

## **Avaliação de Índices de Coberto em Pinhal Bravo pela Utilização de Fotografias Hemisféricas. Sua Relação com as Variáveis Dendrométricas**

**José Campos\*, Susana Gomes\*\* e Mário Tavares\*\*\***

\*Engenheiro Florestal

\*\*\*Investigador Principal

Estação Florestal Nacional. Departamento de Silvicultura e Produtos Florestais, Av. da República, Quinta do Marquês, 2780-159 OEIRAS

\*\*Assessor Principal

Circunscrição Florestal do Sul. Núcleo Florestal do Ribatejo, Quinta das Oliveiras, Apartado 59, 2001-906 SANTARÉM

---

**Sumário.** A luz que atinge o solo dos povoamentos florestais encontra-se na dependência da espessura e densidade de folhagem responsável pelo crescimento e produção lenhosa. É, por isso, de esperar que se encontrem relações funcionais entre a sua quantidade e qualidade, e algumas variáveis dendrométricas do pinhal bravo.

Este estudo assentou em 45 parcelas do inventário florestal de 2002 da Mata Nacional de Leiria com densidades entre 160 e 1240 árvores/ha. As fotografias, de 640x480 pixéis, foram efectuadas no centro das parcelas, e analisadas com recurso ao software CI-100 a um *threshold* de 50%. A avaliação dendrométrica das parcelas usou uma variante do *método de Draudt* e o processo de modelação o módulo *Modelos Lineares Generalizados (GLM)* do *Statistica 6*.

Apresentam-se modelos para a estimação das variáveis dendrométricas correntes através da utilização conjunta das variáveis de estrutura do coberto e do número de árvores por hectare. Os modelos têm, na sua maioria, um bom ajustamento aos dados e conseguem explicar a maior parte da variabilidade das variáveis dendrométricas.

A análise do *factor de Wilson* permite constatar que 67% das parcelas estão em situação de pré-desbaste, e 24% estão desequilibradas ou muito desequilibradas por sub-ocupação ou por desajuste entre a sua altura dominante e o número de árvores em pé. Apenas os restantes 9% não reclamam desbaste.

O coberto dos talhões de pinhal bravo, amostrados na Mata Nacional de Leiria em 2002, caracteriza-se por um *índice de área foliar* médio de 0,93, em que as agulhas ocupam cerca de metade da projecção horizontal da abóbada florestal e com cerca de 53% da radiação a atravessar o coberto por transmissão.

**Palavras-chave:** Mata Nacional de Leiria; pinhal bravo; fotografias hemisféricas; área foliar; modelos lineares generalizados

**Maritime Pine Stand Canopy Evaluation by Fish-Eye Imaging System. Its Relationship with the Dendrometric Variables**

**Abstract.** Light that hits forest stands soil depends on the canopy thickness and density, which is responsible for wood growth and production. So, functional relationships between its quantity and quality, and some maritime pine stand dendrometric variables, can be expected.

This study was settled out on 45 plots taken from 2002 Leiria National Forest inventory. Plot densities ranged from 160 to 1240 trees/hectare. The photographs, with 640x480 pixels, were obtained in the centre of each plot, and analyzed by CI-100 on a 50% *threshold*. The plots dendrometric evaluation followed a *Draudt method* variation, while *Generalized Linear Models (GLM)* of *Statistica 6* was used for modeling process.

Significant current dendrometric variables estimation models are presented by the jointly utilization of canopy structure variables and the number of trees per hectare. Most of the models have a good fitting to data and manage to explain the most part of dendrometric variables variability.

The available *Wilson factor* analysis model allows realizing that 67% of the plots are in pre thinning situation and 24% are unbalanced or very unbalanced, because of under occupation or misfit between its dominant height and the number of stand trees. Only the remainders 9% do not require thinning.

The Leiria National Forest maritime pine stand canopy, sampled in 2002, is characterized by a mean *leaf area index* of 0.93, in which the needles occupy about the half of the forestry vault horizontal projection and about 53% of crossing radiation is done by transmission.

**Key words:** Leiria National Forest; maritime pine stand; hemispheric photos; leaf area; Generalized Linear Models

**Évaluation d'Indices du Couvert en Pinède par l'Utilisation de Photographies Hémisphériques. Sa Relation avec les Variables Dendrométriques**

**Résumé.** La lumière atteignant le sol des peuplements forestiers est dépendant de l'épaisseur du feuillage responsable de l'accroissement et de la production ligneuse. Ainsi, il y a tout à espérer de trouver des rapports fonctionnels entre sa quantité et qualité, et quelques variables dendrométriques du bois de pins maritimes.

Cette étude a été faite sur 45 parcelles de l'inventaire forestier de 2002 de la Forêt National de Leiria avec des densités entre 160 et 1240 arbres/hectare. Les photos, à 640x480 pixels, étaient prises au centre des parcelles, et analysées avec le software CI-100 à un *threshold* de 50%. L'évaluation dendrométrique des parcelles a utilisé une variante de la *méthode de Draudt*, et le processus de modélisation le module *Modèles Linéaires Généralisés (GLM)* du *Statistica 6*.

Des modèles d'estimation significative des variables dendrométriques courantes ont été obtenus par l'utilisation conjointe de variables de structure du couvert et du nombre d'arbres par hectare. La majorité des modèles montrent un bon ajustement aux données et sont capables d'expliquer la plupart de la variabilité des variables dendrométriques.

L'analyse du modèle pour le *facteur de Wilson* permet de constater que 67% des parcelles se trouvent en situation de pré éclaircie et 24% sont déséquilibrées ou très déséquilibrées par sous occupation ou par ajustement entre la hauteur dominante et le nombre d'arbres sur pied. Seuls les 9% restants ne réclament pas d'éclaircie.

Le couvert de la pinède de la Forêt Nationale de Leiria, échantillonnée en 2002, est caractérisée par un *indice de surface foliaire* moyen de 0,93, où les aiguilles occupent la moitié de la projection horizontale de la voûte forestière, et près de 53% de la radiation la traverse par transmission.

**Mots clés:** Forêt Nationale de Leiria; bois de pins maritimes; photographies hémisphériques; surface foliaire; Modèles Linéaires Généralisés

---

## Introdução

A quantidade de folhas presente nas copas funciona como factor primordial de controlo sobre a produção primária (fotossíntese), a transpiração, a regeneração florestal e de outros atributos fisiológicos relevantes nos ecossistemas florestais (ASNER *et al.*, 2003; ENGLUND *et al.*, 2000). Assim, será de esperar a ocorrência de relações funcionais significativas entre a quantidade da luz sob coberto e as variáveis dendrométricas do povoamento (JENNINGS *et al.*, 1999; O'HARA *et al.*, 2001).

De entre a multiplicidade de processos disponíveis para a quantificação da luz sob coberto (COMEAU *et al.*, 1998), optámos pela utilização de fotografias hemisféricas digitais. Trata-se do processo mais conveniente para efectuar estudos de dinâmica de coberto (ENGLUND *et al.*, 2000), que é ainda metodologia pouco dispendiosa, expedita e não destrutiva e que possibilita a colecção de uma série de registos permanentes do coberto. Não obstante se trate dum equipamento caro, o seu período de amortização é potencialmente reduzido.

Por ser um processo indirecto baseado na análise da quantidade de luz interceptada, as fotografias hemisféricas padecem de um erro sistemático de sobreavaliação do índice de área foliar. O sistema não faz a distinção entre a luz interceptada pelas folhas e a interceptada pelo tronco e ramos. Contudo, nos casos em que se realizam estas determinações em povoamentos saudáveis caracterizados por um coberto contínuo, sem árvores agrupadas em pequenos maciços, os processos indirectos, como este, permitem a obtenção de resultados

satisfatórios; a quantidade de luz interceptada pelos ramos não é, pois, significativa (FELDKIRCHNER e GOWER, 2001; KUCHARIK *et al.*, 1998).

O índice de área foliar (IAF) é uma medida da quantidade de folhagem presente no coberto e usualmente definida como a área de folhas (m<sup>2</sup>) do coberto por unidade de área de solo (m<sup>2</sup>). Por se tratar dum parâmetro adimensional é frequentemente empregue em estudos de vegetação (MADAKADZE *et al.*, 1998).

Este trabalho tem como propósito avaliar a efectividade da análise de fotografias hemisféricas como ferramenta de auxílio à condução dos povoamentos de pinhal bravo.

## Área de estudo e metodologia

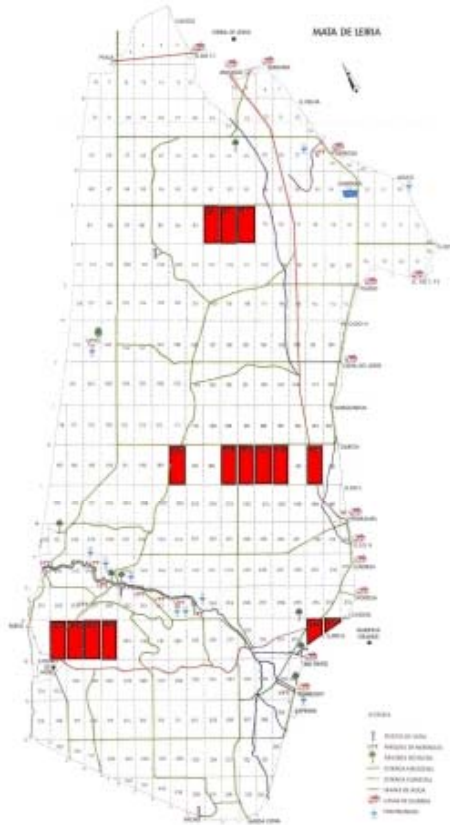
O estudo foi efectuado sobre 45 parcelas do inventário permanente da Mata Nacional de Leiria (MNL), seleccionadas de forma aleatória e equitativamente distribuídas por 15 talhões, inventariadas pelos serviços florestais em 2002 (Figura 1). O levantamento fotográfico foi realizado no final de Julho de 2003.

Das parcelas estudadas, circulares com 500m<sup>2</sup> de área, 67% correspondem a situações de pré-desbaste. Na sua maioria apresentam densidades compreendidas entre 600 e 1000 árvores/ha e altura dominante entre os 12 e os 16m.

### Avaliação dendrométrica

O processo de avaliação dendrométrica, uma modificação do Método de Draudt, consistiu na medição do diâmetro à altura do peito de todas as árvores e na avaliação da altura total apenas das árvores amostra, tendo estas

sendo definidas pelos Serviços Florestais no momento da instalação das parcelas.



**Figura 1** - Talhões estudados da Mata Nacional de Leiria

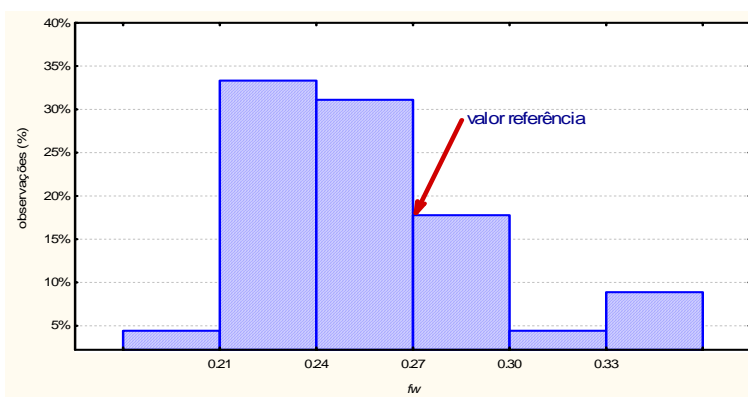
Com recurso a um algoritmo de cálculo desenvolvido em formato Excel® foram calculados o factor de Wilson ( $F_w = \frac{100}{hd\sqrt{N}}$ , em que  $hd$  é a altura

dominante e  $N$  o número de árvores por ha) e as variáveis dendrométricas correntes que se indicam no Quadro 1. A escolha do factor de Wilson ficou a dever-se ao facto de se tratar duma variável de cálculo pouco elaborado e muito utilizada para a definição da intensidade dos desbastes. O valor do factor de Wilson de 0,27 é habitualmente utilizado pelos serviços florestais da MNL para definir o número de árvores a sair em desbaste (Figura 2).

A distribuição de frequências dos valores observados para o *factor de Wilson* é assimétrica negativa (Figura 2). No nosso caso o integral da função de densidade de probabilidade gaussiana entre os limites da média do  $fw \pm 1$  desvio padrão dá origem a um resultado de cerca de 84% sendo a probabilidade associada aos valores inferiores à média de, aproximadamente, 67%.

**Quadro 1** - Variáveis dendrométricas calculadas a partir do inventário

Variável	média	mín.	máx.	desvio padrão
Factor de Wilson ( $fw$ )	0,26	0,20	0,51	0,05
Número de árvores por ha ( $N$ )	711	160	1240	275
Diâmetro médio ( $dg$ ) [cm]	22,1	14,1	39,7	6,5
Área basal ( $G$ ) [m <sup>2</sup> /ha]	23,9	12,7	42,9	6,6
Altura média ( $hg$ ) [m]	14,2	10,4	24,6	3,3
Altura dominante ( $hd$ ) [m]	15,5	11,5	26,1	3,3



**Figura 2** – Distribuição de frequências das observações do *factor de Wilson* nos 15 talhões amostrados na Mata Nacional de Leiria em 2002

### Fotografias digitais

Foi utilizado o sistema de análise de coberto vegetal da *CID, Inc.*, que consiste no uso duma sonda de captura com uma lente de *olho de peixe* acoplada a um computador portátil. A lente é montada na extremidade de uma sonda com cerca de 50cm de comprimento construída numa liga ligeira. A haste da sonda, nivelada e orientada com a direcção norte-sul, foi colocada num tripé, a 1 m do solo. O sistema foi instalado no ponto médio do segmento de recta que une as duas árvores mais próximas do centro de cada parcela.

Evitou-se a incidência directa dos raios solares sobre a lente aquando da colheita das imagens do coberto, que pelo efeito de encandeamento dificultaria o estabelecimento da bordadura da vegetação durante o processo de análise. Os levantamentos fotográficos obtidos sob condições de alguma nebulosidade tendem a torcer esta contrariedade (PEPER e McPHERSON, 2003).

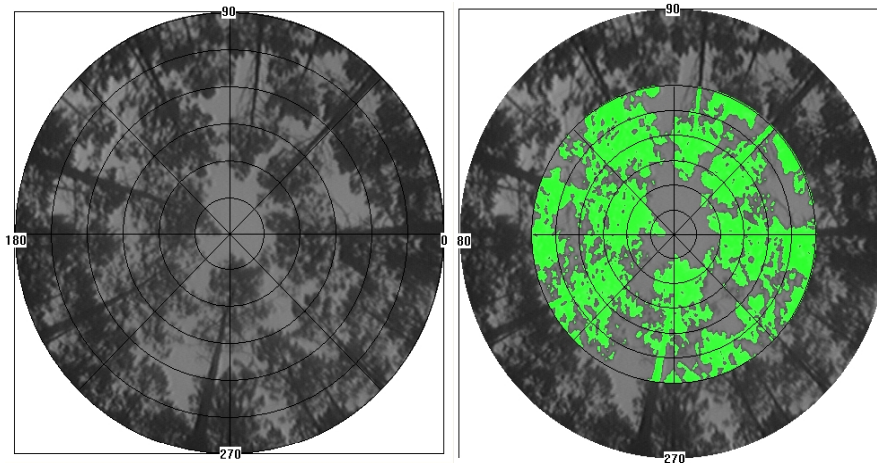
As determinações efectuadas por este equipamento não são influenciadas pela hora a que é realizada a colheita das imagens nem pelas condições

atmosféricas, desde que decorram durante o dia e evitando a incidência directa dos raios solares.

As fotografias (Figura 3), com uma dimensão de 640x480 *píxeis*, apresentam resolução de 199 *dpi* e profundidade de 24 *Bit*; são armazenadas em formato *bmp* e cada uma ocupa cerca de 1 *MB* em disco. Estas imagens digitais não necessitam de nenhum processamento adicional. Há, no entanto, a possibilidade de, *in loco* e em tempo real, proceder ao ajustamento dos seus níveis de brilho e contraste.

### Análise das imagens

As imagens analisadas com recurso ao software de análise de coberto vegetal CI - 100, versão 3.0.1.1 de 2001, foram fraccionadas em 6 regiões zenitais e 8 azimutais, e utilizada uma abertura azimutal máxima de 60°; a calote considerada é frequentemente designada na bibliografia por *LAI 4*. Segundo ENGLUND, *et al.* (2000) a quantidade de radiação que atinge o solo florestal é muito reduzida para ângulos zenitais maiores que 58°.



**Figura 3** – Fotografia hemisférica colhida no centro da parcela 7 do talhão 80 da MNL no formato original e após a aplicação do nível de *threshold* no LAI 4

A análise das imagens foi efectuada com a regulação do filtro de radiação no valor 0,49. Deste modo é possível rejeitar da análise a radiação de comprimento de onda superior a 490 nm, eliminando assim da análise a radiação reflectida e transmitida pela folhagem (FELDKIRCHNER e GOWER, 2001).

Por comparação da fotografia original com a fotografia pós análise (Figura 3), foi determinado um nível de *threshold* de 50 como o valor ideal para a separação das imagens originais em duas cores. No entanto, é possível ao operador a adopção de outros níveis como forma de compensação das diferentes condições de luminosidade. Este parâmetro estabelece o nível de cinzento a incluir na análise.

A análise das imagens permitiu determinar para cada parcela, *in situ* e sem ser necessário efectuar medições adicionais do coberto (<http://www.cid-inc.com/products/ci-110.html>), as seguintes variáveis caracterizadoras das condições de luz do coberto:

- O *Índice de Área Foliar (IAF)*, que é

uma medida da quantidade de folhagem, é definido como a área de folhas ( $m^2$ ) por unidade de solo ( $m^2$ );

- O *Ângulo médio das agulhas (aF)*, uma medida angular entre a perpendicular à superfície da folha e o zénite;

- O *Coefficiente de Transmissão para a Penetração Difusa (TPD)*, ou seja, o grau de penetração da radiação indirecta, definido como o quociente entre a quantidade de radiação indirecta que atinge o solo do coberto analisado e a quantidade de radiação indirecta incidente numa superfície horizontal ou inclinada localizada à superfície da Terra sem qualquer interferência topográfica ou do coberto.

- O *Coefficiente de Transmissão para a Penetração da Radiação (TPR)*, que traduz a fracção de radiação que atravessa, por transmissão, o coberto vegetal.

- O *Coefficiente para a Extinção Luminosa (EL)*, medida da quantidade de luz extinta quando nos deslocamos, num plano vertical, entre a camada superior

do coberto e o solo.

•O *Coefficiente para a Distribuição das agulhas (DA)*, fracção de píxeis classificados como folhagem em determinada região da imagem.

•O *Coefficiente para a Radiação Fotossinteticamente Activa (RFA)*, que mede a fracção de radiação fotossinteticamente activa a chegar ao solo. Este coeficiente pode variar entre o valor 0, nas situações em que toda a radiação é interceptada, e 115, quando não há intercepção alguma.

#### Análise Estatística

Os dados utilizados neste trabalho não respeitam os pressupostos de normalidade e de homoscedasticidade necessários à aplicação de estatísticas paramétricas. Deste modo, privilegiámos a aplicação de modelos lineares múltiplos generalizados. Os modelos foram estabelecidos considerando que os dados se distribuem segundo a distribuição *gamma* e utilizando o logaritmo de base natural como função de ligação, de acordo com a expressão geral:

$$Y = e^{(b_0 + b_1 \cdot N + b_2 \cdot IAF + b_3 \cdot aF + b_4 \cdot TPD + b_5 \cdot TPR + b_6 \cdot EL + b_7 \cdot DA + b_8 \cdot RFA)} + \varepsilon$$

em que os  $b_i$  representam os coeficientes associados a cada uma das variáveis explanatórias do modelo e o  $\varepsilon$  o erro amostral.

Utilizámos o número de árvores por hectare como variável explanatória dos modelos estabelecidos para as restantes variáveis dendrométricas, pois sendo uma variável de cálculo muito expedito contribui de forma significativa para a melhoria da qualidade dos ajustamentos.

Numa primeira abordagem e para cada uma das variáveis dendrométricas

consideradas, foi realizada uma série de análises em que se testaram todos os agrupamentos possíveis de estabelecer com o conjunto das variáveis de coberto e o número de árvores por hectare. A selecção do melhor grupo, por variável dendrométrica, foi efectuada pelo *critério de informação de Akaike (CIA)*, tendo sido seleccionado para cada variável dendrométrica o modelo que apresentou o menor valor de CIA (NGO e BRAND, 1997).

$$CIA = 2 \cdot \ln(\text{Máxima Verosimilhança}) + 2 \cdot k$$

em que  $k$  corresponde ao número de parâmetros do modelo independentemente ajustados.

Para a avaliação da qualidade de ajustamento dos modelos, foi utilizado o resíduo médio ( $RM$ ), a eficiência do modelo ( $EM$ ), e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ) de acordo com o formulário seguinte:

$$RM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)$$

$$EM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2}$$

$$R^2_{ajust} = EM \cdot \frac{n-1}{n-p} - \frac{p-1}{n-p}$$

A estatística do *teste de Wald*, conjuntamente com o nível de significância ( $p$ ), foram utilizados para a avaliação da significância das variáveis explanatórias dos modelos (HARRELL, 2001).

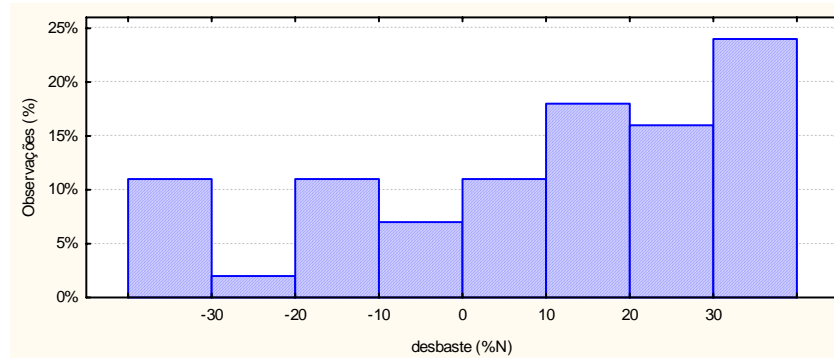
#### Resultados e discussão

Através da análise do *factor de Wilson* e das necessidades de desbaste, considerando o valor de 0,27 de  $fw$  como

referência, foi possível constatar que 9% das parcelas correspondem a situações em que não é necessário qualquer desbaste e que em 24% das parcelas é necessário desbastar com alguma urgência, pois correspondem a situações com 30%, ou mais, de árvores acima do recomendado. Em cerca de 23% das parcelas as existências são demasiado reduzidas e correspondem a locais em que o pinhal apresenta alguns problemas de crescimento (Figura 4).

As diferenças entre locais no que diz respeito aos índices de estrutura considerados são reduzidas, apesar das diferenças que se verificam ao nível do  $fw$  (Quadro 2).

Embora se utilizem fotografias hemisféricas no cálculo de índices de radiação solar sob-coberto desde meados da década de 60 (ANDERSON, 1964), e no cálculo de índices de área foliar desde o início da década de 70 (BONHOMME *et al.*, 1974), esta metodologia acabou por ser preterida em favor dos analisadores automáticos de coberto devido à morosidade e complexidade dos cálculos envolvidos. No entanto, o avanço nas capacidades de computação e o aparecimento e desenvolvimento das fotografias digitais, têm sido responsáveis pela reutilização de fotografias hemisféricas em estudos de estrutura de coberto de comunidades vegetais (BRÉDA, 2003).



**Figura 4** – Árvores a sair em desbaste (%N) calculadas para um  $fw$  de 0,27

**Quadro 2** – Distribuição de frequências para *factor de Wilson* ( $fw$ ) e resumo estatístico para os principais índices de coberto associados

Intervalo	n	f (%)	IAF	TPD	TPR	DA	RFA
$fw \leq 0,27$	31	69	0,90	0,39	0,55	0,49	52
$0,27 < fw \leq 0,30$	8	18	1,00	0,39	0,53	0,49	54
$0,30 < fw$	6	13	0,98	0,41	0,53	0,46	52
média			0,93	0,40	0,53	0,49	52
mínimo			0,57	0,25	0,36	0,35	38
máximo			1,59	0,50	0,68	0,68	63
desvio padrão			0,23	0,05	0,07	0,06	6,6



O reduzido número de valores apresentados na bibliografia para o *IAF*, não são isentos de alguma controvérsia e quase nunca dizem respeito a resultados obtidos através de procedimentos comparáveis ao que utilizámos. BEYMER (2001), porém, apresenta o valor de 0,79 para o *IAF* de povoamentos de *Pinus strobus* L. no estado Norte-americano do Ohio com cerca de 20 anos de idade. Estes valores são, de certo modo, semelhantes aos encontrados por nós na *MNL* (Quadro 2).

A selecção das variáveis explanatórias para o modelo de cada variável dendrométrica foi efectuada de acordo com o valor do *critério de informação de Akaike* e do respectivo nível de significância.

As tabelas com a análise de todas as possíveis combinações de variáveis explanatórias para os modelos foram omitidas devido ao elevado número de modelos estudados; este não seria o objectivo do trabalho, pois pretendemos averiguar a eficácia apenas dos modelos mais adequados. O melhor conjunto para cada modelo é apresentado no Quadro 3. Salienta-se o facto de a fracção de radiação que atravessa, por transmissão, o coberto vegetal (*TPR*) e a fracção de

píxeis classificados como folhagem (*DA*) não terem sido seleccionados para nenhum dos modelos.

De seguida, foram ensaiados vários modelos lineares múltiplos generalizados, utilizando para cada variável dendrométrica as variáveis explanatórias seleccionadas. O Quadro 4 apresenta, para cada variável dendrométrica, o melhor modelo testado, as variáveis independentes seleccionadas e os seus coeficientes, erros padrão e respectivos níveis de significância.

Constatou-se pelos resultados apresentados no Quadro 4 que o número de árvores por hectare é a variável dendrométrica com maior significância em todos os modelos em que foi seleccionada como variável explanatória. As variáveis dendrométricas modeladas são inversamente proporcionais ao número de árvores por hectare, o que está de acordo com o que se passa nos nossos povoamentos de pinheiro bravo, isto é, povoamentos mais evoluídos apresentam valores superiores para qualquer uma das variáveis dendrométricas consideradas, com excepção do número de árvores por hectare.

**Quadro 3** – Variáveis explanatórias seleccionadas por modelo e valor para o *critério de informação de Akaike*

Var.	var. 1	var. 2	var.3	var.4	var.5	<i>CIA</i>	<i>p</i>
<i>fw</i>	<i>N</i>	<i>IAF</i>	<i>aF</i>	<i>TPD</i>		-171,7	0,000
<i>dg</i>	<i>N</i>	<i>aF</i>	<i>TPD</i>	<i>EL</i>	<i>RFA</i>	207,8	0,000
<i>hg</i>	<i>N</i>	<i>IAF</i>	<i>aF</i>	<i>TPD</i>	<i>EL</i>	180,7	0,000
<i>G</i>	<i>aF</i>	<i>TPD</i>	<i>EL</i>	<i>RFA</i>		279,8	0,000
<i>hd</i>	<i>N</i>	<i>IAF</i>	<i>aF</i>	<i>TPD</i>	<i>EL</i>	187,7	0,000

**Quadro 4** – Resumo estatístico dos modelos seleccionados

Modelo	Efeito	$\beta$	erro padrão	Wald	<i>p</i>
<i>fw</i>	Intercepção	-3,16191	0,58668	29,04711	0,00000
	<i>N</i>	-0,00034	0,00007	22,25749	0,00000
	<i>IAF</i>	0,76350	0,28025	7,42217	0,00644
	<i>aF</i>	-0,00475	0,00191	6,19876	0,01278
	<i>TPD</i>	3,93858	1,01828	14,96055	0,00011
<i>dg</i>	Intercepção	-4,29149	2,34787	3,34095	0,06758
	<i>N</i>	-0,00090	0,00006	194,78187	0,00000
	<i>aF</i>	0,05582	0,01616	11,93746	0,00055
	<i>TPD</i>	-0,93712	0,35043	7,15117	0,00749
	<i>EL</i>	7,69973	2,22297	11,99734	0,00053
	<i>RFA</i>	0,00573	0,00276	4,30581	0,03798
<i>hg</i>	Intercepção	-0,66268	2,48284	0,07124	0,78954
	<i>N</i>	-0,00056	0,00007	70,24276	0,00000
	<i>IAF</i>	-0,64457	0,25652	6,31373	0,01198
	<i>aF</i>	0,04251	0,01637	6,74448	0,00940
	<i>TPD</i>	-3,55174	0,93696	14,36955	0,00015
	<i>EL</i>	5,26700	2,26079	5,42756	0,01982
<i>G</i>	Intercepção	-7,85777	4,26541	3,39373	0,06544
	<i>aF</i>	0,07808	0,02940	7,05083	0,00792
	<i>TPD</i>	-2,03774	0,68311	8,89842	0,00285
	<i>EL</i>	10,53326	4,04129	6,79338	0,00915
	<i>RFA</i>	0,01375	0,00477	8,30250	0,00396
<i>hd</i>	Intercepção	0,34572	2,44992	0,01991	0,88778
	<i>N</i>	-0,00052	0,00007	60,80887	0,00000
	<i>IAF</i>	-0,55621	0,25312	4,82857	0,02799
	<i>aF</i>	0,03328	0,01615	4,24515	0,03936
	<i>TPD</i>	-3,03399	0,92453	10,76917	0,00103
	<i>EL</i>	4,12545	2,23082	3,41991	0,06441

O índice que traduz a medida angular entre a perpendicular à superfície da folha e o zénite (*aF*) e o coeficiente de Transmissão para a Penetração Difusa (*TPD*) foram seleccionados para todos os modelos. Curiosamente, estes dois

índices têm um efeito oposto na variação das variáveis dendrométricas estimadas; o aumento do ângulo médio das agulhas é sinónimo de povoamentos mais evoluídos, verificando-se, nestas situações, uma diminuição do grau de

penetração da radiação indirecta.

No caso do modelo para a *área basal*, as variáveis seleccionadas apresentam todas elas valores reduzidos para a estatística de *Wald* o que, sendo sinónimo de reduzida relevância das variáveis no modelo, é prenúncio de um ajustamento de menor qualidade.

Os valores obtidos nos testes de significância demonstram que os modelos são significantes e indicam uma capacidade de predição satisfatória. O modelo para o diâmetro médio consegue explicar 83,2% da variação em torno da média (Quadro 5).

**Quadro 5** - Qualidade do ajustamento de cada modelo

Modelo	RM	EM	R <sup>2</sup> Ajustado
<i>fw</i>	0,000	0,518	0,470
<i>dg</i>	0,018	0,851	0,832
<i>hg</i>	0,013	0,689	0,649
<i>G</i>	0,012	0,350	0,285
<i>hd</i>	0,010	0,647	0,602

Testámos ainda a estimativa do *factor de Wilson* e da *área basal* por via das variáveis dendrométricas que lhes servem de cálculo. Deste modo, no caso do *factor de Wilson* a utilização da altura dominante estimada e do número de árvores por hectare observadas conduziu-nos a melhores aproximações aos valores observados do *factor de Wilson* (RM = 0,004; EM = 0,669;  $R^2_{ajust} = 0,626$ ); analogamente, no caso da *área basal* por hectare a sua predição pelo diâmetro médio estimado e pelo número de árvores por hectare gera também melhores resultados quando comparados com os obtidos pelo modelo directo (RM = 0,251; EM = 0,411;  $R^2_{ajust} = 0,335$ ).

## Conclusões

Os índices de estrutura do coberto têm desempenhado um papel chave na explicação do funcionamento e produtividade florestais. A utilização destes em conjunto com o número de árvores por hectare conduz a boas estimativas das variáveis dendrométricas correntes.

É possível chegar a melhores aproximações da *área basal* por hectare e do *factor de Wilson* a partir do diâmetro médio estimado, da altura dominante estimada e do número de árvores por hectare.

Em trabalhos futuros e com recurso a uma amostra de maior dimensão pensamos alargar o estudo à análise de regressão não linear e aos modelos de efeitos mistos, pois os resultados preliminares obtidos neste estudo indicam que os valores apresentados pelas variáveis dendrométricas de povoamentos de pinheiro bravo se apresentam relacionadas com as variáveis de estrutura do coberto.

As parcelas estudadas apresentaram um índice de área foliar médio de 0,93, correspondente a uma estrutura de coberto em que cerca de 50% da abóbada florestal é constituída por folhagem e em que cerca de 53% da radiação atravessa o coberto por transmissão.

## Agradecimentos

Este estudo foi efectuado como tarefa do projecto PARLE D - *Promoção da gestão integrada e do combate a doenças do pinhal bravo*, Linha de trabalho *Crescimento, condução e valorização de bens dos pinhais*, e foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Os autores agradecem também todo o apoio e

facilidades concedidas pelos *Serviços Florestais* que administram a Mata Nacional de Leiria.

### Bibliografia

- ANDERSON, M.C., 1964. Studies of the woodland light climate. I. The photographic computation of light conditions. *Journal of Ecology* **52** : 27-41.
- ASNER, G.P., SCURLOCK, J.M., HICKE, J.A., 2003. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology & Biogeography* **12** : 191-205.
- BEYMER, B.A., 2001. Rainfall Interception Analysis of a Hardwood and Pine Forest. *Journal of Undergraduate Study and Independent Research* **1** : 33-36.
- BONHOMME, R., VARLET-GRANCHER, C., CHARTIER, M., 1974. The use of hemispherical photographs for determining the leaf area index of young crops. *Photosynthetica* **8** : 299-301.
- BRÉDA, N.J., 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* **54** : 2403-2417.
- COMEAU, P.G., GENDRON, F., LETCHFORD, T., 1998. A comparison of several methods for estimating light under a paper birch mixed wood stand. *Can. J. For. Res.* **28** : 1843-1850.
- ENGLUND, S.R., O'BRIEN, J.J., CLARK, D.B., 2000. Evaluation of digital and film hemispherical photography and spherical densitometry for measuring forest light environments. *Can. J. For. Res.* **30** : 1999-2005.
- FELDKIRCHNER, D.C., GOWER, S.T., 2001. Using the Li-Cor LAI-2000 to estimate leaf area index and light transmittance in forest canopies. *Methodology paper series of the 4<sup>th</sup> International Conference on ILTER in East Asia and Pacific Region. Ulaanbaatar-Hatgal. Mongolia.* pp. 12-14.
- HARRELL, F.E., 2001. *Regression Modeling Strategies. With Applications to Linear Models, Logistic Regression, and Survival Analysis.* Springer-Verlag. 568 p
- JENNINGS, S.B., BROWN, N.D., SHEIL, D., 1999. Assessing forest canopies and understory illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry* **72**(1): 59-74.
- KUCHARIK, C.J., NORMAN, J.M., GOWER, S.T., 1998. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* **91**: 61-88.
- MADAKADZE, I.C., COULMAN, B.E., PETERSON, P., STEWART, K.A., SAMSON, R., SMITH, D.L., 1998. Leaf Area Development, Light Interception, and Yield among Switchgrass Populations in a Short-Season Area. *Crop Science* **38** : 827-834.
- NGO, L., BRAND, R., 1997. *Model Selection in Linear Mixed Effects Models Using SAS PROC MIXED. Technical proceedings.* SAS Users Group International. 1335-1340.
- O'HARA, K.L., LÄHDE, E., LAIHO, O., NOROKORPI, Y., SAKSA, T., 2001. Leaf area allocation as a guide to stocking control in multi-aged, mixed-conifer forests in southern Finland. *Forestry* **74**(2): 171-185.
- PEPER, P.J., MCPHERSON, E.G., 2003. Evaluation of four methods for estimating leaf area of isolated trees. *Urban Forestry & Urban Greening* **2**: 019-029
- StatSoft, Inc. 2003. STATISTICA (data analysis software system), version 6.

Entregue para publicação em Março de 2005

Aceite para publicação em Agosto de 2006