

A função da sazonalidade no levantamento estrutural de uma floresta montana tropical no Rio de Janeiro, Brasil

The role of seasonality in structural assessments of a tropical montane forest in Rio de Janeiro, Brazil

Dietmar Sattler¹; André Lindner¹; Winfried Morawetz¹

Resumo

Este estudo realizou uma análise do impacto da sazonalidade climática sobre o índice da área foliar (IAF) e a abertura de dossel (AD) em uma floresta madura e em um remanescente florestal na Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro. Foi identificada uma variação significativa nos valores de IAF e de AD entre as áreas centrais e a borda do fragmento. Não se detectou uma variabilidade comparável na floresta madura. Para o fragmento florestal registrou-se um aumento do IAF altamente significativo no fim da estação chuvosa. O IAF aumentou, em média, 0,45, o que equivale a 12%. A maior influência da sazonalidade climática sobre o IAF e também sobre a AD deve-se a uma reação estrutural da mata à variação da temperatura e da umidade absoluta do ar, e resulta em uma dinâmica estrutural do dossel claramente aumentada. Este efeito maior no fragmento é provavelmente relacionado à diversidade florística mais baixa e à maior abundância de espécies decíduas no dossel do fragmento florestal em comparação com a mata madura. Nesta, a alta riqueza de espécies arbóreas e a menor abundância de espécies pioneiras e decíduas pode evitar talvez um impacto comparável da sazonalidade sobre a estrutura do dossel e a dinâmica espaço-temporal nessa mata. Observamos também um efeito de borda respectivo às alterações da AD. A variação sazonal na AD diminui com o aumento da distância da borda. Uma das explicações possíveis é a distribuição das espécies decíduas no remanescente florestal, que têm maior concentração na borda do fragmento. Não observamos um efeito comparável para o IAF, o que mostra que não se pode concluir uma dependência direta entre o AD e o IAF.

Abstract

We examined the influence of the seasonal climate on Leaf Area Index (LAI, projected one side leaf area per unit ground surface) and Canopy Openness in a mature forest stand and in a forest remnant of the Brazilian Atlantic Forest in Rio de Janeiro. We recognised a significant variability of LAI / Canopy Openness between the central parts and the borders of the forest fragment. There was no comparable variability in the mature forest. In the forest fragment we recorded a highly significant increase of LAI with a mean of 0,45 which is about 12% at the end of the wet season. The higher influence of seasonality on LAI/Canopy Openness resulting in perspicuously higher within-canopy dynamics in the forest remnant have been put down to a structural response to temperature and absolute humidity, due to the low species diversity and a higher abundance of deciduous tree species. The high species richness in the mature forest site with a lower abundance of deciduous pioneer species may prevent such impact on the canopy structure and its spatiotemporal dynamics. We observed an obvious "edge effect" in relation to the structural changes by the seasonality in Canopy Openness: decreasing difference of canopy-openness with increasing distance from the edge. A possible reason could be the distribution of deciduous tree species in the fragment with concentration on the forest edge. There was no such effect in LAI, which demonstrates that there is no conclusive dependency between LAI and Canopy Openness.

¹ University of Leipzig, Institute for Biology I, Department for Systematic Botany and Tropical Ecology, Johannisale 21,043103 Leipzig, Germany.



Introdução

Características estruturais de florestas, tais como o diâmetro à altura do peito (DAP), a abertura de dossel (AD) e o índice da área foliar (IAF) podem prover informações básicas acerca do estágio da sucessão, do regime da perturbação e do desenvolvimento da floresta. A análise do IAF é usada tradicionalmente para avaliar a produtividade de uma floresta (BOLSTAD et al., 2001). Em termos ecológicos é um parâmetro essencial para caracterizar o habitat. O IAF é a área foliar por unidade de superfície. Trata-se de um parâmetro-chave na ecofisiologia e, conjuntamente com a AD, de um fator importante para a descrição da estrutura do dossel e da sazonalidade temporal e espacial de uma floresta (TRICHON et al., 1998, FRAZER et al., 2000, BOLSTAD et al., 2001, LUO et al., 2002, WILLIAMS et al., 2003). Tradicionalmente o IAF é medido com métodos diretos (amostragem de folhas, transferência de dados da área foliar para o computador através de scanner) que gastam muito tempo e são destrutivos (FASSNACHT et al., 1994). A medição indireta deste parâmetro e da AD com métodos ópticos foi desenvolvida primeiro para a avaliação da produtividade em silviculturas e subseqüentemente aplicada na pesquisa ecológica. AD e IAF são parâmetros adequados e freqüentemente usados para medir indiretamente alguns fatores abióticos que são essenciais para o entendimento da regeneração florestal, como a radiação solar transmitida e a luz do dia disponível (KABAKOFF & CHAZDON, 1996, KUPPERS et al., 1996, GELHAUSEN et al., 2000, ENGELBRECHT & HERZ, 2001, JIN & ZHANG, 2002, COURNAC et al., 2002). Os valores do IAF variam entre os ecossistemas de 1,3 em regiões áridas até 6,7 em florestas sempre-verdes temperadas de coníferas (ASNER et al., 2003). Dados globais comparáveis da AD faltam e ainda existe pouco conhecimento

acerca do impacto da sazonalidade climática local sobre os parâmetros referidos nas florestas tropicais (SMITH et al., 1992).

A AD e o IAF podem ser medidos facilmente mediante a fotografia hemisférica. Trata-se de um método indireto freqüentemente usado para a avaliação das características estruturais do dossel (JONCKHEERE et al., 2004, FASSNACHT et al., 1994, CHEN et al., 1991, CHASON et al., 1991). Neste estudo foram pesquisadas as seguintes questões: i) Como se pode quantificar as diferenças estruturais de diferentes florestas usando o IAF e a AD? ii) Como mudam esses parâmetros em relação à sazonalidade climática e à fragmentação da floresta? iii) Existem diferenças estruturais em uma escala espacial pequena e é possível detectá-las mediante o IAF e a AD?

Métodos

Dois locais de estudo foram selecionados. A área representativa de floresta madura localiza-se no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (Parnaso), sede Teresópolis, a 22°27'24" S e 42°59'48" W e 1.160 m acima do nível do mar. Esta área constitui-se por floresta montana protegida há 67 anos e nela foi estabelecida uma parcela de 1 ha (Fig. 1). O outro local foi uma parcela de 0,8 ha estabelecida em um fragmento florestal localizado a 25 km do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, na direção nordeste, nas coordenadas 22°16'42" S e 42°51'40" W, a 900 m acima do nível do mar. Trata-se de um remanescente florestal de 63 ha, com mata secundária, cercada por áreas agrícolas (Fig. 2). A mata é composta por árvores pioneiras e secundárias, algumas delas decíduas como, por exemplo, *Piptadenia gonoacantha* (Mimosaceae). O fragmento localiza-se ao lado de uma fábrica de sorvete, por isso o nome dado de "fragmento sorvete".

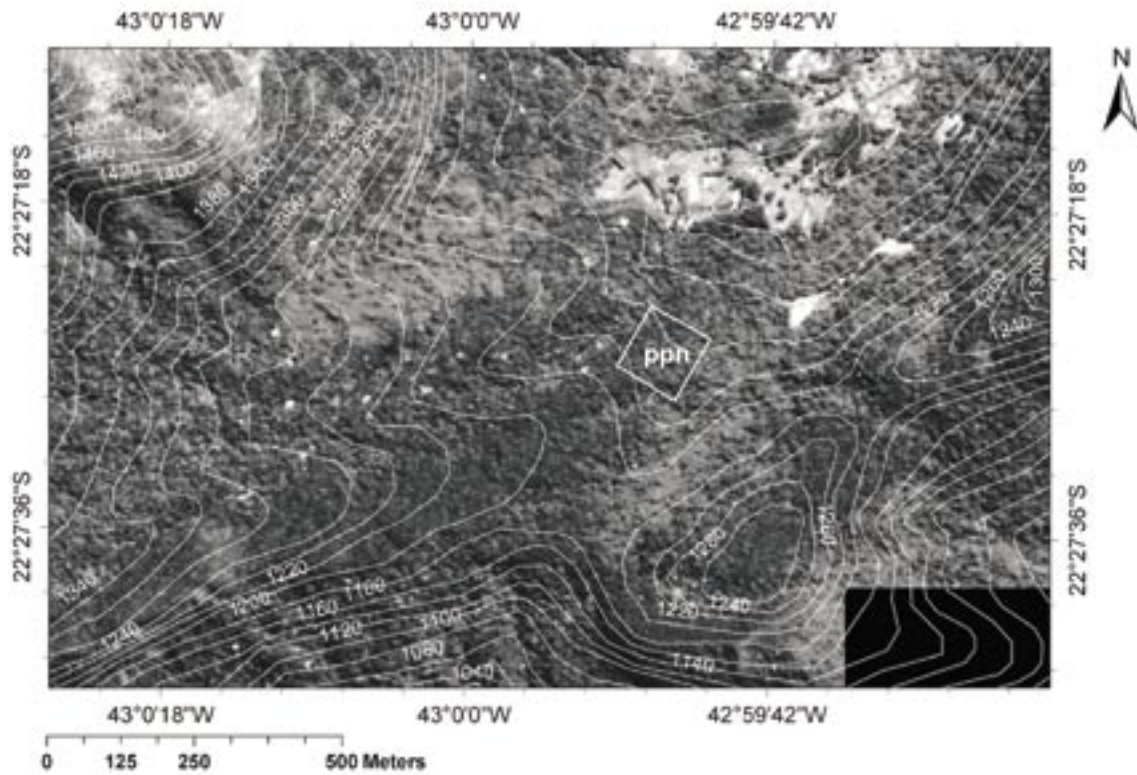


Figura 1: Localização da parcela (pph) no Parque Nacional da Serra dos Órgãos. (Imagem de satélite tipo Ikonos com isolinhas da altitude).

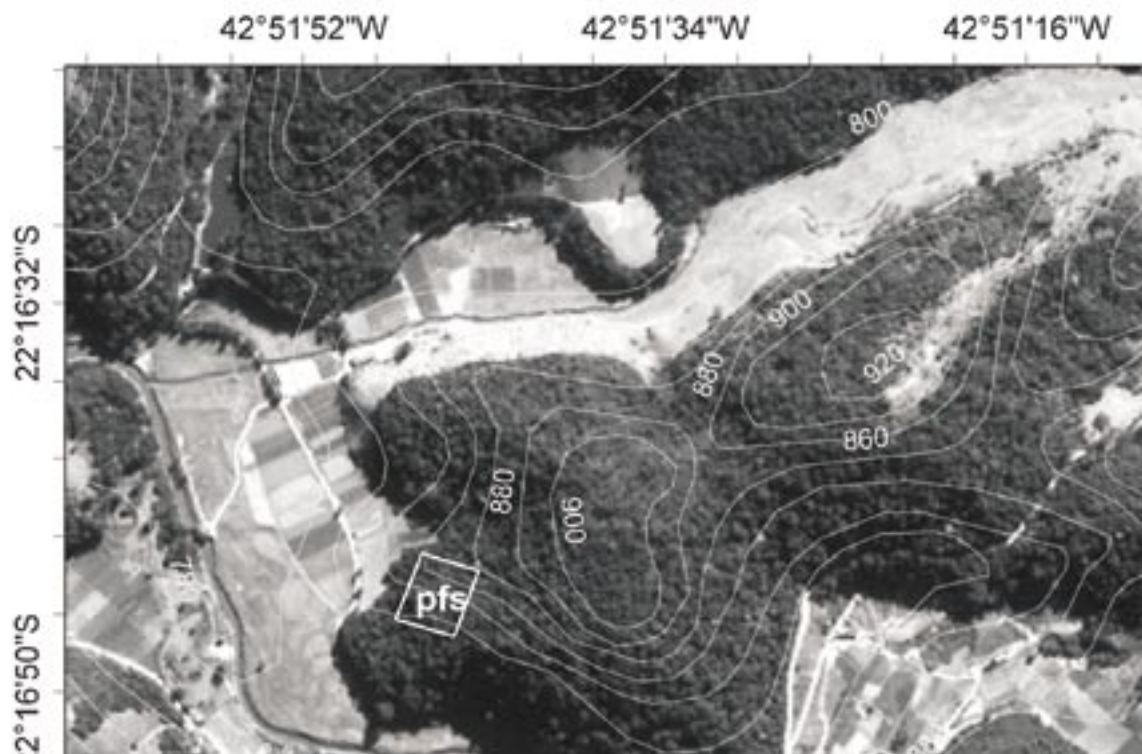


Figura 2: Localização da parcela (pfs) no fragmento florestal chamado "Sorvete". (Imagem de satélite tipo Ikonos com isolinhas da altitude).

O clima da região é tropical úmido e é caracterizado por precipitação anual de 2.821 mm em média, alta umidade relativa do ar, uma estação úmida considerável em termos de duração e intensidade da precipitação, e temperatura média anual de 17,8°C. Entre os meses de novembro e janeiro ocorrem 42% da precipitação anual (cerca de 1.187 mm) e uma temperatura média de 19,1°C. Com uma precipitação de 282 mm em média e uma temperatura média de 15,1°C, os meses de junho a agosto são os mais secos e frios do ano (GUIMARÃES & ARLÉ, 1984, RIZZINI, 1954). Para medir a temperatura e a umidade relativa e absoluta do ar no interior das florestas estudadas foram usadas estações microclimáticas (Onset-HOBO RH/T data loggers). Uma dessas estações foi montada na parcela de 1 ha no Parnaso e outras três foram instaladas no fragmento ao longo de um gradiente espacial entre a borda e o interior do remanescente. Os medidores mediam a umidade relativa do ar e a temperatura em intervalos de uma hora. Para este estudo foi analisada uma série de 8.760 medidas da temperatura e 8.760 da umidade relativa (uma medida a cada hora para um período de 365 dias) em cada um dos quatro medidores instalados.

A fotografia hemisférica reproduz, sobretudo, a situação da iluminação embaixo do dossel da floresta. Os padrões reproduzidos na fotografia constituem-se de elementos físicos do dossel e do céu restante. A projeção da imagem é circumpolar em ângulo de fundo (sky projection in zenith angles). É possível analisar as estruturas na imagem calculando a correção ótica da projeção com algoritmos matemáticos apropriados. Como a fotografia hemisférica constitui uma ferramenta confiável e barata, substituindo aparelhos caros como o LAI 2000 Plant Canopy Analyzer (LEBLANC et al., 2002) e também permite o armazenamento de dados digitais para futuras análises com métodos e programas mais avançados que podem vir a ser desenvolvidos (BEAUDET & MESSIER, 2002), optou-se por esse método para a medição indireta do IAF e da AD. Em cada uma das parcelas de estudo estabelecemos 80 pontos fotográficos em subparcelas de 10 x 10 m. Em cada ponto foram tiradas duas séries de fotografias hemisféricas usando uma câmera digital modelo Nikon Coolpix 4.500 equipada com uma lente de 180° (tipo olho-de-peixe), modelo Nikon FC-E8. A resolução digital foi ajustada a 2.272 x 1.704 pixels. Para fotografar, a câmera foi instalada em um tripé nivelado, com a lente à altura de 1,30 m acima do solo, apontando para o céu. As fotos foram tiradas somente em dias nublados para evitar exposições exageradas

e para reduzir reflexos das folhas, que podem ser mal interpretados como aberturas. Para ter a possibilidade de avaliar a variação da estrutura do dossel com respeito à sazonalidade climática, foram tiradas duas séries de fotos em ambas as parcelas. A primeira série foi realizada ao final da estação seca em novembro de 2004 e a segunda ao final da estação úmida em junho de 2005. Optou-se por tirar as fotografias no final das respectivas estações, porque pretendeu-se retratar o impacto das estações climáticas no crescimento das folhas e do dossel. Dependendo das condições climáticas foi preciso de três a quatro semanas para fotografar uma série.

Para a análise das fotografias hemisféricas foi usado o programa WinScanopy 2005 de Regent Instruments Inc. Calculou-se os valores da AD e do IAF usando o algoritmo "LAI 2000 generalized method", que é incluído no programa e adequado para florestas em geral, inclusive florestas montanas tropicais (DIETZ, 2007). Para interpolar as séries de medidas entre os pontos da rede de dados foi aplicada a krigagem, um método de regressão usado em geoestatística para estimar valores em um local não amostrado. Os mapas de contorno derivados dos dados interpolados foram elaborados usando o programa Surfer 8.0 (Golden Software, CO, EUA). As alterações espaço-temporais do IAF foram calculadas e visualizadas subtraindo os valores da estação seca daqueles da estação úmida. Para avaliar a significância das diferenças utilizou-se o teste Mann-Whitney-Rank-Sum.

Resultados

Foi detectada uma diferença significativa entre a floresta madura e o remanescente florestal com referência à AD no final da estação seca ($T=7722,5$, $p<0,001$; $n=80$), enquanto a diferença em relação ao IAF não foi significativa. No final da estação úmida não houve nenhuma diferença significativa entre as duas áreas pesquisadas em relação ao IAF ou à AD. No fragmento florestal, identificou-se uma variação significativa nos valores de IAF e da AD entre as estações climáticas. Na parcela floresta madura, dentro do parque nacional, não foi possível encontrar uma diferença sazonal significativa em nenhum dos dois parâmetros (Figura 3 a,b). No entanto, registrou-se um aumento do IAF depois do fim da estação úmida em ambas as áreas de estudo (Tabela 1). A área dentro da parcela onde foi detectado um aumento dos valores do IAF >1 foi quase duas vezes maior no fragmento (576m², 7,2%) comparado com a parcela do parque nacional (296m², 3,7%).

Tabela 1: Alterações sazonais do Índice da Área Foliar (IAF) e da Abertura de Dossel (AD) nas áreas de estudo (cada área com n=80) .

	Parâmetro	Fim da estação seca (nov. 04)	Fim da estação úmida (jun. 05)	Valor de significância (p)
Fragmento florestal	AD (%)	7,92 (± 2,77)	7,18 (± 2,00)	0,024 *
	IAF	3,43 (± 0,74)	3,88 (± 0,83)	<0,001 ***
Parnaso	AD (%)	6,67 (± 0,93)	6,75 (± 0,70)	0,38 (ns)
	IAF	3,53 (± 0,52)	3,77 (± 0,68)	0,05 (ns)
Diferença dos parâmetros entre os locais	AD(%)	1,25 (*)	0,43 (*)	
	IAF	0,1 (ns)	0,11 (ns)	

* significante, *** altamente significativo, ns = não significativo.

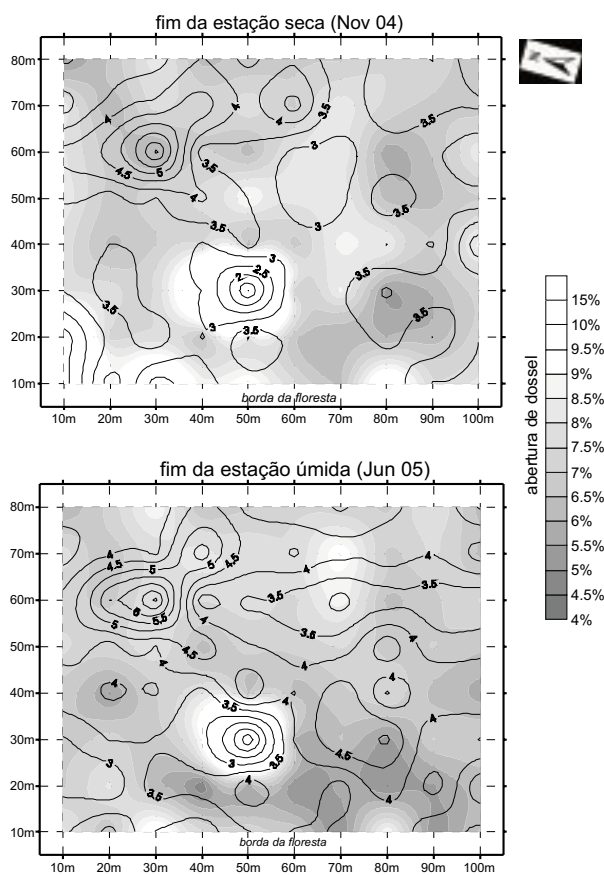


Figura 3a: Mapas de contorno mostrando os valores da Abertura de Dossel (AD) e a distribuição horizontal do Índice de Área Foliar (IAF - isolinhas numeradas) na parcela do remanescente florestal no fim das estações climáticas.

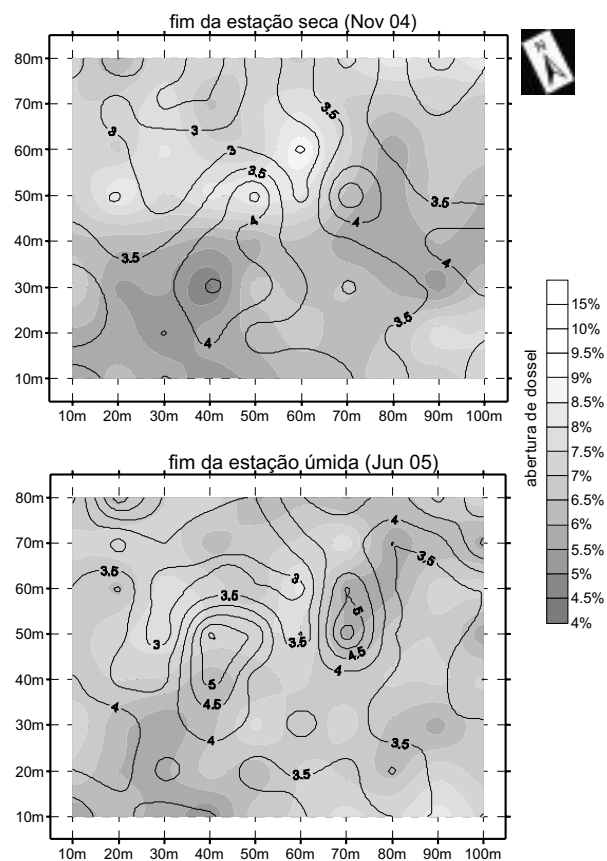


Figura 3b: Mapas de contorno mostrando os valores da Abertura de Dossel (AD) e a distribuição horizontal do Índice de Área Foliar (IAF - isolinhas numeradas) na parcela do Parnaso no fim das estações climáticas.

Apesar da falta de diferenças significativas do IAF médio no Parnaso entre as estações climáticas, as alterações máximas locais (medidas nos pontos fotográficos) do parâmetro de uma estação meteorológica para a outra, dentro da parcela, foram maiores do que dentro da parcela

do fragmento florestal. Na parcela do Parnaso, foi observado um aumento máximo local do IAF de 2,07 e uma diminuição máxima local de até 0,83. Na parcela do fragmento florestal, o aumento máximo local do IAF foi 1,65 e a diminuição máxima local foi 0,6 (Figura 4). As alterações sazonais locais da AD

mostram uma situação inversa. No remanescente florestal a variabilidade local da AD entre as estações climáticas foi maior (aumento de até 2% e diminuição de até 7,93%) do que na parcela do Parnaso (aumento de até 2% e diminuição de até 2,09%).

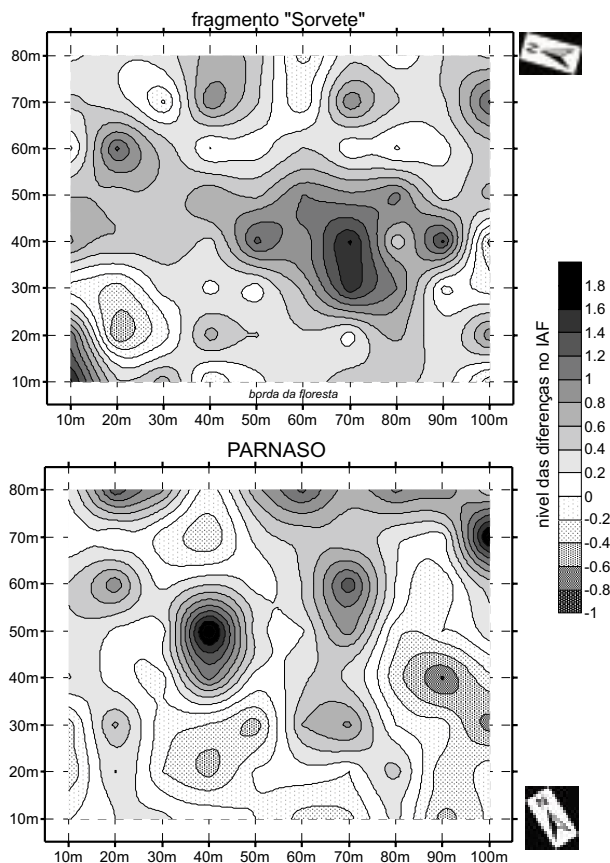


Figura 4: Mapas de contorno mostrando as alterações espaciais e sazonais (comparação entre as Figuras 3a e 3b) do IAF. Os valores mostram as diferenças entre o IAF ao final da estação seca e o IAF ao final da estação úmida.

No remanescente florestal, observamos um efeito de borda evidente relativo à dinâmica da AD. Com o aumento da distância da borda da floresta, a diferença sazonal da AD diminuiu (Figura 5a). O coeficiente da regressão linear do mediano dos valores da diferença da AD mostra uma dependência alta ($R^2 = 0,93$) e significativo da AD da distância da borda do fragmento. Levando em conta somente os valores mínimos, que representam uma diminuição local da AD de até 8% na estação úmida, a dependência da AD da distância da borda é maior ainda ($R^2 = 0,95$) e segue uma função logarítmica. Não detectamos um efeito comparável para o IAF (Figura 5b). Os valores da diferença do

IAF entre as estações são muito variáveis ao longo de um gradiente da distância da borda e não há tendências, como mostra uma análise de regressão não significativa. Esses resultados mostram que não existe uma dependência conclusiva entre ambos os parâmetros.

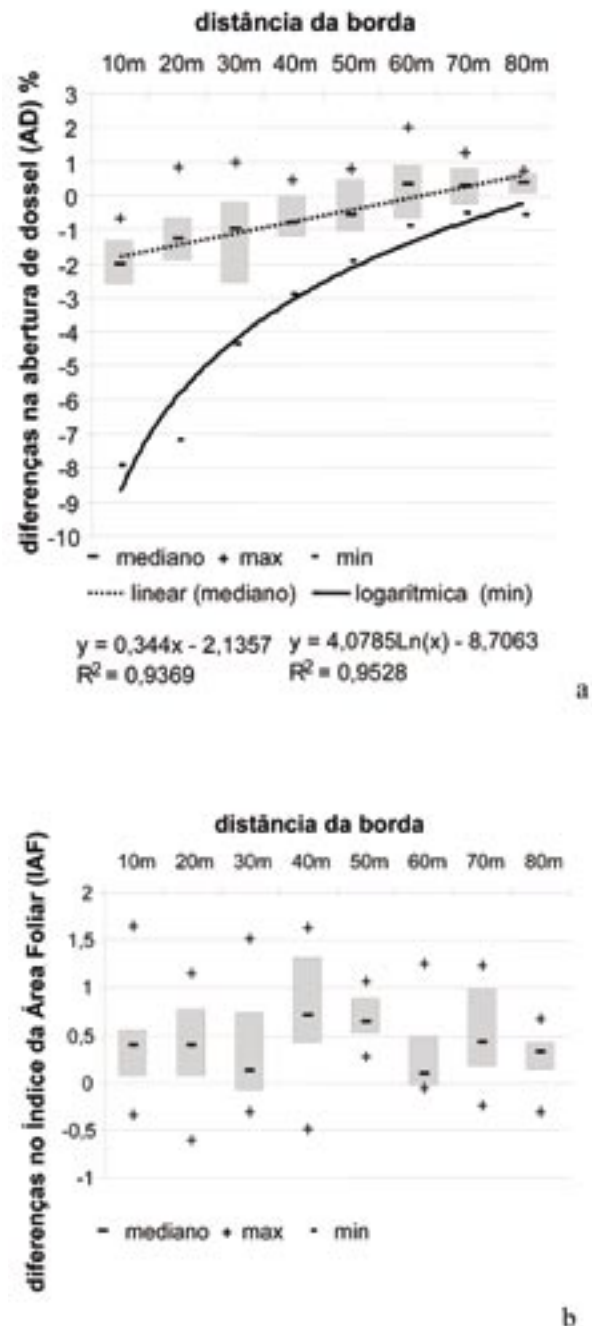
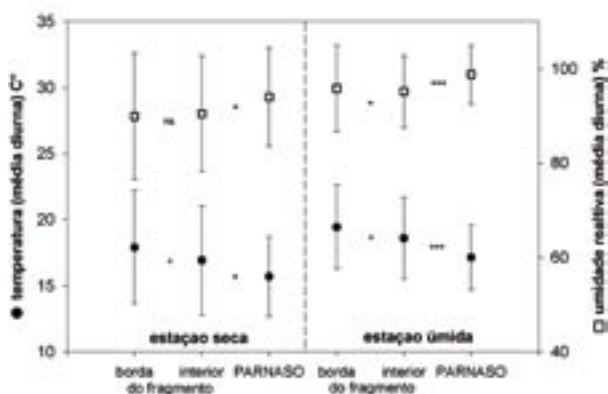


Figura 5a-b: Valores das diferenças sazonais da Abertura de Dossel (a) e do Índice da Área Foliar (b) entre as estações seca e úmida no fragmento florestal em relação à distância da borda do fragmento (borda = 0m, direção ao interior).

No período de setembro de 2004 até setembro de 2005, a temperatura média no interior do fragmento foi de $17,9 (\pm 3,85)^\circ\text{C}$ e uma umidade relativa média de $92,6 (\pm 10,6) \%$. Além disso, foi detectada uma diferença altamente significativa no microclima entre a borda e o interior do remanescente florestal, durante a estação úmida. A temperatura média diurna e a umidade relativa média do ar foram significativamente mais altas na borda do fragmento do que no seu interior (Fig. 6) Na estação seca, apenas a temperatura apresentou uma diferença significativa ($0,4\text{K}$) entre borda e interior.



UR = umidade relativa do ar, * significativo, *** altamente significativo, ns = não significativo (no Parnaso não foram realizadas medições na borda da floresta).

Figura 6: Médias e desvios-padrão da temperatura e da umidade relativa (calculados de médias diurnas) nas áreas pesquisadas. Os valores se baseiam nas medições realizadas entre setembro 2004 e setembro 2005. Os níveis da significância referem-se aos resultados da comparação estatística (t-test) dos valores dos respectivos locais.

No período de setembro de 2004 até setembro de 2005, a temperatura média no interior do fragmento foi de $17,9 (\pm 3,85)^\circ\text{C}$ e uma umidade relativa média de $92,6 (\pm 10,6) \%$. Além disso, foi detectada uma diferença altamente significativa no microclima entre a borda e o interior do remanescente florestal, durante a estação úmida. A temperatura média diurna e a umidade relativa média do ar foram significativamente mais altas na borda do fragmento do que no seu interior (Fig. 6) Na estação seca, apenas a temperatura apresentou uma diferença significativa ($0,4\text{K}$) entre borda e interior.

Discussão

Apenas no fragmento florestal foi observada uma variação significativa nos valores de índice da

área foliar (IAF) entre as estações. Nesta floresta foi registrado, no final da estação úmida, um aumento do IAF de até 12% em relação ao final da estação seca. Para a área amostrada no Parque Nacional da Serra dos Órgãos não foi detectada uma variação sazonal significativa desse parâmetro. Isso coincide com os resultados de Wirth et al. (2001). Estes autores descreveram, para uma floresta no Panamá, que os valores médios do IAF tendiam a mostrar baixa variabilidade absoluta sazonal em áreas grandes, enquanto a variabilidade do IAF freqüentemente era maior em uma escala pequena e local. Uma alta heterogeneidade do IAF numa escala pequena e local também está descrita especialmente para florestas tropicais com uma sazonalidade baixa como, por exemplo, na Ásia tropical (TRICHON et al., 1998). Podemos concluir que a análise das alterações do IAF numa escala local é muito importante para a descrição da variabilidade sazonal estrutural no dossel duma floresta.

Uma das razões principais para as diferenças sazonais do IAF, observadas no remanescente florestal, pode ser a ocorrência de várias espécies decíduas como, por exemplo, *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr. (pau-jacaré) e a reação dessas árvores à sazonalidade climática. A predominância dessa espécie de estágios iniciais da sucessão pode ser explicada com as suas exigências à regeneração. As plântulas do pau-jacaré só podem sobreviver em condições com muita radiação solar. Ao contrário das espécies tardias, as plântulas da *Piptadenia gonoacantha* não mostram tolerância ao sombreamento (PEREIRA DE SOUZA & VÁLIO, 2001). Como espécie decídua, o pau-jacaré diminui o IAF e aumenta a AD da floresta em geral e ajuda, portanto, as próprias plântulas a crescer. Um outro fator importante é a característica do solo. Na região do fragmento, encontramos argissolo vermelho-amarelo distrófico e latossolo vermelho-amarelo distrófico com teores variáveis de acidez (EMBRAPA, 1999). Nestes solos ácidos e pobres em nutrientes, *P. gonoacantha* pode dominar a sucessão inicial por causa da sua capacidade da fixação biológica de nitrogênio (CONCEIÇÃO JESUS et al., 2005, GEHRING et al., 2005).

Na África tropical, Wasseige et al. (2003) reportaram a ocorrência simultânea da estação seca e da diminuição sazonal do IAF de 0,34. Neste estudo, foram registrados os valores mínimos do IAF (5,13) algumas semanas depois da época do ano com a menor precipitação. Apesar disso, a regeneração da folhagem em florestas tropicais dominadas por árvores semidecíduas é muito complexa e ainda pobremente descrita (AIDE, 1993, BARONE, 1998, LEIGH & WINDSOR, 1982) e

a ligação das mudanças locais do IAF com eventos fenológicos distinguíveis ainda é difícil.

A menor diferença sazonal do IAF na parcela no Parnaso resulta provavelmente da grande presença de árvores sempre-verdes no estrato de dossel, que renovam a folhagem em intervalos irregulares e quase imprevisíveis, como já descrito por Croat (1978). Mas além da ausência das diferenças do IAF estatisticamente significativas, que podem ser relacionadas claramente à sazonalidade climática, observou-se, assim como Trichon (1998), uma heterogeneidade alta desse parâmetro numa escala muito local.

A AD, conhecida como um bom indicador da geometria básica do dossel e da penetração potencial da radiação solar (WALTER & TORQUEBAU, 1997), está altamente correlacionada com as condições microclimáticas de uma floresta (WHITMORE et al., 1993). Por causa da elevada riqueza florística da mata no Parque Nacional da Serra dos Órgãos e a abundância baixa de árvores decíduas e semidecíduas, o impacto das estações climáticas sobre a dinâmica espaço-temporal da estrutura da floresta (e conseqüentemente a AD) não é tão expressivo como no fragmento florestal. Seguindo essa observação pode-se constatar que uma estrutura complexa de dossel suaviza o impacto das variações climáticas e que essa estrutura é mais homogênea em larga escala, o que resulta em um microclima mais balanceado. Essa estrutura complexa do dossel permite a regeneração de espécies de estágios tardios da sucessão e da mata madura, porque as plântulas deles têm a vantagem da tolerância à sombra comparada com espécies pioneiras (PEREIRA DE SOUZA & VÁLIO, 2003).

Fases de clareiras de grande tamanho são definidas como perturbações recentes sem regeneração vegetal e caracterizadas pelos valores altos da AD (maior que 7%), enquanto florestas maduras geralmente mostram valores muito mais baixos, inclusive nas clareiras locais pequenas que fazem parte da dinâmica de florestas maduras (TRICHON, 1998). Mas dentro de um sub-bosque denso, pilares grandes perto da câmera ou altas concentrações de trepadeiras (como no fragmento pesquisado) podem levar a medições de valores altos do IAF e de valores baixos da AD. Essa combinação de valores corresponde preferencialmente a fases maduras de uma mata. Segundo Trichon (1998), a cobertura superior do dossel tem nesses casos um impacto menor ou ausente sobre as medições dos parâmetros AD e IAF. Nesses casos é quase impossível distinguir as fases dinâmicas da floresta somente interpretando

valores computados pelos métodos aqui utilizados. Valores altos de IAF não são necessariamente associados a valores baixos de AD, porque em análises detalhadas considerando o conjunto de vários estratos da mata o oposto pode ser encontrado (KABAKOFF & CHAZDON, 1996, FRAZER et al., 2000). Mesmo tendo registrado no fragmento um claro efeito de borda relativo às alterações sazonais da AD (Figura 3a), não observamos um efeito semelhante para o IAF. Isso enfatiza a relação complexa e não-linear entre os dois parâmetros (ANDERSON, 1981), porque finalmente são a soma total e a distribuição espacial de aberturas no dossel os fatores que determinam o valor do IAF derivado de fotografias hemisféricas (CHEN et al., 1991, WEISS et al., 2004). Em geral, a AD é um parâmetro mais sensível para expressar a heterogeneidade da estrutura de uma mata, porque ela é mais estritamente relacionada à distribuição espacial da radiação solar e às perturbações. Por isso a AD é um parâmetro muito útil para estudar a regeneração e a dinâmica de florestas (TRICHON, 1998).

Em estudos anteriores (p. ex. SCURLOCK et al., 2001) foram registrados valores maiores do IAF para unidades de vegetação comparáveis (região dos Andes do Peru e Equador) às florestas pesquisadas. Além das divergências que se baseiam no uso de diferentes métodos, esse fato pode ser explicado também pela posição da câmera usada em nosso estudo (1,3 m acima do solo), que implica a não consideração da vegetação abaixo desse nível. O IAF dessa fração do sub-bosque pode chegar a um valor adicional de até 1 (COURNAC et al., 2002, TRICHON et al., 1998). Portanto, em estudos recentes sobre o IAF do dossel usando a fotografia hemisférica as imagens foram freqüentemente tiradas no mínimo em 1,3 m acima do solo (p. ex. HALE & EDWARDS, 2002, BEAUDET & MESSIER, 2002, POORTER & ARETS, 2003) Neste estudo descartou-se a fração abaixo desse nível também para diminuir a influência do declive e para facilitar assim a comparabilidade dos valores do IAF entre as parcelas estudadas. Também se excluiu a computação da radiação solar com base nas fotografias hemisféricas, porque esses dados são só fracamente correlacionados com as medições da AD quando os pontos da amostragem têm uma distância de 2,5 m e sem correlação quando os pontos da amostragem estão mais de 5 m distantes um do outro (BECKER & SMITH, 1990). As distâncias de 10 m, utilizadas neste estudo, representam um compromisso da precisão aceitável para facilitar um estudo espaço-temporal baseado na AD e no IAF de grandes áreas, com uma quantidade limitada de medições.

Este estudo confirma a fotografia hemisférica como uma ferramenta valiosa para as pesquisas da estrutura do dossel e a sua heterogeneidade espaço-temporal. Os resultados deste estudo e os das pesquisas planejadas a serem realizadas em regiões mais baixas na Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, no futuro, vão ajudar a entender o impacto da estrutura do dossel sobre a dinâmica e a regeneração das comunidades arbóreas. Especialmente a consideração da heterogeneidade sazonal do dossel pode ajudar a explicar o impacto da borda de floresta sobre a dinâmica da regeneração e das perturbações. Esses conhecimentos também podem ajudar a entender a importância reduzida de clareiras clássicas, que foi postulada para algumas florestas tropicais por HUBBELL et al. (1999), LIEBERMAN et al. (1995) e MIDGLEY et al. (1995). Para facilitar declarações mais detalhadas sobre a importância dos referidos parâmetros para a avaliação rápida da estrutura de florestas e remanescentes da Mata Atlântica, é essencial realizar estudos em maiores áreas e de longo prazo. Ademais, é indispensável articular estudos como este e estudos ecológicos como, por exemplo, fitossociológicos, fenológicos e estruturais, numa mesma área de pesquisa, para chegar a resultados mais conclusivos e holísticos.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi realizada dentro do programa de cooperação Brasil-Alemanha “Ciência e Tecnologia para a Mata Atlântica”. Agradecemos ao CNPq e ao Ministério de Educação e Pesquisa da Alemanha (BMBF), patrocinadores do programa. Igualmente queremos agradecer ao Ibama por outorgar as licenças necessárias.

O nosso agradecimento especial é dirigido à direção e aos funcionários do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, que sempre apoiaram as nossas pesquisas e possibilitaram a publicação deste trabalho. Agradecemos também a colaboração do proprietário do fragmento “Sorvete” que mostrou uma grande compreensão dos nossos estudos e sempre permitiu o acesso à sua floresta.

Além disso, agradecemos a F.C.M. Piña-Rodrigues e seus alunos pela colaboração no campo, estabelecendo as parcelas, e ao Jens Wesenberg pela ajuda na tradução do manuscrito.

Referências bibliográficas

- AIDAR, M. P. M.; LEME de GODOY, J. R.; BERGMANN, J.; JOLY, C. A. Atlantic forest succession over calcareous soil, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR, SP. **Revista Brasileira Botânica**, v. 24, p. 455-469, 2001.
- AIDE, T. M. Patterns of leaf development and herbivory in a tropical understory community. **Ecology**, v. 74, p. 455-466, 1993.
- ANDERSON, M. C. The geometry of leaf distribution in some south-eastern Australian forests. **Agric. Meteorol.**, v. 25, p. 195-205, 1981.
- ASNER, G. P.; SCURLOCK, J. M. O.; HICKE, J. A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. **Global Ecology & Biogeography**, v. 12, p. 191-205, 2003.
- BARONE, J. A. Effects of light availability and rainfall on leaf production in a moist tropical forest in central Panama. **J. Trop. Ecol.**, v. 14, p. 309-321, 1998.
- BEAUDET, M.; MESSIER, C. Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: an assessment based on hemispherical photographs. **Agric. For. Meteorol.**, v. 110, p. 217-228, 2002.
- BECKER, P.; SMITH, A. Spatial autocorrelation of solar radiation in a tropical moist forest understory. **Agric. Forest Meteorol.**, v. 52, p. 373-379, 1990.
- BOLSTAD, P. V.; VOSE, J. M.; McNULTY, S. G. Forest productivity, leaf area, and terrain in southern Appalachian deciduous forests. **Forest Science**, v. 47, p. 419-427, 2001.
- CHASON, J. W.; BALDOCCHI, D. D.; HUSTON, M. A. Comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf-area. **Agric. For. Meteorol.**, v. 57, p. 107-128, 1991.
- CHEN, J. M.; BLACK, T. A.; ADAMS, R. S. Evaluation of hemispherical photography for determining plant
-

- area index and geometry of a forest stand. **Agric. For. Meteorol.** v. 56, p. 129-143, 1991.
- CONCEIÇÃO JESUS, E.; SCHIAVO, J. A.; MIANA de FARIA, S. Dependência de micorrizas para a nodulação de leguminosas arbóreas tropicais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 545-552, 2005.
- COURNAC, L.; ANTOINE DUBOIS, M.; CHAVE, J.; RIERA, B. Fast determination of light availability and leaf area index in tropical forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p. 295-302, 2002.
- CROAT, T. B. **Flora of Barro Colorado Island**. Stanford, California: Stanford University Press, 1978.
- DIETZ, J. **Rainfall partitioning in differently used montane rainforests of Central Sulawesi, Indonesia**. Alemanha, 2007. Dissertação. Universidade de Göttingen.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Centro Nacional de Pesquisa de Solos Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.
- ENGELBRECHT, B. M. J.; HERZ, H. M. Evaluation of different methods to estimate understorey light conditions in tropical forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 17, p. 207-224, 2001.
- FASSNACHT, K. S.; GOWER, S. T.; NORMAN, J. M.; McMURTRIE, R. E. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. **Agric. For. Meteorol.**, v. 71, p. 183-207, 1994.
- FRAZER, G. W.; TROFYMOW, J. A.; LERTZMANN, K. P. Canopy openness and leaf area in chronosequences of coastal temperate rainforests. **Can. J. For. Res.**, v. 30, p. 239-256, 2000.
- GEHLHAUSEN, S. M.; SCHWARTZ, M. W.; AUGSPURGER, C. K. Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. **Plant Ecology**, v. 147, p. 21-35, 2000.
- GEHRING, Ch.; VLEK, P. L. G.; SOUZA, L. A. G.; DENICH, M. Biological nitrogen fixation in secondary regrowth and mature rainforest of central Amazônia. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 111, p. 237-252, 2005.
- GUIMARÃES, A. É.; ARLÉ, M. Mosquitos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. I - Distribuição Estacional. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 79, p. 309-323, 1984.
- HALE, S. E.; EDWARDS, C. Comparison of film and digital hemispherical photography across a wide range of canopy densities. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 112, p. 51-56, 2002.
- HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B.; O'BRIEN, S. T.; HARMS, K. E.; CONDIT, R.; WECHSLER, B.; WRIGHT, S. J.; LOO de LAO, S. Light-gap disturbances, recruitment limitation and tree diversity in a neotropical forest. **Science**, v. 283, p. 554-557, 1999.
- JIN, M.; ZHANG, D. L. Observed variations of leaf area index and its relationship with surface temperatures during warm seasons. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 80, p. 117-129, 2002.
- JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYSA, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, p. 19-35, 2004.
- KABAKOFF, R. P.; CHAZDON, R. L. Effects of canopy species dominance on understorey light availability in low elevation forest stands in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v. 12, p. 779-788, 1996.
- KUPPERS, M.; TIMM, H.; ORTH, F.; STEGEMANN, J.; STOBER, R.; SCHNEIDER, H.; PALIWAL, K.; ARANAICHAMY, K.; ORTIZ, R. Effects of light environment and successional status on lightfleck use by understorey trees of temperate and tropical forests. **Tree Physiol.**, v. 16, p. 69-80, 1996.
- LEBLANC, S. G.; FERNANDES, R.; CHEN, J. M. Recent advancements in optical field leaf area index, foliage heterogeneity and foliage angular distribution measurements. In: **Proceedings of IGARSS 2002**. Toronto, Canada, 24-28 June. 2002.
- LEIGH JUNIOR, E. G.; WINDSOR, D. M. Forest production and regulation of primary consumers on Barro Colorado Island. In: MONTGOMERY, G. G. (Ed.). **Ecology of arboreal folivores**. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1982. p. 111-122.
- LIEBERMAN, M.; LIEBERMAN, D.; HARTSHORN, G. S. Canopy closure and the distribution of tropical

tree species at La Selva, Costa Rica. **J. Trop. Ecol.**, v. 11, p. 161-178, 1995.

LUO, T.; NEILSON, R. P.; TIAN, H.; VÖRÖSMARTY, C. J.; ZHU, H.; LIU, S. A model for seasonality and distribution of leaf area index of forests and its application to China. **Journal of Vegetation Science**, v. 13, p. 817-830, 2002.

MIDGLEY, J. J.; CAMERON, M. C.; BOND, W. J. Gap characteristics and replacement patterns in the Knysna Forest, South Africa. **J. Veg. Sci.**, v. 6, p. 29-36, 1995.

RIZZINI, C. T. Flora organensis - Lista preliminar dos cormophyta da Serra dos Órgãos. **Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, v. 13, p. 118-246, 1954.

SCURLOCK, J. M. O.; ASNER, G. P.; GOWER, S. T. **Worldwide historical estimates of Leaf Area Index, 1932-2000**. ORNL Technical Memorandum ORNL/TM 2001/268. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA, 2001.

SMITH, A. P.; HOGAN, K. P.; IDOL, J. R. Spatial and temporal patterns of light and canopy structure in a lowland tropical moist forest. **Biotropica**, v. 24, p. 503-511, 1992.

PEREIRA De SOUZA, R.; VALIO, I. F. M. Seed size, seed germination, and seedling survival of Brazilian tropical tree species differing in successional status. **Biotropica**, v. 33, p. 447-457, 2001.

PEREIRA De SOUZA, R.; VALIO, I. F. M. Seedling growth of fifteen tropical tree species differing in successional status. **Revista Brasileira Botanica**, v. 26, p. 35-47, 2003.

POORTER, L.; ARETS, E. J. M. Light environment and tree strategies in a bolivian tropical moist forest: an evaluation of the light partitioning hypothesis. **Plant Ecology**, v. 166, p. 295-306, 2003.

TRICHON, V.; WALTER, J-M. N.; LAUMONIER, Y. Identifying spatial patterns in the tropical forest structure using hemispherical photographs. **Plant Ecology**, v. 137, p. 227-244, 1998.

WALTER, J-M. N.; TORQUEBAU, E. F. The geometry of the canopy of a dipterocarp rain forest in Sumatra. **Agric. Meteorol.**, v. 85, p. 99-115, 1997.

WASSEIGE, C.; BASTIN, D.; DEFOURNY, P. Seasonal variation of tropical forest LAI based on field measurements in Central African Republic. **Agric. For. Meteorol.**, v. 119, p. 181-194, 2003.

WEISS, M.; BARET, F.; SMITH, G. J.; JONCKHEERE, I.; COPPIN, P. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, p. 37-53, 2004.

WHITMORE, T. C.; BROWN, N. D.; SWAINE, M. D.; KENNEDY, D.; GOODWIN-BAILEY, G. I.; GONG, W. K. Use of hemispherical photographs in forest ecology: measurement of gap size and radiation totals in a Bornean tropical rainforest. **J. Tropical. Ecol.**, v. 9, p. 131-151, 1993.

WILLIAMS, M. S.; PATTERSON, P. L.; MOWRER, H. T. Comparison of Ground Sampling Methods for Estimating Canopy Cover. **Forest Science**, v. 49, p. 235-246, 2003.

WIRTH, R.; WEBER, B.; RYEL, R. J. Spatial and temporal variability of canopy structure in a tropical moist forest. **Acta Oecologica**, v. 22, p. 235-244, 2001.
