

ISSN 0104-1347

Caracterização da radiação solar em fragmento da Mata Atlântica

Solar radiation characterization of a Mata Atlântica fragment, Brazil

José Eduardo Macedo Pezzopane¹, Geraldo Gonçalves dos Reis², Maria das Graças Ferreira Reis² e José Maria Nogueira da Costa³

Resumo - No presente trabalho teve-se como objetivo caracterizar a radiação solar no interior de um fragmento de floresta estacional, semidecidual secundária, sob o domínio da Mata Atlântica, na região sudeste do Brasil. O estudo da disponibilidade energética foi realizado em três locais no interior da mata, além de área aberta adjacente à floresta, abrangendo diferentes exposições, estádios serais de sucessão ecológica e índices de área foliar. Avaliou-se o saldo de radiação e a radiação solar fotossinteticamente ativa em setembro (época 1) e janeiro/fevereiro (época 2). Os resultados mostraram que o dossel da floresta promoveu forte redução no saldo de radiação (87,2%, em média), sendo, no entanto, possível observar variações espaciais e temporais devido a influência da exposição da encosta e do índice de área foliar (IAF). Apesar da maior disponibilidade energética no exterior da floresta na época 2 (verão), a transmissividade da radiação solar foi maior na época 1 (início da primavera) devido ao menor IAF, principalmente em encostas voltadas para nordeste, evidenciando à influência da trajetória aparente do sol.

Palavras-chave: microclima, saldo de radiação, fragmento florestal

Abstract - The objective of this work was to make a characterization of solar radiation within a fragment of a secondary semideciduous seasonal forest of the Mata Atlântica in the southeast region of Brazil. The study on the availability of energy was conducted in three sites within the Mata Atlântica, besides an open area nearby the forest, including different expositions, seral stages of ecological succession and leaf area index. Net radiation and photosynthetically active radiation were measured in September (first period) and January/February (second period). The results showed that the forest canopy caused strong reduction in net radiation (86,5 %, in average), however, space and temporal variation could also be observed due to the influence of the aspect exposition and the leaf area index (LAI). Despite of the greater availability of energy above the forest in the second period (summer), the solar radiation transmissivity was greater in the first period (beginning of spring) due to the lower LAI, especially for slopes facing northeast, indicating the influence of the sun path movement.

Key words: microclimate, net radiation, forest fragment

Introdução

Os estudos microclimáticos em comunidades vegetais têm enfatizado medidas de radiação solar, uma vez que o balanço de radiação determina a disponibilidade energética para processos como evapotranspiração, aquecimento e resfriamento do ar

e solo e a fotossíntese. No caso de uma floresta, os estudos microclimáticos envolvem a caracterização do ambiente que se estende desde alguns metros acima das copas das árvores, até o interior destas, no sub-bosque ou nas primeiras camadas do solo (CABRAL et al., 1996).

¹Engenheiro Florestal, Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, UFES, Alegre, ES, e-mail: jemp@npd.ufes.br.

²Professor Titular, Departamento de Engenharia Florestal, UFV, Viçosa, MG.

³Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, MG.

Avaliações microclimáticas comparando o interior da floresta com áreas abertas, geralmente pastagem, são interessantes para dar uma idéia das modificações ambientais provocadas pela retirada da floresta. Essa informação é importante para o entendimento do manejo da regeneração natural em áreas degradadas ou até em estudos sobre mudanças climáticas em função do desmatamento (GIAMBELLUCA *et al.*, 1997; HOLL, 1999).

É importante destacar que o estágio sucessional e a exposição da encosta influenciam as condições microclimáticas no interior de florestas, havendo poucos trabalhos publicados sobre o assunto, principalmente na região de domínio da Mata Atlântica, mesmo para cultivos agrícolas ou pastagem. Assim, neste trabalho teve-se como objetivo caracterizar a radiação solar no sub-bosque de uma floresta estacional semidecidual secundária, comparando com área aberta (pastagem).

Material e métodos

O trabalho de pesquisa foi realizado em fragmento da Mata Atlântica, em Viçosa, MG (latitude: 20°45' Sul, longitude: 42°55' Oeste e altitude média de 690 m), com área de 196 ha, sob diferentes intensidades de intervenção antrópica. A vegetação natural é classificada como floresta estacional semidecidual, com parte das espécies perdendo folhas no inverno.

A caracterização da disponibilidade energética foi realizada em três locais no interior do fragmento florestal, apresentando declividade semelhantes. O primeiro local escolhido apresentava encosta sudoeste (local A), com vegetação em estágio seral de sucessão pouco avançado, evidenciado pelo menor índice de área foliar (IAF). Os outros dois locais escolhidos apresentavam estágio seral avançado, evidenciado pelo alto valor de IAF, sendo um a nordeste (local B) e outro a sudoeste (local C), como mostra a Tabela 1. As medidas foram realizadas em duas épocas, nos períodos de 02 a 26 de setembro de 1999 e 08 de janeiro a 14 de fevereiro de 2000. A escolha dessas épocas para a realização das avaliações visou caracterizar o ambiente em condições distintas de densidade de fluxo energético, declinação do sol e estágio fenológico da floresta, ou seja, plantas com baixa área foliar no final do inverno e início da primavera, e elevada área foliar no verão, correspondendo, respectivamente, ao final da estação

seca e à estação chuvosa na região. As avaliações micrometeorológicas também foram realizadas em área aberta, plana e coberta por capim de baixo porte, adjacente à floresta, visando possibilitar comparações.

Os sensores de saldo de radiação e da radiação solar foram instalados a um metro de altura do solo, com o objetivo de caracterizar as condições ambientais em que se encontrava a maioria das plantas em regeneração natural na floresta estudada. O saldo de radiação foi determinado com radiômetro modelo Q-7, marca REBS e a radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) com sensor pontual, modelo LI-190, marca LI-COR. Todos os radiômetros foram previamente calibrados sempre contra aquele mais novo, com o objetivo de corrigir possíveis alterações no fator de calibração em função do tempo de construção. Na aquisição de dados, foram utilizados "dataloggers", modelo CR10, marca Campbell, e modelos LI-1000 e LI-1400, marca LI-COR.

Foram ajustados modelos de regressão para explicar o comportamento da PAR nos locais no interior da floresta em função dos valores observados na área aberta. Os modelos apresentados foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste "t", adotando-se o nível de 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação. Após os ajustes dos modelos, foi aplicado o teste de identidade de modelo, segundo FREESE (1964), com o objetivo de avaliar a igualdade de equações dentro de uma mesma época de estudo.

Resultados e discussão

Saldo de radiação (Rn)

O dossel da floresta promoveu forte redução no saldo de radiação (Rn), comparado com valores observados em área aberta, nas duas épocas de estudo (Tabela 2). O saldo médio de radiação, durante o período estudado, foi 1,25 MJ.m².dia⁻¹ no interior da floresta, contra 9,8 MJ.m².dia⁻¹ na área aberta, resultando numa redução média de 87,5% da energia disponível no interior da floresta que, certamente irá refletir em mudanças nos fluxos de calor sensível, latente e de calor para o solo.

A radiação solar que passa através do dossel da floresta é reduzida, à medida que aumenta a densidade desse dossel. Essa densidade do dossel pode ser expressa pelo índice de área foliar (IAF) que, no presente estudo, variou entre os três locais (Tabela 1). O

Tabela 1. Caracterização da declividade, exposição, posição topográfica e índice de área foliar (IAF) nos três locais estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG.

| | Local | | |
|--|----------------|----------------|--------------|
| | A | B | C |
| Declividade (%) | 40 | 43 | 45 |
| Exposição | nordeste | nordeste | sudoeste |
| Posição topográfica | terço superior | terço inferior | meia encosta |
| IAF (setembro* -1999) ¹ | 3,6 | 4,1 | 4,1 |
| IAF (janeiro e fevereiro** -2000) ¹ | 4,4 | 5,4 | 5,1 |

* - final da estação seca na região ** - meio da estação chuvosa na região

¹ FONTE: PEZZOPANE (2001)

local A apresentou menor valor de IAF por tratar-se de área que fora, no passado, bastante explorada, encontrando-se assim em estágio sucessional inicial, com predomínio de espécies pioneiras e secundárias iniciais, de acordo com trabalho de FERNANDES (1998). Houve também aumento do IAF nos três locais estudados, em janeiro/fevereiro de 2000, em relação a setembro de 1999, uma vez que há um número substancial de espécies que perdem as folhas no período seco e frio do ano.

A mudança dos valores de IAF entre as duas épocas determinou uma variação temporal na atenuação do saldo de radiação no interior da floresta. Apesar de se observar praticamente o mesmo valor médio no sub-bosque, nas duas épocas, o saldo de radiação, em setembro de 1999 foi atenuado em 83,1% e, em janeiro/fevereiro de 2000, a atenuação média foi de 90,0%, apesar do aumento do saldo de radiação na área aberta, no período de verão. Essa diferença percentual da atenuação é explicada principalmente pelo aumento do IAF médio, que passou de 3,9, em setembro de 1999, para 5,5, em janeiro/fevereiro de 2000.

No caso de floresta temperada, a sazonalidade do IAF ao longo do ano é bastante pronunciada, fazendo com que a disponibilidade da radiação solar no sub-bosque varie bruscamente. Entretanto, na época em que o IAF apresenta valores

mais elevados, a atenuação da radiação solar pelo dossel é semelhante ao observado no presente trabalho. BALDOCHI et al. (1984), estudando floresta temperada, verificaram que, com IAF de 4,9, a atenuação do saldo de radiação (Rn), a um metro de altura do solo, foi de 90%, diminuindo para 30% durante o inverno devido a completa ausência de folhas nas plantas.

O saldo de radiação no interior da floresta e na área aberta, ao longo de um dia, com céu limpo (Figuras 1a e 1b) e de um outro dia completamente nublado (Figura 1c e 1d), variou substancialmente. A curva do saldo de radiação na área aberta exibiu um padrão típico daquele observado em superfícies que se encontram a céu aberto em dias claros. Nas figuras 1a e 1b, os valores máximos do saldo de radiação, ao meio dia, foram de 490 e 690 W.m², respectivamente, em setembro de 1999 e janeiro de 2000, mostrando, como esperado, uma maior disponibilidade energética no verão. À noite, como era de se esperar, o saldo foi negativo, resultado do balanço negativo entre a radiação emitida pela superfície (radiação terrestre) e a contra-radiação (radiação atmosférica). No interior da floresta, o total de energia acumulada é reduzido durante o dia, em resposta ao efeito de proteção auferido pelo seu dossel, mas, em compensação, no período noturno, a perda é menor devido às trocas radiativas, atingindo valores quase nulos. O ambiente criado nestas condições é importante para a

Tabela 2. Valores médios de saldo de radiação (MJ.m⁻².dia⁻¹) em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG.

| Época do ano | Área aberta | Interior da floresta | | | |
|--------------------------------------|-------------|----------------------|---------|---------|-------|
| | | Local A | Local B | Local C | Média |
| 02 a 26 de setembro 1999 | 7,7 | 2,3 | 1,0 | 0,7 | 1,3 |
| 08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000 | 12,0 | 2,6 | 0,5 | 0,6 | 1,2 |

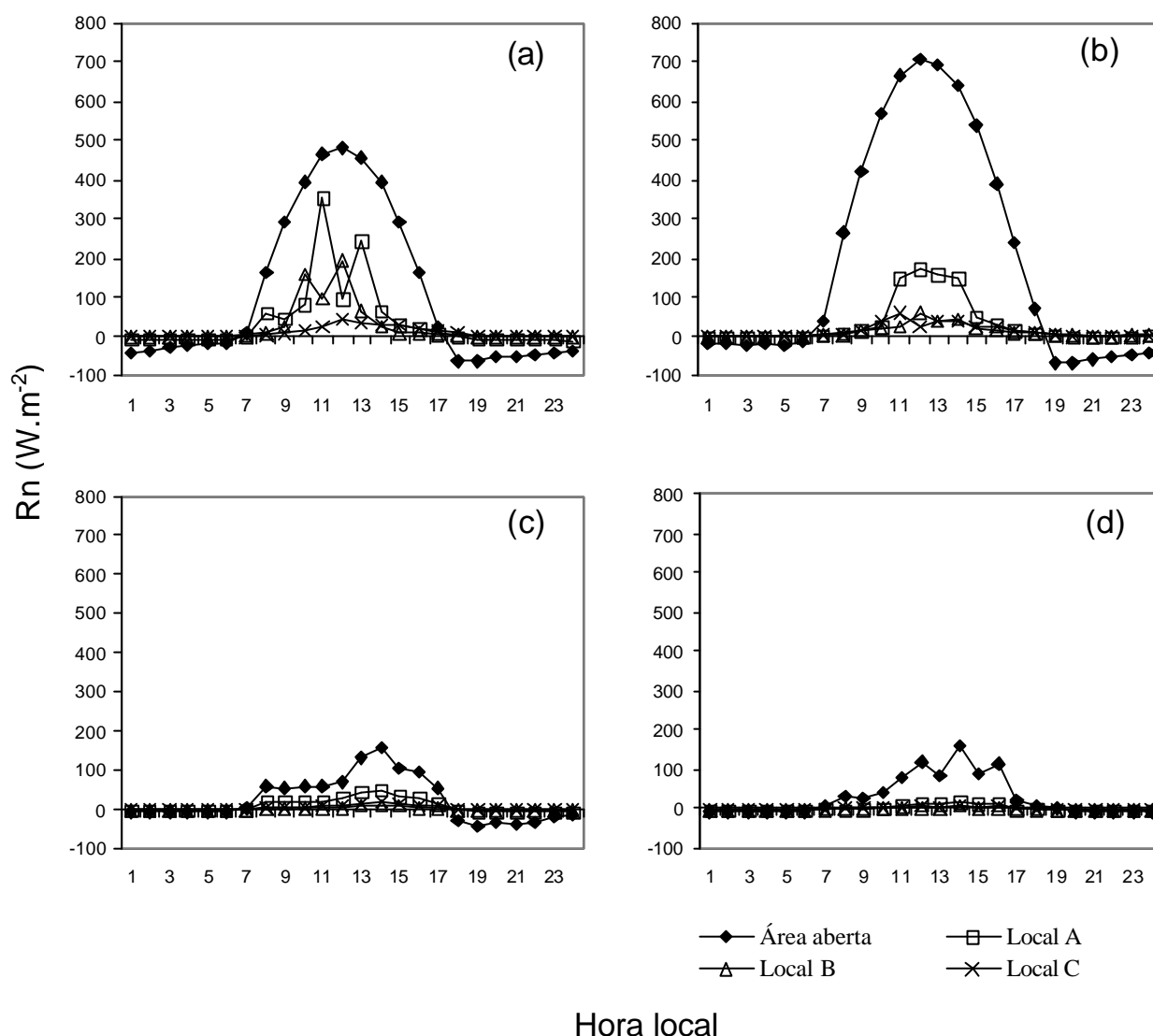


Figura 1. Valores médios horários de saldo de radiação (Rn) em dia com céu limpo (a e b) e em dia nublado (c e d), em setembro de 1999 (a e c) e em janeiro/fevereiro de 2000 (b e d), em área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em Viçosa, MG.

obtenção de um microclima ideal para o estabelecimento inicial das plantas em regeneração natural na floresta. Fica evidente que, com drástica redução de Rn no período diurno no interior da floresta, serão observados baixos fluxos de calor sensível, latente e calor para o solo, que, por sua vez, deverão promover uma menor elevação da temperatura do ar, reduzido consumo de água (evapotranspiração) e menor aquecimento do solo.

Em dia nublado, nas duas épocas estudadas (Figuras 1c e 1d), Rn diminuiu bruscamente na área aberta e os três locais no interior da floresta apresen-

taram respostas semelhantes, uma vez que só ocorre a incidência de radiação difusa, que tem característica multidirecional e de baixa energia, impossibilitando a ocorrência de picos acentuados, como os observados nos dias com céu limpo.

É interessante observar que em dia de céu limpo em setembro de 1999 (Figura 1a), ocorreram picos de radiação nos locais A e B em alguns horários do dia, o mesmo não ocorrendo no local C, que apresentou baixos valores de Rn ao longo de todo o dia. O maior saldo de radiação no local A é explicado pelo menor valor de IAF que possibilitou maior pe-

netração dos raios solares ao longo do dossel. A diferença entre os locais B e C que apresentaram valores de IAF similares, é devido à exposição das encostas nesses dois locais, pois, nesta época do ano, a disponibilidade energética é maior nas encostas voltadas para o norte, em razão do movimento aparente do sol. No dia mostrado na Figura 1a, o ângulo zenital do sol, ao meio dia solar, é de 30°, voltado para o norte, facilitando, assim, a penetração dos raios solares em encosta norte.

No verão, apesar da elevada disponibilidade energética na área aberta e do movimento do sol mais vertical, que favoreceria a penetração dos raios solares, não ocorreram picos de Rn nos locais B e C, o mesmo acontecendo com o local A, apesar dos maiores valores observados neste local entre 11 e 15 horas (Figura 1b), em função dos elevados valores de área foliar. O local A foi o único que apresentou maior Rn, apesar do aumento de IAF, possivelmente pelo fato do sensor ter sido instalado em local com presença de clareira. Devido à heterogeneidade do dossel da floresta, este é um tipo de problema que pode surgir quando se usam sensores pontuais.

PEZZOPANE et al. (2000) verificaram variação espacial marcante da disponibilidade energética sobre a floresta na área do presente estudo, em função da inclinação e orientação das encostas. Entretanto, a presença de densa cobertura sobre o solo, como acontece numa área florestada, parece diminuir o efeito da orientação da encosta no total de radiação incidente na superfície, devido à forte atenuação dos raios solares pelo dossel. Assim, as modificações microclimáticas observadas no presente estudo não foram tão perceptíveis como as relatadas por GEIGER (1960), ROSENBERG et al. (1983) e HOLL (1999), cujos estudos foram realizados em solo descoberto ou em vegetação menos densa.

Radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR)

A transmissividade média da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) foi de 8,0%, denotando a influência dos estratos superiores na disponibilidade energética no sub-bosque da floresta (Tabela 3). Elevados valores de atenuação da radiação solar pelo dossel de florestas nativas em regiões tropicais também foram observados por AYLETT (1985), LEE (1987), JANUÁRIO et al. (1992), RICH et al. (1993), LEITÃO (1994) e BELLINGHAM et al. (1996), porém, os valores são diferentes devido à formação de clareiras, estrutura do dossel, entre ou-

tros fatores que afetam a transmissividade da radiação solar.

Semelhante ao ocorrido com Rn, a mudança dos valores de IAF também provocou uma variação sazonal da radiação solar fotossinteticamente ativa incidente no sub-bosque da floresta. Em setembro de 1999, a transmissividade da PAR foi 13,4%, contra 2,7% em janeiro/fevereiro de 2000.

FERNANDEZ & FETCHER (1991), TURTON (1992) e BELLINGHAM et al. (1996) também observaram variação temporal da transmissividade em floresta tropical, não devido à queda de folhas das plantas, mas em decorrência da regeneração natural ocorrida após distúrbio. Já em floresta temperada, as mudanças de IAF são bruscas e provocam sazonalidade marcante da transmissividade da radiação solar, mas, no período de maior IAF, os valores de transmissividade tornam-se baixos. ECK & DEERING (1992), por exemplo, relatam que a transmissividade da radiação solar variou entre 2,9 a 4,2%, em uma floresta temperada, para um IAF de 3,9.

Os valores médios de PAR foram diferentes entre os locais estudados no interior da floresta, evidenciando uma variação espacial (Tabela 3). Essa diferença pode ser notada mais nitidamente em setembro de 1999 quando se compara o local A, dossel mais aberto, com os locais B e C, dossel mais fechado, que apresentaram menor transmissividade (Figura 2). Esta resposta pode ser explicada pela ocorrência de um menor índice de área foliar, permitindo maior penetração da radiação solar ao longo do dossel da floresta. Na segunda época de medição (janeiro/fevereiro de 2000), a transmissividade da PAR foi uniforme nos três locais com valores abaixo de 5%.

No estudo envolvendo a interação entre radiação solar e a planta, é interessante analisar detalhadamente alguns componentes do balanço de radiação devido a sua influência sobre o processo de fixação de carbono pelas plantas. A Figura 3 ilustra o comportamento da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em dia de céu limpo (os mesmos dias representados na Figura 1). Em um dia no mês de setembro de 1999 (Figura 3a), os locais A e B apresentaram picos de radiação incidente em alguns horários do dia. É interessante notar que os picos ocorrem em horários diferentes, nos dois locais, justamente devido a diferenças de estrutura de dossel que possibilitam a maior ou menor penetração da radiação solar, resultando, nesse dia, em PAR total igual a 10,7; 3,5

Tabela 3. Valores médios de radiação solar fotossinteticamente ativa ($\text{mol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG.

| Época do ano | Área aberta | Interior | | | |
|--------------------------------------|-------------|----------|---------|---------|-------|
| | | Local A | Local B | Local C | Média |
| 02 a 26 de setembro 1999 | 31,4 | 8,8 | 2,1 | 1,8 | 4,2 |
| 08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000 | 33,2 | 0,9 | 0,5 | 1,3 | 0,9 |

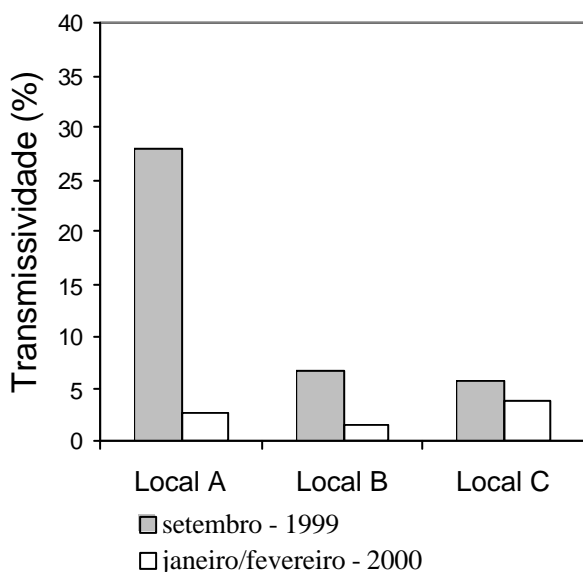
e $1,3 \text{ mol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, nos locais A, B e C, respectivamente. Semelhante ao observado no caso de R_n , a diferença entre os locais B e C, apesar de mesmo IAF, é justamente causada pelo movimento aparente do sol, pois o local B situa-se em encosta voltada para a direção norte. Apesar de não ser suficiente para provocar alterações microclimáticas marcantes, esta diferença entre os locais B e C pode ser muito importante para as plantas, do ponto de vista fisiológico, uma vez que diversos estudos mostram que um pequeno acréscimo na PAR resulta em aumento significativo da fotossíntese líquida de espécies de sub-bosque de floresta tropical, como mostram PEARCY *et al.* (1985) e CHADZON *et al.* (1996).

Por outro lado, no dia com céu limpo que representou o verão (Figura 3b), ocorreu apenas um pico de radiação nos locais B e C, mas os totais diários no interior da floresta foram bem menores, ape-

sar da maior disponibilidade energética na área aberta. Nesse dia, a PAR total foi igual a 0,8; 1,0 e $1,5 \text{ mol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, nos locais A, B e C, respectivamente. A diferença entre o local C (encosta sudoeste) e os locais A e B (encostas nordeste) pode ser explicada pelo fato de a trajetória aparente do sol ser levemente voltada para o sul, nesta época do ano, o que facilitaria a penetração dos raios solares no local C. Entretanto, esse efeito foi bem menor nessa época comparado com setembro de 1999, quando o ângulo zenital do sol é bem maior.

Semelhante ao ocorrido com R_n , em dias nublados, devido à ocorrência de radiação difusa, o comportamento da PAR foi semelhante nos três locais, ou seja, sem a ocorrência de picos. A diferença entre valores de PAR é de extrema importância no estabelecimento e adaptação das plantas, uma vez que esta pode condicionar um ganho maior ou menor de carbono pelas plantas em processo de regeneração. Por se tratar de ambiente com reduzida disponibilidade de luz, aquelas plantas mais eficientes na interceptação da radiação solar deverão apresentar sucesso no estabelecimento nesse sítio.

Como os resultados mostraram comportamento diferente da radiação solar no interior da floresta em função da nebulosidade, foi estabelecida uma relação linear correlacionando a radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) fora e dentro de cada um dos locais estudados (Figura 4). Em setembro de 1999 (Figura 4a), no caso do local A (encosta com orientação nordeste e menor IAF), a reta apresenta maior coeficiente angular, ou seja, a disponibilidade energética será mais elevada em dias com céu limpo. A mesma tendência é percebida no local B (encosta com orientação nordeste e maior IAF), entretanto, com coeficiente angular menor, devido ao alto IAF. Para o local C (encosta com orientação sudoeste e menor IAF), como o coeficiente angular não foi significativo, conclui-se que a ocorrência de dias com céu limpo não contribuem para um aumento da PAR no interior da floresta. No período de janeiro/fevereiro de 2000 (Fi-

**Figura 2.** Transmissividade da radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG.

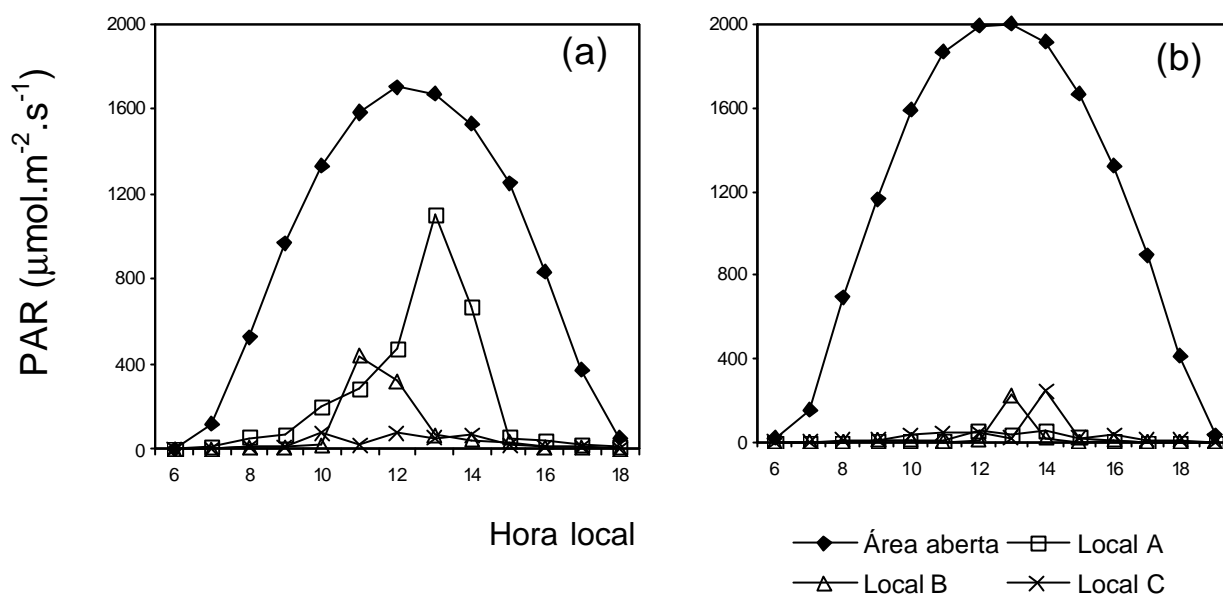


Figura 3. Valores médios horários de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em dia com céu limpo, em setembro de 1999 (a) e janeiro/fevereiro de 2000 (b), em área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em Viçosa, MG.

gura 4b) praticamente não houve resposta da PAR no interior da floresta, nos três locais, em decorrência de um aumento da PAR no exterior, mostrando que, nesse período do ano, a disponibilidade da radiação solar na faixa visível do espectro eletromagnético é muito baixa no interior da floresta, o que deve refletir em baixo crescimento de plantas no sub-bosque apesar de ser uma época com alta disponibilidade hídrica e condições térmicas apropriadas para as espécies.

Em cada uma das épocas estudadas, os modelos mostrados na Figura 4 foram comparados por meio de teste de identidade. Na época representada por setembro de 1999, houve diferença significativa entre os modelos estudados. Em janeiro/fevereiro de 2000 não houve diferença significativa entre os modelos que estimam o total de PAR no interior da floresta em função do valor observado na área aberta, ou seja, um único modelo poderia ser utilizado para explicar a relação.

Informações sobre a radiação solar no interior de uma floresta secundária possibilitam compreender sua influência na dinâmica de sucessão, mostrando que deve ser considerada uma flutuação espacial e temporal da disponibilidade energética em função de variações do estágio de sucessão e exposição do terreno, uma vez que apresentam, inclusive, comportamento diferenciado em função da condição atmosférica.

Conclusões

- O dossel da floresta promoveu elevada redução do saldo de radiação (R_n) em relação à área aberta. O aumento da disponibilidade energética na área aberta, no período de verão, não resultou em maior R_n no interior da floresta, em relação ao início da primavera, devido ao aumento do IAF.
- As diferenças de disponibilidade energética entre os três locais estudados no interior da floresta foram mais evidentes em dias com céu limpo, sendo possível, inclusive, estabelecer uma relação matemática entre a radiação solar fotossinteticamente ativa em área aberta e a radiação no interior da floresta.
- A variabilidade espacial e temporal da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) observada na área de estudo foi influenciada de maneira marcante pelo índice de área foliar, sendo, no entanto, possível observar influência da orientação das encostas, em especial no período correspondente ao início da primavera.

Referências bibliográficas

AYLETT, G.P. Irradiance interception, leaf conductance and photosynthesis in Jamaica upper montane rain

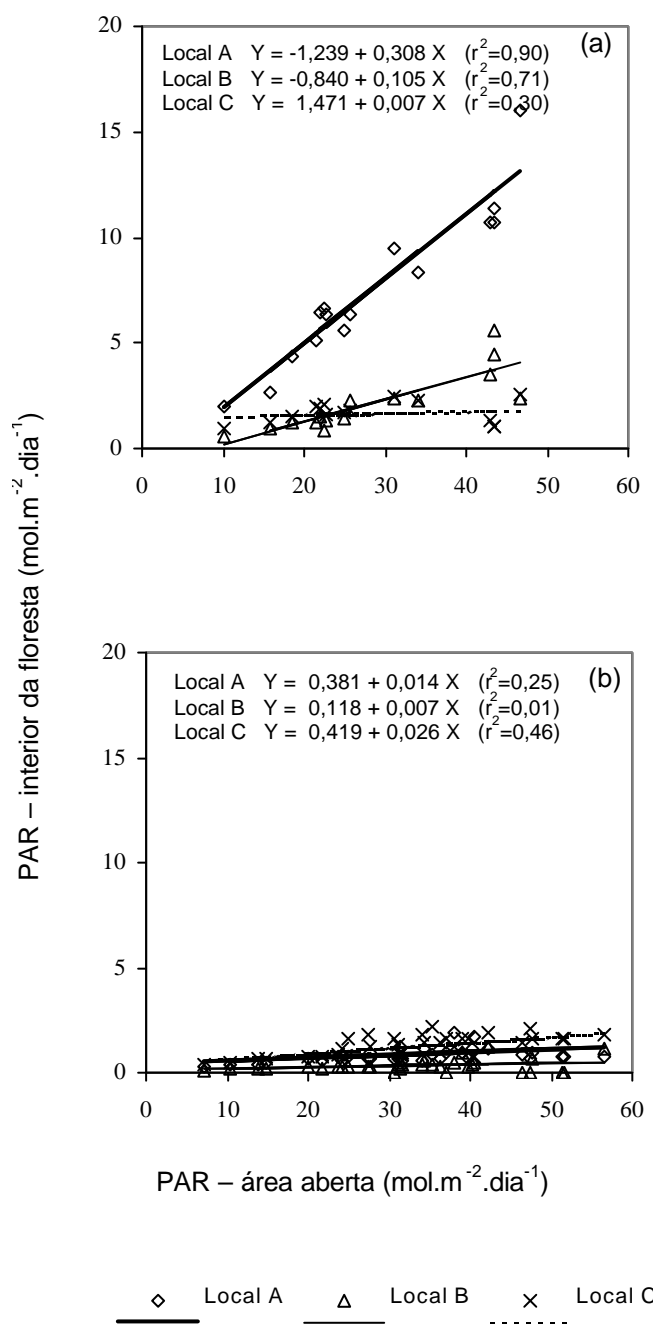


Figura 4. Radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, em função dos valores observados em área aberta, no período de 2 a 26 de setembro de 1999 (a) e 08 de janeiro a 14 de fevereiro de 2000 (b), em Viçosa, MG.

forest trees. *Photosynthetica*, Praquel, v. 19, n. 3, p. 323-337, 1985.

BALDOCCHI, D. *et al.* Seasonal variations in the radiation regime within an oak-hickory forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 33, n. 2-3, p. 177-191, 1984.

BELLINGHAM, P.J. *et al.* Changes in light below the canopy of a Jamaica montane rainforest after a hurricane. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v. 12, n. 5, p. 699-722, 1996.

CABRAL, O.M.R.; McWILLIAN, A.L.C.; ROBERTS, J.M. In-canopy microclimate of Amazonian forest and estimates of transpiration. *In: Gash, J.H.C. et al. Amazonian deforestation and climate*. New York: John Wiley & Sons, 1996. p. 207-220.

CHAZDON, R. *et al.* Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. *In: Mulkey, S.S. Chazdon, R.L., Smith, A.P. Tropical forest plant ecophysiology*. New York: Chapman & Hall, 1996. p. 5-55.

ECK, T.F.; DEERING, D.W. Canopy albedo and transmittance in a spruce-hemlock forest in mid-September. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 59, n. 3-4, p. 237-248, 1992.

FERNANDES, H.A.C. *Dinâmica e distribuição de espécies arbóreas em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica* Viçosa, MG: UFV, 1998. 145 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

FERNANDEZ, D.S.; FETCHER, N. Changes in light availability following Hurricane Hugo in Subtropical Montane Forest in Puerto Rico. *Biotropica*, St. Louis, v. 23, n. 4, p. 393-399, 1991.

FREESE, F. *Linear regression methods for forest research*. Madison: USDA, 1964. 136 p.

GEIGER, R. *Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo*. Lisboa: Fund. Calouste Gulbenkian, 1960. 556 p.

GIAMBELLUCA, T.W. *et al.* Observations of albedo and radiation balance over postforest surfaces in the Eastern Amazon basin. *Journal of Climate*, Boston, v. 10, p. 919-928, 1997.

HOLL, K.D. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. *Biotropica*, St. Louis, v. 31, n. 2, p. 229-242, 1999.

JANUÁRIO, M.; VISWANADHAM, Y.; SENNA, R.C. Radiação solar total dentro e fora de floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí, Pará). *Acta Amazonica*, Manaus, v. 22, n. 3, p. 335-340, 1992.

LEE, D.W. The spectral distribution of radiation in two neotropical rainforests. *Biotropica*, St. Louis, v. 19, n. 2, p. 161-166, 1987.

LEITÃO, M.M.V.B.R. **Balço de radiação em três ecossistemas da floresta amazônica: campina, campinarana e mata densa.** São José dos Campos, SP: INPE, 1994. 135 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, 1994.

PEARCY, R.W.; OSTERYOUNG, K.; CALKIN, H.W. Photosynthetic responses to dynamic light environments by Hawaiian trees. **Plant Physiology**, ?local?, v. 79, n. ??, p. 896-902, 1985.

PEZZOPANE, JEM . et al. **Balço de radiação em uma floresta em função da declividade e orientação das encostas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, Rio de Janeiro Anais..., Rio de

Janeiro: SBMET, 2000. 1CD-ROM.

RICH, P.M. et al. Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 65, p. 107-127, 1993.

ROSENBERG, N.; BLAD, B.L.; VERNA, S.B. **Microclimate: the biological environment.** New York: Wiley-Interscience Publication, 1983. 495 p.

TURTON, S.M. Understorey light environments in a north-east Australian rain forest before and after a tropical cyclone. **Journal of Tropical Ecology**, ?local?, v. 8, n. ??, p. 241-252, 1992.