dos fluxos de energia, simultaneamente, em três localizações próximas entre si.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. Phys. Rev., 27:779-787, 1926.
- BRADLEY, E.F. A micrometeorological study of velocity profiles and surface drag in the region modified by a change in surface roughness. Quart. J. R. Meteor. Soc., 94:361-379, 1968.
- JARVIS, P.G.; JAMES, J.B.; LANDSBERG, J.J. Coniferous forests. In: Monteith, J.L., ed. Vegetation and the Atmosphere. London, Academic Press, 1976. v. 2, p. 171-240.
- SÁ, L.D.A.; VISWANADHAM, Y.; MANZI, A.O. Energy flux partitioning over the Amazon Forest. Theor. Appl. Climatol., 39:1-16, 1988.
- SHUTTLEWORTH, W.J.; McNEIL, D.D.; MOORE, C.J. A switched continuous-wave sonic anemometer for measuring surface heat fluxes. Bound.-Layer Meteor., 23:425-448, 1982.
- SPITTLEHOUSE, D.L.; BLACK, T.A. Evaluation of the Bowen Ratio/Energy Balance method for determining forest evapotranspiration. Atmosphere-Ocean, 18:98-116, 1980.
- VISWANADHAM, Y.; ANDRÉ, R.G.B. Energy balance of soybeans grown in Brazil. Arch. Meteor. Geophys. Bioclimatol., B33:141-157, 1983.