

## Interferência do método de aquisição e processamento de fotos hemisféricas na determinação do Índice de Área Foliar: um estudo preliminar

Daniel Augusto da Silva<sup>1</sup>  
Alexander Christian Vibrans<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Regional de Blumenau, Rua São Paulo, 3250, 89030-000 Blumenau, Santa Catarina, Brasil. daniel.florestal@live.com / acv@furb.br

**Abstract.** The leaf area index (LAI) is an important parameter in the forest and interferes in various ecosystem processes. It's determination via hemispherical photography are cheap, operationally simple and reliable when the correct methods are applied. The LAI is obtained by the inversion of the gap fraction viewed in different zenith angles from a single point. The setting of the camera determines the level of contrast between the canopy and the sky and, thus, affect the capacity of the software to correct discern these two classes in the later classification step. Also, the utilization of automatic thresholding or supervised classification interferes greatly in the precision and replicability of the study. Three settings in the camera were tested, one automatic and two manual, and the two methods of classification, automatic and supervised. The study was run in a fragment of secondary Atlantic Forest in Santa Catarina, where 15 experimental points were randomly defined, in each point 3 photos were taken, one in each camera setting. After, the LAI were determined in two separate software, using automatic and supervised classification of the photos. There were a systematic underestimation of the LAI using the automatic setting of the camera, but the two manual setting returned similar results. The supervised classification overestimated the LAI in all camera settings. Based on these preliminary results, are recommended the utilization of manual mode for the photo acquisition and automatic threshold for the classification step. Further studies are needed to determine a better protocol for the photo acquisition.

**Palavras-chave:** leaf area index, exposure, canopy, camera settings, thresholding, índice de área foliar, exposição, dossel, configuração da câmera, classificação.

## Introdução

O índice de área foliar (IAF) é um importante parâmetro do dossel da floresta que interfere em vários processos ecossistêmicos como, por exemplo, a disponibilidade de luz, a interceptação da chuva e a absorção de CO<sub>2</sub> (Mussche et al. 2001; Demarty et al. 2007; Schleppi et al. 2007). Sua determinação pode ser feita de diferentes maneiras, seja por métodos diretos (destrutivos) ou por sensoriamento remoto, com instrumentos aerotransportados ou terrestres. Uma das formas mais simples e baratas de se determinar o IAF em nível local é através de fotografias hemisféricas obtidas abaixo do dossel da floresta.

O IAF é determinado a partir da inversão da fração de abertura do dossel (GAD, *gap fraction* em inglês) obtida em diversos ângulos zenitais vistos de um único ponto (Chen e Black, 1991). A diferenciação precisa entre céu e planta é fundamental para a determinação correta do IAF. Dois fatores têm influência direta sobre a precisão desta diferenciação: a) a configuração de exposição da câmera (determinada pela abertura do diafragma e pelo tempo de abertura do obturador) e b) a metodologia de classificação (automática ou manual/supervisionada). Enquanto a classificação automática é consenso entre pesquisadores da área, pois retira o erro do operador da equação, tornando os estudos mais replicáveis; a configuração da câmera foi e continua a ser uma fonte de erro importante nos estudos sobre a estrutura do dossel da floresta com base em fotos hemisféricas (Chen et e Black, 1991; MacFarlane et al. 2000; Mussche et al. 2001, Zhang et al. 2005).

Procurando solucionar o problema da configuração ideal da câmera, alguns estudos apontam diferentes soluções. Por exemplo, Zhang et al. (2005) sugeriram que a sobre-exposição entre um e três “cliques” em relação à exposição ideal aferida em área aberta produz estimativas adequadas do IAF. Já Schleppi et al. (2007) apontam o caminho oposto e sugerem a subexposição de um a três “cliques” em relação à exposição ideal dentro da floresta para alcançar melhores estimativas. Ambas as metodologias visam manter o maior nível de contraste possível entre céu e planta sem que a luz que entra pelas aberturas do dossel “invada” os pixels correspondentes à plantas, causando o efeito conhecido como *blooming*. Se aplicadas sob as mesmas condições de luminosidade, estas metodologias resultam em valores semelhantes de exposição. Neste estudo testaremos a metodologia sugerida por Zhang et al. (2005) em comparação ao modo de disparo automático em uma floresta tropical.

Com base no exposto, este trabalho tem por objetivo testar a interferência do modo de disparo (automático ou manual) e de processamento (classificação automática ou supervisionada) de fotos hemisféricas na determinação do IAF de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa secundária na região do Vale do Itajaí em Santa Catarina. Este estudo servirá como ponto de partida na elaboração do protocolo de campo e laboratório para o processamento das fotografias hemisféricas coletadas no Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC).

## Metodologia

A aquisição das fotos hemisféricas foi realizada em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa secundária, na região do Vale do Itajaí em Santa Catarina. Na área de estudo foram instalados 15 pontos amostrais com espaçamento mínimo de 10 metros entre si determinados aleatoriamente. Em cada ponto amostral foram tiradas três fotografias consecutivas, uma no modo automático da câmera (AT) e outras duas no modo manual, alterando o tempo de abertura do obturador (M1 e M2), caracterizando os três tratamentos testados. Para a obtenção das fotografias a câmera foi montada em um tripé e nivelada com um nível de bolha, a lente foi posicionada a 1,3 m de altura em relação ao solo direcionada com a parte superior para o norte magnético.

Para determinação do tempo de abertura do obturador a ser utilizado para as fotos hemisféricas, primeiro é necessário determinar obtivemos o parâmetro ideal para a

luminosidade local. Com esse objetivo a câmera foi direcionada ao céu em uma área aberta com a abertura do diafragma e ISO fixos ( $f = 5,6$ ; ISO 200) e com a determinação do tempo de abertura do obturador automática. Após a determinação do tempo de abertura ideal em área aberta, a câmera foi alterada para o modo manual e o tempo de abertura utilizado nas fotos hemisféricas foi um (M1) e dois (M2) “cliques” acima do tempo de abertura determinado em ambiente aberto, adaptando a metodologia proposta por Chen e Black (1991) e Zhang et al. (2005). Por exemplo, se a câmera determinou tempo de 1:500 em ambiente aberto, utilizaremos 1:250 e 1:125 nas fotos hemisféricas sob o dossel da floresta, mantendo as demais configurações fixas.

O processamento das imagens foi feito utilizando os softwares *Can-Eye* (CE) e *Hemisfer* (HF), que possuem classificação supervisionada e automática das imagens, respectivamente. No primeiro a classificação entre céu e planta é feita pelo usuário, através de uma paleta de cores extraída da fotografia ou diretamente na imagem, utilizando os três canais de cores RGB. Já no segundo a classificação é realizada através da determinação de um limiar em uma escala de cinza, que pode ser determinado manual ou automaticamente. Para o estudo a determinação do limiar entre céu e planta no software HF foi realizada de acordo com o procedimento desenvolvido por Nobis e Hunziker (2005) utilizando apenas o canal azul das fotos RGB, e a classificação realizada individualmente para cada segmento da fotografia. Um exemplo do ponto amostral 03 pode ser observado na Figura 1, que apresenta as fotografias obtidas com as três configurações da câmera e suas respectivas classificações realizadas pelos softwares CE e HF.

Para as análises utilizamos os valores de IAF “verdadeiro” ( $IAF_t$ ), que é o valor de IAF modelado com o cálculo do índice de agregação foliar (*cumpling index*, em inglês). Em ambos os programas o IAF foi determinado de acordo com Miller (1967) e o índice de agregação foliar determinado de acordo com Lang & Xiang (1986). Optamos por estes algoritmos por conta de estarem presentes em ambos os programas, apesar de haver algoritmos mais modernos e precisos para determinação do  $IAF_t$ . Os resultados das três formas de aquisição de fotos (AT, M1 e M2) foram testados através de ANOVA de um fator com medidas repetidas com nível de significância  $p < 0,05$ . Após a realização da ANOVA, aplicou-se o Teste de Tukey para determinar quais tratamentos diferiram entre si. A influência do programa (CE e HF), e conseqüente modo de classificação utilizado no processamento, foi testada através de teste t pareado, também com nível de significância  $p < 0,05$ .

Neste trabalho não houve coletas de dados reais do IAF (métodos destrutivos), portanto não há como determinar de forma definitiva qual método produziu a melhor estimativa. No entanto, partindo da premissa que fotografias obtidas no modo automático subestimam o IAF, assume-se que as fotografias tomadas o modo manual são melhores representações dos valores reais (ex. Chen e Black, 1991; Zhang et al. 2005; Beckschäfer et al. 2013).

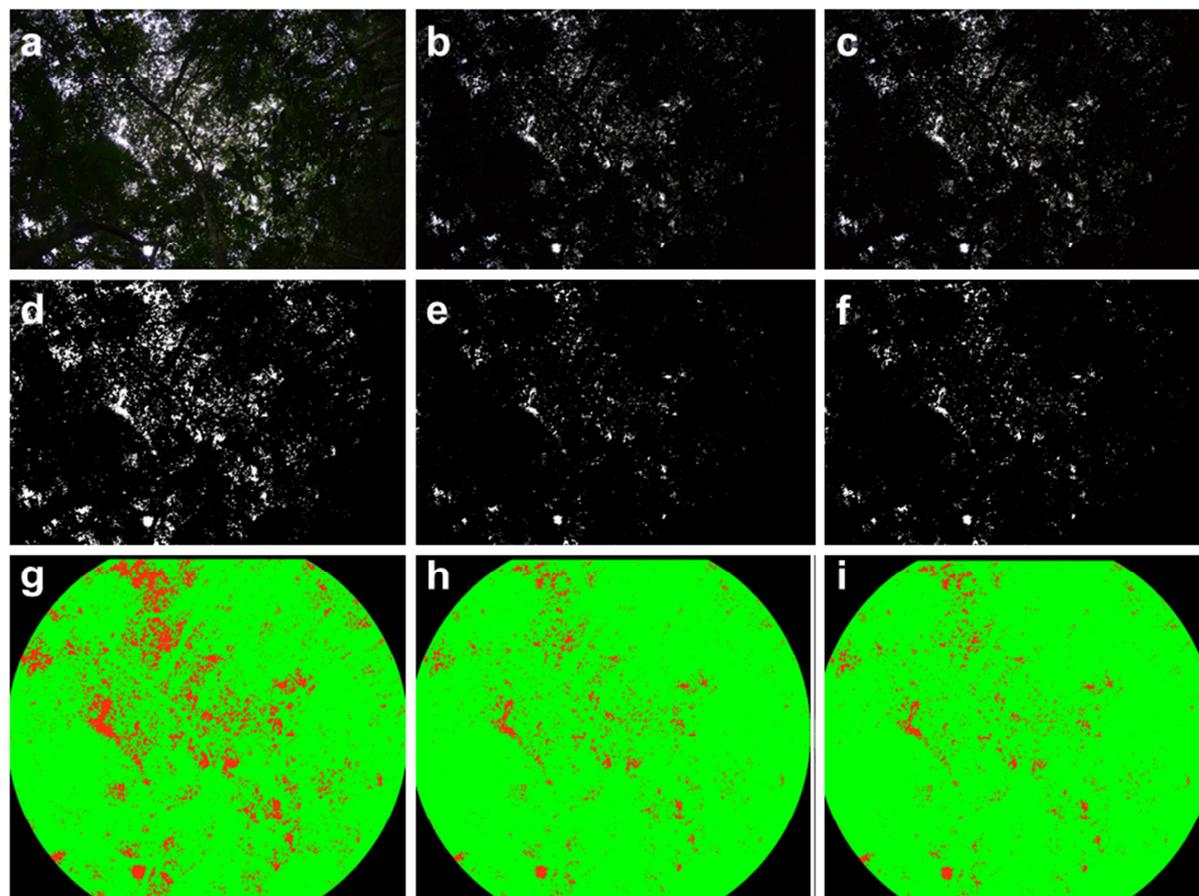


Figura 1 - comparativo entre os três métodos de obtenção de fotografias hemisféricas: (a) AT, (b) M1 e (c) M2; e suas respectivas classificações nos softwares HF (d, e, f) e CE (g, h, I)

## Resultados

As fotos foram adquiridas em um dia com condições ideais, com céu apresentando cobertura de nuvens homogênea. Na mediação realizada em área aberta a câmera determinou o tempo de abertura em 1/800 s, desta forma, mantendo as demais configurações fixas, o M1 teve o tempo de abertura fixado em 1/640 s e o M2 em 1/500 s. As fotos foram obtidas no intervalo de uma hora e meia, entre as 15hrs e 16:30hrs, e ao final da coleta voltou-se a realizar a medição em área aberta, com a câmera determinando o tempo de abertura do obturador em 1/500 s.

Os resultados demonstram que há diferença estatística entre os valores obtidos nos tratamentos AT, M1 e M2 (Figura 2). As fotos obtidas no modo automático apresentaram menores IAF, tanto se utilizando de processamento automático das imagens, quanto supervisionado. Os tratamentos M1 e M2, por outro lado não apresentaram diferenças entre si em nenhum dos casos. Também foi observada diferença estatística entre os valores obtidos pelos diferentes softwares utilizados. O software CE apresentou valores sistematicamente superiores aos valores obtidos pelo software HF.

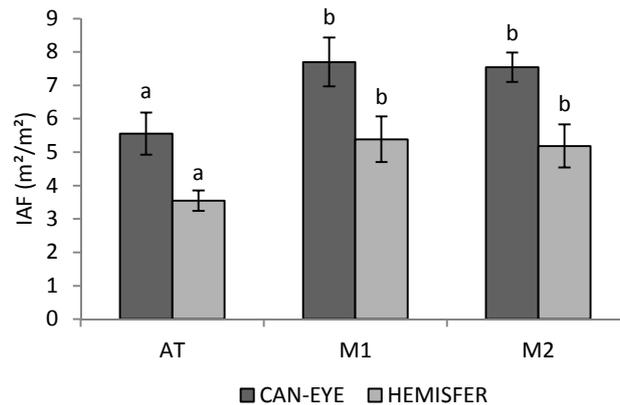


Figura 2 - IAF obtido a partir de diferentes formas de aquisição e processamento de fotos hemisféricas em um fragmento de Floresta Atlântica no Vale do Itajaí em SC. Letras diferentes entre colunas da mesma cor representam diferenças estatísticas segundo Teste de Tukey.

As fotografias obtidas no modo automático retornaram valores de IAF sistematicamente superiores aos valores obtidos nos outros dois modos de operação (Figura 3ab). Em nenhuma das repetições os valores obtidos com a câmera no modo automático foram inferiores, iguais ou próximos aos valores obtidos no modo manual, em ambos os programas. De forma semelhante houve uma notória diferença entre os dois softwares utilizados, com o CE estimando valores sistematicamente superiores em relação ao HF (Figura 3c).

As fotografias tomadas em modo manual processadas pelo software HF apresentaram tendência a aumentar o IAF ao final do experimento (Figura 4). Uma rápida análise de regressão confirmou esta tendência, com a ordem de tomada das fotos apresentando um coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,44$  com  $p < 0,05$  em relação ao IAF obtido. Isso se deve principalmente à diminuição na luminosidade com o avanço da tarde e intensificação da nebulosidade observada em campo, o que diminui o nível de contraste das fotografias e dificulta a classificação por parte do software. O processamento no software CE não sofreu com tal interferência por conta da classificação supervisionada, que pode contornar a dificuldade de classificação em condições adversas.

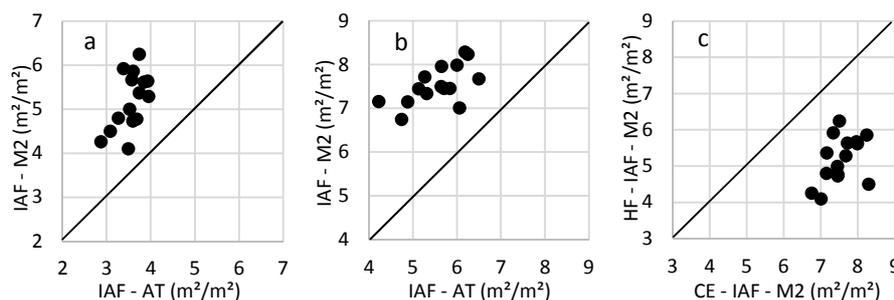


Figura 3 - comparação entre valores obtidos pelo método AT e M2 para os softwares HF (a) e CE (b) e comparação entre os valores obtidos pelo método M2 nos dois softwares (c) em um fragmento de Floresta Atlântica no Vale do Itajaí em SC

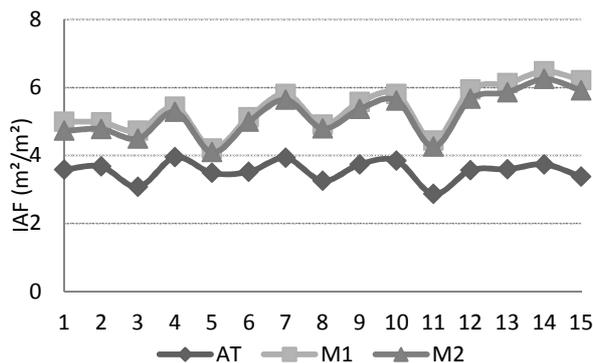


Figura 4 - IAF obtido através de fotografias hemisféricas processadas pelo software *Hemisfer* em um fragmento de Floresta Atlântica no Vale do Itajaí em SC

## Discussão

Como já era esperado, os resultados demonstraram uma clara diferença entre os dois modos de obtenção das fotos hemisféricas. No modo automático a câmera tenta compensar a falta de luz no interior da floresta com um maior tempo de abertura do obturador, ou maior abertura do diafragma, o que tem duas consequências principais: o efeito de *blooming* e o excesso de iluminação na parte superior do dossel. Como já mencionado anteriormente, *blooming* é o efeito do excesso de luz que entra pelas aberturas do dossel que invade pixels adjacentes à abertura, fazendo com que esse seja interpretado como “céu” e não como “planta” pelo programa. O excesso de iluminação na parte superior do dossel, por sua vez, dificulta a determinação do limiar ideal para a classificação automática, pois diminui o nível de contraste entre a fração planta e a fração céu da fotografia. As fotografias tomadas nos modos M1 e M2, por sua vez não apresentaram diferenças estatísticas entre si, porém com os valores do M1 sistematicamente superiores aos do M2. Apesar da diferença constante, ambos os ajustes apresentam resultados muito semelhantes e coerentes entre si.

Comprovou-se que há uma considerável diferença entre os resultados obtidos com o modo manual e com o modo automático, confirmando em florestas tropicais o que já foi observado em outros tipos florestais (ex. Chen e Black 1991; MacFarlane et al. 2000; Thimonier et al. 2007). Assumindo que, em concordância com esses autores, as fotos em modo manual retornam melhores estimativas do IAF, é possível afirmar que fotografias tomadas no modo automático subestimaram de forma substancial o IAF. Apesar da maior facilidade e agilidade de operação da câmera em modo manual, estes resultados corroboram para a não utilização deste modo de operação, dando preferência pela operação em modo manual, aplicando a metodologia M2, reconhecida pela sua maior precisão (Zhang et al. 2005). Por outro lado, essa metodologia também apresenta limitações, por exemplo, a necessidade de haver uma área aberta próxima para que seja realizada a medição da luminosidade fora da floresta. Essa limitação pode ser contornada com a utilização de um *spot meter* (ou *flash meter*), equipamento que realiza a medição da luminosidade em um ponto específico, podendo assim ser direcionado a uma clareira, ou mesmo abertura no dossel para realizar a medição.

A alteração na luminosidade local entre o início e o fim das medições também representa uma limitação da metodologia, que pode exigir diversas calibrações em áreas abertas em dias com grande variação na luminosidade. Neste trabalho não se realizou tal recalibração e por conta disso notou-se um aumento do IAF com o passar do tempo do experimento. A alteração da luminosidade acima de dois “cliques” no setup da câmera, como observada entre o início e fim das medições em campo, faz necessária a recalibração do instrumento ou a adoção de uma técnica mais robusta de determinação do limiar céu/planta, como a metodologia desenvolvida

por Ridler e Calvard (1978) que, por outro lado, é menos precisa que a classificação de Nobis e Hunziker (2005) (Schleppi, comum. pess.).

O modo de classificação das imagens apresentou uma interferência ainda maior no resultado final das análises. CE sistematicamente superestimou o IAF em relação aos valores obtidos no HF, apesar de ambos utilizarem os mesmo algoritmos para a inversão da abertura do dossel em IAF e para o cálculo do índice de agregação. Diferentes fatores podem ter interferido nesse resultado, dentre eles destacam-se a falta de acurácia do operador e o processamento utilizando os três canais de cores (RGB) no software CE. A classificação supervisionada das imagens, além de ser um trabalho maçante, exige muita atenção e concentração do operador, dificultando a manutenção da qualidade da classificação ao longo de varias fotos. Mesmo a classificação de somente uma foto pode se tornar exaustiva quando esta apresenta muita heterogeneidade no dossel, ou no céu, ou ainda muitas aberturas pequenas. Por sua vez, a utilização dos três canais de cores dificulta a identificação de contrastes pelo operador, podendo gerar a interpretação errônea de aberturas em elementos foliares e vice versa, principalmente em maiores ângulos zenitais. A utilização de somente o canal azul poderia tornar esses resultados mais condizentes com os resultados obtidos pela classificação automática (HF), visto que esse canal é tido como o mais adequado para identificar contrastes entre o dossel da floresta e o céu (Gonsamo e Pellikka, 2008).

Apesar das limitações operacionais e de replicabilidade do software CE, este apresenta algumas vantagens no pré-processamento das imagens em relação ao HF. A possibilidade de alterar o *gamma* e de adicionar máscaras nas imagens no próprio software facilitam o processamento das imagens, principalmente em condições não ideais de luminosidade (luminosidade direta, nuvens esparsas, troncos iluminados, etc) comuns nas medições realizados no IFFSC. Por outro lado, HF apresenta algoritmos mais modernos para o processamento das imagens, retornando resultados mais precisos, principalmente em condições ideais de iluminação; não obstante, seu desempenho em condições não ideais ainda precisa ser testado.

## Conclusões

Foram observadas grandes diferenças entre os dois modos de aquisição e processamento das imagens hemisféricas. Com base nesses resultados recomenda-se que sejam utilizados o modo manual de operação da máquina e o software HF para o processamento das imagens. Apesar da superioridade dos resultados, é preciso ficar atento para alterações na luminosidade local para que este método também não apresente erros na estimativa do IAF. A operação automática da câmera e a utilização de classificação supervisionada das imagens devem ser abandonadas em estudos futuros, de forma a garantir melhor precisão e replicabilidade dos experimentos.

As metodologias testadas ainda não possibilitam a determinação de um protocolo ideal para a obtenção das fotos hemisféricas no contexto do IFFSC (estudo multi-propósito, que, portanto, apresenta limitações operacionais e financeiras) e novos testes serão conduzidos para a determinação deste protocolo. Por outro lado, ficam claras as vantagens apresentadas pelo software HF, que pode ser adotado de imediato no processamento das imagens. Estudos futuros envolverão a utilização de metodologia que permite a determinação do tempo de abertura a partir da luminosidade no interior da floresta e também a validação das estimativas das fotos hemisféricas com estimativas obtidas com o equipamento *LAI 2000 plant canopy analyser* (Licor inc.), que é reconhecido por apresentar as melhores estimativas de IAF de modo indireto. Desta forma será possível determinar a metodologia mais adequada para a aquisição e processamento das fotografias hemisféricas dentro do IFFSC.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESC pelo financiamento do projeto IFFSC. O primeiro autor agradece ao Dr. Patrick Schleppi pela ajuda com o processamento das fotos no software Hemisfer.

## Referências

BECKSCHÄFER, P. et al. On the exposure of hemispherical photographs in forests. **Iforest - Biogeosciences And Forestry**, v. 6, n. 4, p.228-237, 2013.

CHEN, J M; A BLACK, T. Measuring leaf area index of plant canopies with branch architecture. **Agricultural And Forest Meteorology**, v. 57, n. 1, p.1-12, 1991.

DEMARTY, J. et al. Assimilation of global MODIS leaf area index retrievals within a terrestrial biosphere model. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 15, p.1-6, 2007.

GONSAMO, A.; PELLIKKA, P. Methodology comparison for slope correction in canopy leaf area index estimation using hemispherical photography. **Forest Ecology And Management**, v. 256, n. 4, p.749-759, 2008.

MACFARLANE, C. et al. Photographic exposure affects indirect estimation of leaf area in plantations of Eucalyptus globulus Labill. **Agricultural And Forest Meteorology**, v. 100, n. 2-3, p.155-168, 2000.

MUSSCHE, S. et al. A Comparison of Optical and Direct Methods for Monitoring the Seasonal Dynamics of Leaf Area Index in Deciduous Forests. **Silva Fennica**, v. 35, n. 4, p.373-384, 2001.

NOBIS, M.; HUNZIKER, U. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. **Agricultural And Forest Meteorology**, v. 128, n. 3-4, p.243-250, 2005.

RIDLER, T. W.; CALVARD, S. Picture Thresholding Using an Iterative Selection Method. **Ieee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics**, v. 8, n. 8, p.630-632, 1978.

SCHLEPPI, P. et al. Correcting non-linearity and slope effects in the estimation of the leaf area index of forests from hemispherical photographs. **Agricultural And Forest Meteorology**, v. 144, n. 3-4, p.236-242, 2007.

THIMONIER, A.; SEDIVY, I.; SCHLEPPI, P. Estimating leaf area index in different types of mature forest stands in Switzerland: a comparison of methods. **European Journal Of Forest Research**, v. 129, n. 4, p.543-562, 2010.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J. R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural And Forest Meteorology**, v. 133, n. 1-4, p.166-181, 2005.