

**Análise da relação entre a estrutura do dossel a partir de fotografias hemisféricas e dados dendrométricos de inventário florestal, conduzido em um povoamento de *Eucalyptus grandis***

Carlos Augusto Zangrando Toneli<sup>1</sup>  
Suzana Rodrigues Vieira<sup>1</sup>  
Antonio Carlos Ferraz Filho<sup>1</sup>  
Alan de Brito<sup>1</sup>  
Emanuel Jose Gomes de Araujo<sup>1</sup>  
Gustavo Salgado Martins<sup>1</sup>  
Emilio Manabu Higashikawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras - UFLA/LEMAF  
Caixa Postal 37 - 37200-000 - Lavras - MG, Brasil  
gutoufla@hotmail.com  
suzana\_floresta@yahoo.com.br

**Abstract.** The present study aimed to analyze the canopy structure using hemispherical photographs and identify possible correlations between the dendrometric variables sampled at a 12 year old *Eucalyptus grandis* population. The method of processing utilized to infer in the canopy biophysics parameters derives from the gap's geometric optic principle projected in the image and the light aspect intercepted by the canopy (e.g., sky and no sky class). The canopy's biophysics parameters presented good correlation with the dendrometrics variables, such as, Canopy Structure and Transmitted Gap Light, with the basal area and volume. Thus, the canopy's biophysics parameters can be used in inventory procedures, leading to better knowledge of the vegetation's patterns.

**Palavras-chave:** canopy structure, hemispherical photograph, *Eucalyptus grandis*, dendrometrics analysis, de dossel, fotografia hemisférica, *Eucalyptus grandis*, análises dendrométricas.

## 1. Introdução

Em se tratando de manejo florestal, uma das variáveis dendrométricas de grande importância é a área de copa. Daudet (1993) considera a fotossíntese no dossel sendo um passo determinante no processo da formação da copa, controlado pela planta e fatores ambientais. A fração de clareira é considerada como a variável chave que governa a penetração de luz no dossel. A avaliação direta ou indireta é crítica quando estão sendo registradas as frações absorvidas, refletidas, e ou transmitidas no dossel, Baret et al. (1993).

Quando ocorre o fechamento do dossel, folhas das partes mais baixas da copa são suprimidas, reduzindo a área fotossinteticamente ativa. Esta redução da luz influencia na assimilação e balanço de carbono, levando a chamada poda natural. Esta resposta fisiológica em relação ao nível de sombreamento varia entre as espécies de um mesmo gênero.

Área foliar é um tipo de medida amplamente utilizada para quantificar o dossel. Foi inicialmente proposta por Watson (1947) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo em m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. O índice de área foliar em florestas plantadas por *Eucalyptus* sp. variam de 2 a 9, com valores típicos entre 3 a 6, Montagu et al. (2003).

Diferentes métodos para mensuração da área foliar foram propostos e intensamente revistos, desde o começo do século XX. No entanto, estes foram gradualmente selecionados pelos usuários e somente alguns são utilizados na prática, Sinoquet et al. (1993).

De forma a simplificar a dinâmica no dossel, a radiação incidente pode ser esquematizada como o aspecto luminoso, este podendo encontrar elementos da vegetação em qualquer nível de sobreposição ou encontrar a superfície do solo. Após a interceptação, parte do aspecto luminoso é refletida, absorvida e/ou transmitida.

Para designar a modelagem, a complexidade do processo pode ser resumida em três pontos: i interceptação da radiação, ii espalhamento da radiação interceptada nos elementos da vegetação e da superfície da terra, iii integração dos processos elementares de maneira a obter o balanço da radiação, Sinoquet et al. (1993).

Fotografia hemisférica é uma das ferramentas que pode ser utilizada para medição da interceptação do aspecto luminoso sob o dossel. Muito da fundamentação teórica da fotografia hemisférica foi desenvolvido por Anderson et al., (1964, 1974), em grande parte utilizando análise manual de fotografia. Desde então, tem se analisado o uso computacional para as fotografias hemisféricas, aliadas às técnicas de mensuração da luz no ambiente.

Algumas das limitações deste método são esclarecidas por Weiss, (2003): a demasiada simplificação da forma da folha, a dificuldade de ajustar a variação dos ângulos entre folhas, galhos e frutos em relação a radiação incidente levam a uma perda na precisão comparados a métodos diretos. Por outro lado, todos os métodos diretos de mensuração são tediosos, difíceis e demorados quando se deseja medir grandes áreas.

Desta forma, a fotografia hemisférica é utilizada para determinar a geometria e a posição da abertura de dossel a passagem da luz em períodos sazonais, e subsequentemente calcular indiretamente vários parâmetros de luminosidade abaixo do dossel, permitindo inferir sobre as propriedades da do dossel, Roxburgh & Kelly, 1995.

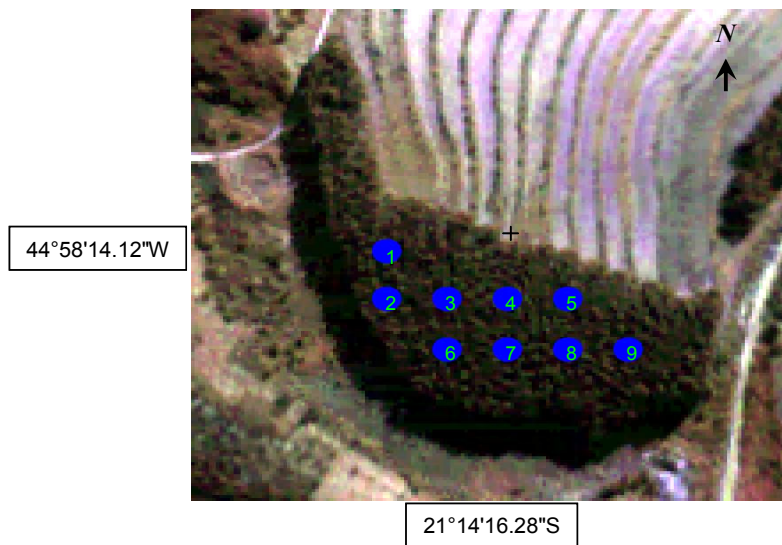
Segundo Jonckheere et al. (2003) dentre todos os sensores utilizados para analisar a medição de frações de clareira, o LAI 2000 Plant Canopy Analyser e fotografias digitais são os mais amplamente utilizados. Algumas vantagens da fotografia hemisférica em relação a outros métodos são o baixo custo e a maior versatilidade do processamentos nas análises proporcionando maior número de variáveis relacionadas ao dossel.

Este trabalho tem como objetivo analisar a estrutura do dossel em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, através do processamento de imagens hemisféricas e dados dendrométricos por inventário de campo. Como objetivo específico analisar as possíveis correlações lineares entre as variáveis da população florestal.

## 2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido em um povoamento de floresta plantada da espécie *Eucalyptus grandis*, aos 12 anos de idade, provindos de mudas por sementes. A área localiza-se no campus da Universidade Federal de Lavras– UFLA, possuindo 3,3 ha. Foram utilizados dados de inventário em primeira instância e fotografias hemisféricas invertidas niveladas pelo zênite.

Inicialmente, foram amostradas 9 parcelas circulares com raio de 10 metros, sistematizadas a 40 metros de distância entre elas (**Figura 1**).



**Figura 1.** Esquema da distribuição das parcelas na área de estudo.

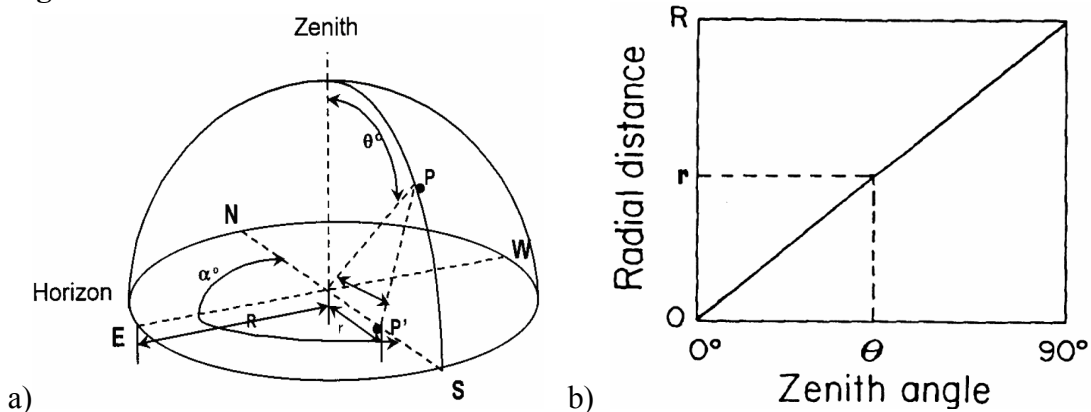
Utilizou-se fita métrica e aparelho de princípios ópticos Blume leiss de modo a captar a variabilidade dos diâmetros a altura do peito (DAP), altura total (Ht) e altura da copa (Hc) das árvores pertencentes às parcelas.

Ao centro das mesmas parcelas foram obtidas fotografias hemisféricas através de uma câmera NIKON CCD gerando imagens de tamanho 1936 x 1296 / 2.5 Megapixel, acoplada por uma lente fisheye NIKOR 8 mm com ângulo de visada de 180° e processadas através do software Gap Light Analyser - GLA versão2 ([www.rem.sfu.ca/forestry/index.htm](http://www.rem.sfu.ca/forestry/index.htm)).

Através dos dados do inventário, pôde-se estimar o número de indivíduos mortos e/ou defeituosos, tocos, área seccional, área basal, altura dominante por método de Assman, e o volume com casca em m<sup>3</sup>, utilizando-se do produto da área basal pela altura media corrigida por um fator de forma empírico de 0,5 para as 9 parcelas do povoamento.

Em relação às fotografias hemisféricas de dossel, foi necessária a calibração de parâmetros utilizados no processamento. Isto envolve a transformação da posição do pixel numa coordenada angular (**figura 2**), a separação da intensidade do pixel em classes de céu e não céu e a computação da distribuição do "brilho do céu".

**Figura 2.**



**Figura 2.** (a) Projeção Polar Hemisférica, onde: P é um ponto no céu hemisférico, P' ponto projetado em imagem circular, de acordo com a transformação geometria da projeção.

(b) Projeção polar: proporção direta entre o ângulo do zênite  $\theta$  e a distancia radial. Fonte: Jonckheere et al., (2003).

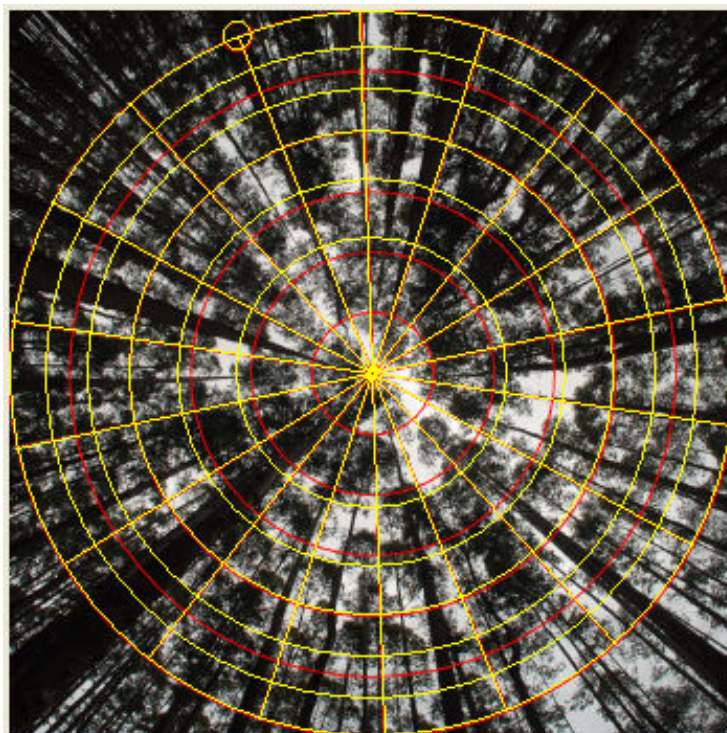
Estes dados foram combinados para produzir as estimativas de transmissão da radiação em períodos sazonais, assim como outras mensurações mais diretamente relacionadas com a de dossel, área foliar e a frequência da radiação, Frazer et al., (1999).

Primeiro passo: foi necessário o registro das fotos digitais para identificar a orientação geográfica e a extensão circular da imagem hemisférica. Para isso é necessária a identificação de dois pontos conhecidos na imagem. O primeiro ponto foi denominado ponto inicial e determina a orientação geográfica da imagem. O segundo ponto foi localizado opondo-se ao azimute (e.g., se o ponto inicial é  $0^\circ$  norte o segundo será  $180^\circ$  sul) e marca a extensão circular da imagem.

Segundo passo: foi necessária a configuração dos arquivos de entrada para os vários modelos que o programa utiliza. Estes arquivos de entrada incluem informações da orientação da imagem, (e.g., lat/lon), distorção da projeção, (e.g., polar), posição local, (e.g., localização geográfica, inclinação do relevo e aspecto de exposição solar), extensão do período sazonal, radiação solar incidente e condições atmosféricas.

Terceiro passo: se necessário, quando a foto não possuir um bom contraste entre a região de céu e não céu, deve-se aproximar o limiar entre os valores de brilho para melhorar a classificação durante a análise da imagem.

Quarto passo: computar o processo de análise e gerar os resultados. (**Figura 3**)



**Figura 3.** Exemplo de imagem hemisférica, ângulos do azimute e do zênite analisados para o cálculo de parâmetros referentes a de dossel.

Após a obtenção das variáveis da estrutura do dossel e dados dendrométricos, utilizou-se a equação abaixo para determinar o coeficiente de correlação linear simples ( $\rho_{x,y}$ ), que explica o quanto uma variável relaciona-se com outra.

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

onde:

Cov é a covariância entre cada par x e y e  $\sigma$  são os desvios de cada par x e y. O valor de  $\rho_{x,y}$  varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1 maior a dependência entre y e x.

### 3. Resultados e Discussão

O inventário de campo provindo das 9 parcelas circulares, apresentou um coeficiente de variação (CV) de 23,87% com erro estimado de volume em torno de 17% a 0,05 de probabilidade. As parcelas do inventário apresentaram erro padrão da média para o volume de 1,2635m<sup>3</sup>. Foram calculadas as variáveis dendrométricas apresentadas pela **tabela 1**.

**Tabela1.** Variáveis dendrométricas do inventario florestal.

Parcelas	N ind.	g média	G	Hd	Hdc	H média	volume m <sup>3</sup>	M;D;T
1	16	0,04625	0,9712	28,25	6,5	23,67	11,49257	3;2;0
2	19	0,04059	1,01476	28,25	6,5	25,1	12,73519	1;1;4
3	23	0,05395	1,5106	31,75	5,75	26,84	20,2723	1;2;2
4	21	0,04256	1,27686	38	6,25	33,59	21,44545	6;1;2
5	11	0,03758	1,1273	37	7,75	32,5	18,31866	7;2;5
6	11	0,03366	0,84152	30,75	7,75	27,77	11,68423	9;1;4
7	12	0,05553	1,22156	34	11,75	31,77	19,40404	7;1;2
8	19	0,05215	1,30369	34,75	6,25	29,86	19,46652	3;2;1
9	21	0,04032	1,00797	32	6,5	28,81	14,51954	2;0;2

**N ind.**, Número de indivíduos na parcela, **g médio** - Área seccional média, **G** - Área basal, **Hd** - Altura dominante, **Hdc** - Altura dominante de copa, **H média** - Altura média, **Volume** - com casca (G\*H média\* 0,5), **M;D;T** - morta, defeituosa e toco.

Os resultados da análise da estrutura do dossel (**Tabela 2**) apresentaram média de área foliar entre as 9 parcelas de 3,10 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> e desvio padrão de 0,24 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Estudo feitos por Xavier (2002), avaliando a variação do índice de área foliar entre 5 clones de *Eucalyptus grandis* ao longo do ciclo de crescimento utilizando LAI 2000 obteve média 2,86 e desvio de 0,47.

**Tabela 2.** Análise da no dossel.

Parcela	Abertura de Dossel	IAF	Trans. Direta	Trans. Difusa	Trans. Total
1	27,1	2,87	41,43	33,93	37,71
2	26,43	2,87	38	35,62	36,82
3	20,8	3,46	35,27	27,07	31,2
4	21,52	3,28	36,16	29,21	32,71
5	23,63	3,34	27,42	29,52	28,46
6	27,41	2,88	44,34	34,54	39,48
7	26,02	3,01	38,42	32,66	35,56
8	23,29	3,32	25,69	27,95	26,81
9	27,41	2,92	45,37	33,49	39,47

**Abertura de Dossel** -%, **IAF** - Índice de Área Foliar m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, **Trans. Direta** - Transmissão direta em %, **Trans. Difusa** - Transmissão difusa em %, **Trans. Total** - Transmissão Total em %.

Após avaliar a estrutura do dossel, através do processamento de imagens hemisféricas, foram geradas as possíveis relações com os dados dendrométricos nas parcelas inventariadas. Tabela 3 e tabela 4.

**Tabela 3.** Análise da correlação entre as variáveis da estrutura do dossel: IAF e Abertura de dossel com dados dendrométricos de inventário de campo.

<b>Pares de variáveis</b>	<b><math>\rho_{x,y}</math></b>	<b>Pares de variáveis</b>	<b><math>\rho_{x,y}</math></b>
IAF, Volume	<u>0,85</u>	Abertura de Dossel, Volume	<u>-0,85</u>
IAF, G	<u>0,85</u>	Abertura de Dossel, G	<u>-0,88</u>
IAF, g	0,38	Abertura de Dossel, g	0,39
IAF, H média	0,5	Abertura de Dossel, H média	-0,43
IAF, Hd	0,68	Abertura de Dossel, Hd	-0,61
IAF, Hdc	-0,24	Abertura de Dossel, Hdc	0,32
IAF, N ind.	0,3	Abertura de Dossel, N ind.	-0,45

**Tabela 4.** Análise da correlação entre as variáveis da no dossel Transmissão Difusa e Transmissão total com dados dendrométricos de inventário de campo.

<b>Pares de variáveis</b>	<b><math>\rho_{x,y}</math></b>	<b>Pares de variáveis</b>	<b><math>\rho_{x,y}</math></b>
Trans. Difusa, Volume	<u>-0,85</u>	Trans. Total, Volume	-0,74
Trans. Difusa, G	<u>-0,87</u>	Trans. Total, G	-0,71
Trans. Difusa, g	-0,47	Trans. Total, g	-0,38
Trans. Difusa, H média	-0,48	Trans. Total, H média	-0,46
Trans. Difusa, Hd	-0,67	Trans. Total, Hd	-0,64
Trans. Difusa, Hdc	0,25	Trans. Total, Hdc	0,15
Trans. Difusa, N ind.	-0,35	Trans. Total, N ind.	-0,11

As correlações mais altas, (0,88 e 0,85) foram encontradas para as variáveis dendrométricas volume com casca ( $m^3$ ) e área basal ( $m^2$ ) com as variáveis: abertura de dossel (%), transmissão difusa (%), e índice de área foliar - IAF ( $m^2/m^2$ )

A análise da correlação entre abertura do dossel e a área basal de -0,88, indica que quanto maior for a abertura do dossel menor a área basal média das plantas.

A correlação 0,85 entre o índice de área foliar - IAF e o volume com casca indicam que 85% dos dados do índice de área foliar podem ser diretamente estimados para determinar o volume com casca, utilizando o mesmo padrão encontrado neste povoamento de *Eucalyptos grandis*.

Amarali (1996) aplicando uma metodologia semelhante, em regeneração em florestas secundárias, obteve coeficiente de determinação  $R^2$  entre índice de área foliar e Área basal de 0,90.

#### 4. Conclusão

Os resultados obtidos indicaram grande potencial das fotografias hemisféricas como ferramenta para analisar a estrutura do dossel e condições físicas micro-climáticas de radiação solar sub-dossel.

Este trabalho mostrou as possíveis correlações entre variáveis provindas de sensores ópticos, como o CCD, acopladas por lentes hemisféricas e variáveis dendrométricos de

*Eucalyptus grandis* coletadas em campo. Com isso, podem-se utilizar os dados da estrutura do dossel juntos aos dados dendrométricos para estimar dados biofísicos, tais como área basal e volume.

As obtenções de dados por fotografias hemisféricas relativas aos períodos sazonais de tempo, podem levar a uma melhor compreensão do comportamento da vegetação em seu ciclo produtivo.

## 5. Referências

Amarali, S.; Soares, J.V.; Alvesi, D. S.; Mello, E. M. K. de.; Almeida, S. A. S.; Silvia, O. F. da.; Silveira, A. M. Relações entre Índice de Área Foliar (LAI), Área Basal e Índice de Vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazônia em Rondônia. In: : Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 1996, Salvador. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 485 - 489.

Anderson, M. C. Studies of the Woodland Light Climate. Cambridge. **Journal of Ecology**, v. 52, n. 3, p. 643 - 663, 1964.

Anderson, M. C.; Miller, E. E. Forest Cover as a Solar Camera: Penumbra Effects in Plant Canopies. Canberra City, **Journal of Applied Ecology**. V. 11, n. 2, p. 691- 697, 1974.

Baret, F.; Andrieu, B.; Folmer, J.C.; Hanocq, J.F.; Sarrouy, C. **Crop Structure and Light Microclimate characterization and applications**. Paris: INRA editions, 1993. 518 p.

Daudet, F.A.; Tchamitchian, M. **Crop Structure and Light Microclimate characterization and applications**. Paris: INRA editions, 1993. 518 p.

Frazer, G. W.; Canham, C. D.; Lertzman, K. P. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation**. New York: Simon Fraser University, Burnaby, B. C., 1999, 36 p.

Jonckheere, I.; Fleck, S.; Nackaerts, K.; Muys, B.; Coppin, P. Methods for leaf area index determination, Part I: techniques and instruments. **Agriculture and Forest Meteorology**. v. 121, n. 2, p. 37-53, 2003

Montagu, K. D.; Kearney, D.E.; Smith, R. G. B. The biology and Silviculture of pruning planted eucalypts for clear wood production - a review. Australia. **Forest Ecology and Management**. v. 179, p. 13, 2003.

Xavier, A. C.; Soares, J. V.; Almeida, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**. v. 26, n. 4, p. 421-427, 2002.

Roxburgh, J. R.; Kelly, D. Short communication uses and limitations of Hemispherical photography for estimating forest light environments. New Zealand. **New Zealand Journal of Ecology**. v. 19, n. 2, p. 213-217, 1995.

Sinoquet, H.; Andrieu, B. **Crop Structure and Light Microclimate characterization and applications**. Paris: INRA editions, 1993. 518 p.

Sinoquet, H.; Varlet-Grancher, C.; Bonhomme, R. **Crop Structure and Light Microclimate characterization and applications**. Paris: INRA editions, 1993. 518 p.

Xavier, A. C.; Soares, J. V.; Almeida, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**. v. 26, n. 4, p. 421-427, 2002.

Watson, D.J. Comparative physiological studies in growth of field crops. I. variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annatomy and Botany**. n. 11, p. 41-76.

Weiss, M.; Baret, F.; Smith, J. G.; Jonckheere, I.; Coppin, P. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination, Part II: estimation of LAI, errors and sampling. **Agriculture and Forest Meteorology**. v. 121, n. 1, p. 37-53, 2003