

Utilização de fotografia hemisférica na determinação do índice de área foliar de oliveiras jovens (*Olea europaea* L.)

Use of hemispherical photography for plant area index determination in young olive trees (*Olea europaea* L.)

M. P. Simões^{1,2}, C. Pinto-Cruz^{1,2}, A.F. Belo¹, L.F. Ferreira¹, J.P. Neves¹ & M.C. Castro^{2,3}

RESUMO

O índice de área foliar (LAI) é um parâmetro essencial para a caracterização da estrutura das copas e consequentemente para a avaliação da vitalidade das plantas.

Neste estudo compararam-se valores de LAI obtidos através de métodos directos destrutivos e através da análise de fotografia hemisférica, em oliveiras jovens das cultivares 'Galega' e 'Cordovil de Serpa', num olival da região de Moura.

Os valores determinados por fotografia hemisférica subestimaram significativamente ($P < 0,05$) os obtidos pelas medições directas.

Assumindo que os métodos directos estimam o LAI com maior precisão, os valores obtidos destrutivamente foram utilizados como referência para o cálculo de equações de regressão entre os resultados dos métodos indirecto e directo. A partir destas ajustaram-se os valores determinados através da fotografia hemisférica, de forma a permitir a sua aplicação futura para avaliação do LAI em oliveiras jovens.

Os resultados obtidos indicam que o método e o equipamento utilizados podem ser adequados para a determinação do LAI em oliveiras jovens desde que devidamente calibrados.

ABSTRACT

The determination of leaf area index (LAI) is essential in the characterization of the canopy structure and plants vitality evaluation.

In this study destructive measurements of LAI were compared with values obtained by hemispherical photography analysis, of young olive trees cv. Galega and cv. Cordovil de Serpa, in an olive orchard of Moura region.

As the direct method is assumed to be the most correct for estimating LAI, this method served as reference for the performance of the indirect methods. In order to be able to use the indirect methods to determine the LAI in the future, regression equations have been calculated taking into con-

¹ Dep. Biologia, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora; e-mail: mps@uevora.pt;

²Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas (ICAM), Universidade de Évora; ³Dep. Planeamento Biofísico e Paisagístico, Universidade de Évora.

sideration the results of the indirect and the direct methods.

Our results suggest that this procedure is an alternative method suitable to LAI determination in young olive trees after specific calibration.

INTRODUÇÃO

Entre os diferentes factores ambientais que influenciam o crescimento das plantas, o principal é a radiação fotossinteticamente activa (PAR) interceptada pelas copas, visto que constitui a principal fonte de energia para a fotossíntese, determinando a produção de biomassa (Mariscal *et al.*, 2000). A interceptação da luz é condicionada pela estrutura da copa, sendo o índice de área foliar (LAI) um dos parâmetros determinantes (Villalobos *et al.*, 1995; Mussche *et al.*, 2001). Para além da produtividade, o conhecimento do LAI é necessário para muitos estudos fisiológicos e ecológicos, constituindo um importante indicador da vitalidade das árvores, reflectindo-se nas taxas de assimilação e transpiração dos copados (Mussche *et al.*, 2001), nas trocas gasosas e no balanço hídrico, sendo o seu conhecimento indispensável também em estudos fitopatológicos (Jesus *et al.*, 2001) e monitorização de alterações da estrutura da copa ao longo do tempo (Martens *et al.*, 1993; Englund *et al.*, 2000; White *et al.*, 2000). Este parâmetro torna-se ainda mais importante em árvores jovens, que ainda não entraram em produção, visto ser um dos melhores meios para medir a produtividade.

Podem-se considerar duas categorias de métodos para estimar o LAI: métodos directos e indirectos. Os métodos directos, na maioria destrutivos e demorados, implicam a colheita de folhada ou de biomassa (Mussche *et al.*, 2001; Jonckheere *et al.*, 2004). Por isso, embora permitam o estabe-

lecimento de relações alométricas são extremamente difíceis e, por vezes, de impossível execução principalmente em comunidades arbóreas (Villalobos *et al.*, 1995; Nilson & Kuusk, 2004). Em alternativa, os métodos indirectos baseados na estreita relação entre a transmissão da radiação e a estrutura da copa têm vindo a ganhar importância, visto serem mais rápidos e menos laboriosos. Segundo Chen (1996), os métodos ópticos podem mesmo estimar o LAI de modo mais preciso do que os métodos destrutivos.

A análise de “gap fraction” (a fracção de céu visível através da copa) é um dos métodos indirectos mais usados (Campbell & Norman, 1989; Norman & Campbell, 1989). A importância crescente deste método deve-se ao sucesso da sua aplicação em copas tanto de pequenas como de grandes dimensões, assim como ao desenvolvimento de modelos de inversão de “gap fraction”. O princípio básico da análise de “gap fraction” da copa é que a área foliar do copado (ou, mais exactamente, a área de uma das faces de todos os componentes da copa) pode ser inferida através de medições da área dos hiatos da copa. Esta, por sua vez, pode ser estimada através de fotografias da copa, medições da área das manchas de luz no solo ou por estimativa da fracção da radiação directa que atravessa a copa, com recurso a sensores lineares ou hemisféricos (Martens *et al.*, 1993; Roxburgh & Kelly, 1995; Nilson, 1999; van Gardingen *et al.*, 1999; Jesus *et al.*, 2001).

Têm sido efectuados poucos estudos sobre o LAI em olival, nomeadamente com recurso à análise de “gap fraction” em imagens hemisféricas, apesar da elevada importância deste índice para as respostas das árvores à disponibilidade de água e à radiação (Villalobos *et al.*, 1995). Para além disso, sendo o olival uma formação heterogénea com folhas de distribuição agrupada, a

estimativa do índice de área foliar, através deste método necessita ajustes específicos (Gucci *et al.*, 1999; Mariscal *et al.*, 2000; Nilson & Kuusk, 2004). Tendo em consideração que nas oliveiras jovens as folhas são mais curtas e grossas e os entrenós dos ramos mais reduzidos (Rapoport, 2001), a determinação de factores de correcção ajustados ao seu caso particular reveste-se de importância acrescida.

Neste contexto, o presente estudo teve como objectivos: i) comparar estimativas de LAI obtidas através de dois métodos independentes, em oliveiras jovens isoladas – análise de fotografia hemisférica (Digital Plant Canopy Imager, CI-110) – e método destrutivo; ii) calcular equações de regressão para ajuste dos valores determinados com o método indirecto aos valores obtidos com o método directo.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O estudo decorreu num olival jovem de regadio, com 28 ha, localizado no Núcleo Experimental dos Lameirões (Safara, Concelho de Moura), propriedade da Direcção Regional de Agricultura do Alentejo.

O clima da região é do tipo mediterrânico continental. Nos anos em que se efectuou este estudo (2003 e 2004), a precipitação anual foi de 492 mm no ano hidrológico de 2002-03 e de 438 mm no de 2003-04. A temperatura média do ar foi de 17,0 e 17,3 °C, respectivamente; a média das temperaturas máximas dos meses mais quentes foi de 36,3 °C (Julho e Agosto de 2003) e 36,6 °C (Junho e Julho de 2004) e a média das mínimas dos meses mais frios foi de 2,0 °C (Janeiro e Fevereiro de 2003) e 3,7 °C (Dezembro de 2003 e Janeiro e Fevereiro de 2004).

As principais famílias de solos na área em estudo são as seguintes: Solos Calcários Pardos e Solos Calcários Vermelhos, em ambos os casos, Normais de xistos associados a depósitos calcários (Pcx e Vcx) e também para-barros de calcários não compactos associados a rochas cristalofílicas básicas ou de materiais afins (Pc' e Vc'), para além de Solos Argiluvitados Pardos, de Materiais Não Calcários Normais de xistos ou grauvaques (Px) e Solos Argiluvitados Vermelhos ou Amarelos de Materiais Calcários para-barros de rochas cristalofílicas associadas a depósitos calcários (Vmc) (Alexandre & Afonso, 2005).

Amostragens e métodos analíticos

As oliveiras, com cerca de 1 ano, foram plantadas em Janeiro 2001, em abrigos individuais, num compasso de 6 m na linha e de 7 m na entrelinha. Na primavera as árvores foram sujeitas a poda de formação com limpeza de ramos adventícios. O trabalho experimental foi efectuado em árvores das cultivares 'Galega' e 'Cordovil de Serpa', nos anos de 2003 e 2004 (árvores com cerca de 4 e 5 anos, respectivamente).

Em cada ano de amostragem seleccionaram-se, de linhas exteriores, 5 indivíduos com dimensões representativas da variabilidade de cada cultivar (num total de 10 por variedade).

No final do período de crescimento vegetativo (Julho de 2003 e 2004), procedeu-se à caracterização individual das árvores seleccionadas, através da medição da altura total da planta, altura da copa, área de projecção vertical da copa, diâmetro da base e diâmetro do tronco a 50 cm da base.

Adquiriram-se imagens hemisféricas digitais das copas (Figura 1) dos mesmos indivíduos, com recurso ao Digital Plant Canopy Imager - CI-110 (CID, Inc.). As imagens foram sempre obtidas em condi-

ções de luminosidade difusa (no período da aurora e do crepúsculo ou em dias com o céu uniformemente nublado) de modo a obter o máximo contraste possível entre as folhas e o céu (Whitford *et al.*, 1995).



Figura 1 – Imagem hemisférica da copa de uma oliveira

A estimativa do LAI foi efectuada procedendo à análise destas imagens com o software CI-110, Ver 3.0.2.0 (CID, Inc.), através da análise de inversão de “gap fraction” (Norman & Campbell, 1989). As imagens foram processadas de forma a eliminar a região coberta pelo tronco, de acordo com a sugestão de Nilson (1999) e Nilson & Kuusk (2004), segundo os quais a influência do tronco na distribuição angular da “gap fraction”, e consequentemente na estimativa do LAI, deve ser eliminada.

As árvores seleccionadas foram cortadas ao nível da superfície do solo e a biomassa colhida foi separada em folhas verdes, folhas senescentes, ramos do ano, caules e ramos de anos anteriores, ramos mortos e órgãos reprodutivos. A área foliar projectada foi medida, com um medidor de área foliar LI-COR (modelo LI-3000), em subamostras de folhas, proporcionais ao peso total. Todos os componentes da biomassa foram secos (80 °C) em estufa de ventilação forçada, até peso constante e o seu peso seco obtido separadamente.

O índice de área foliar (LAI) foi calculado através da razão entre a área foliar projectada e a superfície do solo correspondente à sua projecção vertical.

Os dados obtidos foram tratados para cada uma das cultivares separadamente e em conjunto, para o período total do estudo (2003 e 2004).

As comparações de médias foram efectuadas através de análises de variância (ANOVA) de classificação simples, após transformação dos dados, quando necessário, para obtenção de homogeneidade de variâncias, seguidas de testes múltiplos de Student-Newman-Keuls. Calcularam-se equações de regressão entre os resultados do método indirecto e directo, após pesquisa de “outliers” pelo teste de curtose (Barnett & Lewis, 1994). Todas as análises foram realizadas com recurso ao programa SPSS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura média determinada para as árvores seleccionadas foi de 181,9 cm, para a ‘Galega’ e 150,6 cm para a ‘Cordovil de Serpa’. Os restantes parâmetros determinados foram igualmente mais elevados para a primeira variedade do que para a segunda, tendo a área da copa sido de cerca do dobro e a biomassa total 6 a 7 vezes mais elevada, embora a proporção de folhas tenha sido da mesma ordem de grandeza (Quadro 1). Visto que a amostragem foi efectuada em indivíduos que representavam a variabilidade inerente a cada uma das cultivares, a heterogeneidade das amostras reflecte-se nos elevados erros padrão de alguns parâmetros (Quadro 1).

Os valores médios de LAI obtidos pelos dois métodos foram comparados usando os intervalos de confiança de 95% (Figura 2). Os valores determinados em cada uma das três situações foram significativamente

QUADRO 1 – Valores médios de altura total das árvores, biomassa total e foliar, área de projecção vertical da copa e LAI obtido por método destrutivo e por fotografia hemisférica, para cada uma das variedades separada e conjuntamente (G – ‘Galega’, C – ‘Cordovil de Serpa’; G+C – ‘Galega’ e ‘Cordovil de Serpa’ em conjunto). Letras diferentes em cada coluna indicam valores significativamente diferentes ($p < 0,05$)

	Altura total (cm)	Biom. total (g m ⁻²)	Biom. foliar (% do total)	Área da copa (cm ²)	LAI dest.	LAI fotog.
G	181,9 ^a (14,4)	28273 ^a (11038)	35 ^a (1,1)	9425 ^a (2524)	1,8 ^a (0,2)	0,8 ^a (0,2)
C	150,6 ^a (7,6)	4260 ^b (3017)	32 ^a (1,0)	4766 ^a (1406)	1,2 ^a (0,2)	0,5 ^a (0,1)
G+C	164,5 ^a (8,3)	14932 ^{ab} (5775)	33 ^a (0,8)	6836 ^a (1436)	1,5 ^a (0,1)	0,6 ^a (0,1)

diferentes ($P < 0,05$), não se tendo, por isso, verificado sobreposição dos respectivos intervalos de confiança.

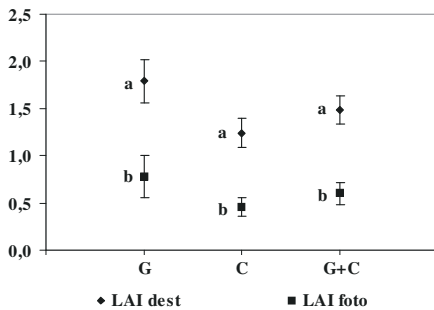


Figura 2 – LAI determinado pelo método destrutivo (LAI dest) e por fotografia hemisférica (LAI foto) para cada uma das variedades separada e conjuntamente (G – ‘Galega’, C – ‘Cordovil de Serpa’; G+C – ‘Galega’ e ‘Cordovil de Serpa’ em conjunto). As barras representam o intervalo de confiança de 95%. As letras (a e b) indicam valores significativamente diferentes ($p < 0,05$), para cada uma das variedades ou para as duas em conjunto

Os valores de LAI determinados por análise de “gap fraction” foram de 44 e 37% dos obtidos pelo método destrutivo, respectivamente para a cv. Galega e cv. Cordovil de Serpa (Quadro 1). A subestimativa do LAI obtido pelo método indirecto, relativamente ao destrutivo, foi também referida por outros autores

(Gazarini *et al.*, 1990; Martens *et al.*, 1993; Villalobos *et al.*, 1995; Gucci *et al.*, 1999; Nilson, 1999; Cohen *et al.* 2000; Mussche *et al.*, 2001), não só em árvores adultas (63%) e jovens (30-34%) de *Olea europaea*, como também noutras espécies. De acordo com os mesmos autores, esta subestimativa pode ser atribuída ao facto da distribuição da folhagem não ser casual, mas sim agrupada como a da oliveira. Comparativamente com as árvores cuja distribuição de folhagem é aleatória, o aumento dos hiatos que ocorre nas de folhagem agrupada permite uma maior penetração da luz.

QUADRO 2 – Equações de regressão calculadas, para cada uma das variedades separada e conjuntamente (G – ‘Galega’, C – ‘Cordovil de Serpa’; G+C – ‘Galega’ e ‘Cordovil de Serpa’ em conjunto), entre o LAI obtido através do método directo e do método indirecto (X = LAI através de fotografia hemisférica; Y = LAI por método destrutivo)

Cultivar	Eq. regressão	R ²	P	n
G	Y=1,803 X	0,86	<0,001	8
C	Y=2,127 X	0,73	<0,001	10
G+C	Y=1,893 X	0,82	<0,001	18

Assumindo que o método destrutivo é o que estima o LAI com maior precisão (Mussche *et al.*, 2001; Jonckheere *et al.*, 2004), foi utilizado como referência para

correção dos valores obtidos pelo método de “gap fraction”. Para o efeito, calculou-se a relação entre os resultados obtidos em

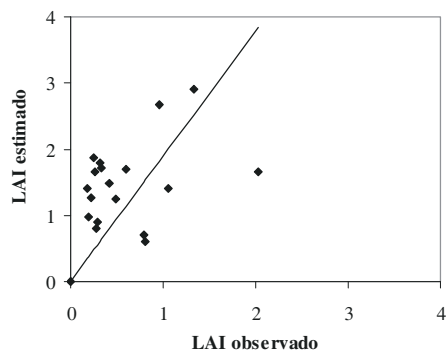


Figura 3 – Valores de LAI estimados vs. observados das oliveiras ‘Galega’ e ‘Cordovil de Serpa’

ambos os métodos, através de regressão linear. As relações observadas foram altamente significativas (Quadro 2), pelo que foram utilizadas para ajustar os valores de LAI determinados através da fotografia hemisférica (Figura 3), de forma a permitir a sua aplicação futura para avaliação do LAI em oliveiras jovens.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que a análise de imagens hemisféricas obtidas através do *Digital Plant Canopy Imager CI-110* constitui um método adequado para a determinação do LAI em oliveiras jovens das variedades estudadas. Embora este método tenha subestimado o LAI, a sua comparação com o método directo permitiu o cálculo de curvas de regressão entre os valores obtidos em ambos os métodos, possibilitando a calibração da metodologia.

Assim, a análise da fotografia hemisférica permite estimar o LAI com economia considerável de tempo e trabalho, podendo a aplicação do modelo ser extensível quer a outras cultivares desta espécie, quer a outros tipos de pomares, desde que devidamente calibrado.

É de salientar a potencialidade da aplicação desta metodologia na modelação da gestão das plantações no respeitante, por exemplo, a comparação do sucesso de implementação de diferentes variedades, avaliação da produtividade de oliveiras jovens, conhecimento da resposta das árvores a distintos programas de rega e estabelecimento de planos de monitorização ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

O estudo apresentado foi realizado no âmbito do Projecto AGRO 298, financiado pelo INIAP. Os autores agradecem à Direcção Regional de Agricultura do Alentejo a disponibilização e gestão do olival; ao Centro Operativo e de Tecnologia do Regadio a instalação e manutenção do sistema de rega; e ao Prof. Dr. Anacleto Pinheiro, do Dep. de Eng^a Rural da Univ. Évora, o delineamento experimental do ensaio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandre, A. & Afonso, T. 2005. Cartografia de solos à escala da exploração: aplicação a um ensaio de olival. Jornadas Científicas do ICAM, 15-16 de Dezembro, Universidade de Évora, Évora.
- Barnett, V. & Lewis, T. 1994. *Outliers in Statistical Data*. 3rd ed. John Wiley & Sons, England. 584 p.

- Campbell, G.S. & Norman, J.M. 1989. The description and measurement of plant canopy structure. In G. Russell, B. Marshall & P.G. Jarvis (eds) *Plant Canopies: Their Growth, Form, and Function*, pp. 1-19. Society for Experimental Biology: 31. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Chen, J.M. 1996. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. *Agric. For. Meteorol.*, **80**: 135-163.
- Cohen, S., Striem, M.J., Bruner, M. & Klein, I. 2000. Grapevine leaf area index evaluation by gap fraction inversion. *Acta Hort.*, **537**: 87-93.
- 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 environment. *Can. J. For. Res.*, **30**: 1999-2005.
- Gazarini, L.C., Araújo, M.C.C., Borralho, N. & Pereira, J.S. 1990. Plant area index in *Eucalyptus globulus* plantations determined indirectly by a light interception method. *Tree Physiology*, **7**: 107-113.
- Gucci, R., Cantini, C., van Gardingen, P. & Sharp, L. 1999. Determination of plant area index of olive trees by hemispherical photography.
- Jesus, Jr., W.C., Vale, F.X.R., Coelho, R.R. & Costa, L.C. 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. *Agronomy Journal*, **93**: 989-991.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M. & Baret, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agric. For. Meteorol.*, **121**: 19-35.
- Mariscal, M.J., Orgaz, F. & Villalobos, F.J. 2000. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. *Agric. For. Meteorol.*, **100**: 183-197.
- Martens, S.N., Ustin, S.L. & Rousseau, R.A. 1993. Estimation of tree canopy leaf area index by gap fraction analysis. *For. Ecol. Manag.*, **61**: 91-108.
- Mussche, S., Samson, R., Nachtergale, L., De Schrijver, A., Lemeur, R. & Lust, N. 2001. A comparison of optical and direct methods for monitoring the seasonal dynamics of leaf area index in deciduous forests. *Silva Fennica*, **35**: 373-384.
- Nilson, T. 1999. Inversion of gap frequency data in forest stands. *Agric. For. Meteorol.*, **98-99**: 437-448.
- Nilson, T. & Kuusk, A. 2004. Improved algorithm for estimating canopy indices from gap fraction data in forest canopies. *Agric. For. Meteorol.*, **124**: 157-169.
- Norman, J.M. & Campbell, G.S. 1989. Canopy structure. In R.W. Pearcy, J. Ehleringer, H.A. Mooney & P.W. Rundel (eds) *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*, pp. 301-325. Chapman and Hall, New York.
- Rapoport, H.F. 2001. Botánica y morfología. In D.Barranco, D. Fernández Escobar & L. Rallo (eds) *El Cultivo del Olivo*, pp. 215-254. Ed. MundiPrensa. 4ª ed., Madrid.
- Roxburgh, J.R. & Kelly, D. 1995. Uses and limitations of hemispherical photography for estimating forest light environments. *New Zealand Journal of Ecology*, **19**: 213-217.
- van Gardingen, P.R., Jackson, G.E., Hernandez-Daumas, S., Russell, G. & Sharp, L. 1999. Leaf area index estimates for clumped canopies using

- hemispherical photography. *Agric. For. Meteorol.*, **94**: 243-257.
- Villalobos, F.J., Orgaz, F. & Mateos, L. 1995. Non destructive measurement of leaf area in olive (*Olea europaea* L.) trees using a gap inversion method. *Agric. For. Meteorol.*, **73**: 29-42.
- White, M.A., Asner, G.P., Ramakrishna, R.N., Privett, J.L. & Running, S.W. 2000. Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems: digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods. *Remote Sense. Environ.*, **74**: 45-57.
- Whitford, K.R., Colquhoun, I.J., Lang, A.R.G. & Harper, B.M. 1995. Measuring leaf area index in a sparse eucalypt forest: a comparison of estimates from direct measurement, hemispherical photography, sunlight transmittance and allometric regression. *Agric. For. Meteorol.*, **74**: 237-249.