

PREDIÇÃO DE BIOMASSA ARBUSTIVA LENHOSA EMPREGANDO DADOS DE INVENTÁRIO E O ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA EXTRAÍDO EM IMAGENS LANDSAT 5 TM

HELDER VIANA ¹
DOMINGOS LOPES ²
JOSÉ ARANHA ²

¹ Secção Florestal, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viseu.

² Departamento de Ciências Florestais e Arquitectura Paisagista, CECAV, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

RESUMO

Com o intuito de estudar se o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), gerado a partir de imagens de satélite de média resolução, pode ser utilizado na quantificação de biomassa vegetal aérea de plantas arbustivas lenhosas, regeneradas após a ocorrência de incêndios florestais, foram instaladas 18 parcelas de amostragem (10m²) em locais ardidos entre os anos de 2000 e 2005 na região de Viseu. A metodologia utilizada baseou-se no ajustamento de modelos de regressão entre a quantidade de biomassa (t.ha⁻¹) pesada em campo pelo método destrutivo, em cada parcela, e os valores da resposta espectral referentes ao NDVI, calculados e extraídos de imagens Landsat Thematic Mapper (TM). Os resultados obtidos mostram que a quantidade de biomassa vegetal apresenta uma correlação positiva com os valores de NDVI. A estimativa de biomassa lenhosa aérea forneceu resultados significativos, tendo permitido ajustar uma equação que descreve a quantidade de biomassa (t.ha⁻¹) em função do comportamento espectral da vegetação.

Palavras-chave: Biomassa, Arbustivas, Detecção remota, Landsat 5 TM, NDVI, SIG

1 – Introdução e objectivos

Nos últimos anos tem-se observado um interesse crescente na quantificação e caracterização da biomassa vegetal aérea dos espaços florestais. Contudo, a biomassa arbustiva lenhosa sub-arbórea ou aquela regenerada em áreas percorridas pelos incêndios é uma componente muito significativa da biomassa vegetal total que, em grande parte dos casos, não é quantificada nos inventários tradicionais. Esta biomassa tem sido avaliada em estudos sobretudo direccionados para a avaliação da carga combustível lenhosa, regenerada após o fogo, e consequente predição do comportamento do fogo, como se pode ler em Botelho *et al.*, 1994; Rego *et al.*, 1994; Fernandes e Rego, 1998; Fernandes *et al.*, 2002. Porém, a importância que esta vegetação desempenha no ciclo biogeoquímico do carbono e o possível aproveitamento que pode ter para fins energéticos veio aumentar o interesse neste tipo de biomassa. O facto de mais de 1,8 milhões de hectares do país serem ocupados por vegetação arbustiva (DGRF, 2007) torna ainda mais evidente o interesse em estudar este tipo de vegetação.

A estimativa de biomassa lenhosa acima do solo tem sido feita, nos últimos anos, por uma variedade de métodos, desde medições em campo que envolvem a amostragem destrutiva (Peichl *et al.*, 2006; Viana *et al.*, 2009a), ou medições directas (Foroughbakhch *et al.*, 2005; Flombaum *et al.*, 2007; Aranha e Viana, 2008). Em resultado destas avaliações diversos modelos alométricos são ajustados com base em parâmetros como altura, diâmetro, idade, grau de ocupação, entre outros (Delphis *et al.*, 2008; Viana *et al.*, 2009a; Viana *et al.*, 2009b; Viana *et al.*, 2009c). No entanto, a recolha destes parâmetros exige tempo e custos que, em áreas de grande extensão, podem limitar determinados estudos. Por conseguinte, o recurso a técnicas expeditas e de baixo custo, para classificar a biomassa vegetal nestas áreas, como a detecção remota é, por vezes, uma alternativa para a estimativa da biomassa vegetal (ex: Suganuma *et al.*, 2006). A utilização do comportamento espectral registado pelas imagens de satélite quando associada a modelação baseada em SIG, como informação auxiliar, permite

também o mapeamento espacial das estimativas de biomassa (ex: Neeff, 2005; Wulder *et al.*, 2008; Aranha e Viana, 2008).

Desde que as imagens de satélite estão disponíveis para estudos da dinâmica da cobertura do solo, que a utilidade dos índices de vegetação para monitorizar vegetação e recolher informação ecofisiológica sobre grandes áreas é reconhecida. As imagens de satélite com média resolução espacial de sensores como o Landsat TM são as mais utilizadas, uma vez que a informação espectral apresenta uma forte correlação com a biomassa (Muukkonen *et al.*, 2007; Zheng *et al.*, 2007; Meng *et al.*, 2007). Por esta razão cada vez mais as recentes estimativas de biomassa se baseiam em metodologias onde os índices de vegetação são utilizados. Embora vários índices de vegetação (NDVI, EVI, SAVI, etc.) sejam utilizados em estudos do género, o NDVI (Índice de Diferença Normalizada) é o mais comumente aplicado (ex: Chirici *et al.* 2007; Wang *et al.* 2005). O NDVI é obtido pelas bandas de reflectância do vermelho e do infravermelho próximo da seguinte forma (Equação 1):

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V}) \quad (1)$$

sendo:

NDVI – Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
IVP – Infravermelho próximo
V – Vermelho

Embora os estudos utilizando o NDVI sejam muito utilizados para estudos em povoamentos florestais, não há muitos trabalhos que relacionem o NDVI com variáveis de matos mediterrâneos predominantes na região. Desta forma, este trabalho teve como objectivo (1) analisar a relação existente entre o NDVI, gerado a partir do comportamento espectral de imagens Landsat TM, e variáveis recolhidas nas parcelas de matos, (2) ajustar um modelo de regressão que permita estimar a biomassa de arbustivas utilizando o valor do NDVI como variável independente.

2 - Material e métodos

2.1 - Enquadramento da área de estudo

A área de estudo localiza-se no concelho de Viseu e limítrofes. Esta região apresenta uma topografia complexa, uma vez que é rodeada por maciços importantes como as Serras do Caramulo, Arada, Montemuro, Lapa e Estrela. As altitudes variam desde aproximadamente 100m no vale do Rio Dão até aos 1800 metros na Serra da Estrela. A variabilidade climática também é acentuada observando-se precipitações médias anuais de 800 a 2800mm no vale do rio Dão e temperaturas médias anuais inferiores que variam de 7,5 até 16°C.

A região é ocupada por espaços florestais onde predomina o pinheiro bravo e por extensas áreas ocupadas com arbustivas. Frequentemente estas áreas são percorridas por incêndios como mostra a Figura 1. Para o âmbito deste trabalho as parcelas para recolha dos dados foram instaladas em áreas ardidas entre 2000 e 2005.

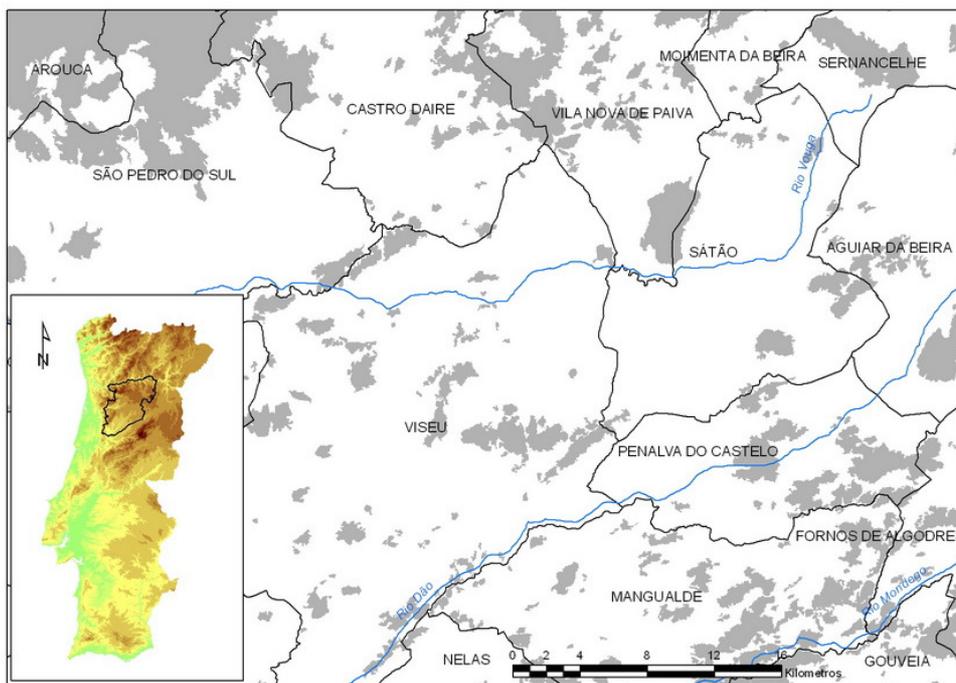


Figura 1. Localização da área de estudo (as manchas de cor cinza representam as áreas ardidas entre 2000 e 2005)

2.2 - Metodologia

Recolha das variáveis em campo

Os levantamentos de campo decorreram entre Março e Maio de 2007. Em áreas ardidas na região durante o período 2000-2005 foram instaladas parcelas de amostragem circulares com 10m², três repetições em cada ano, num total de 18 parcelas. A localização geográfica foi assinalada por meio de GPS (*Global Positioning System*). As áreas amostradas tinham ocupação vegetal homogénea e uma extensão superior a 2 hectares. A carga arbustiva regenerada foi medida pelo método de intersecção comum e as variáveis altura média, área de projecção das copas, grau de ocupação foram recolhidas. Posteriormente a vegetação foi cortada, agrupada por espécie e pesada no local, de forma a determinar a biomassa existente (t.ha⁻¹).

Processamento da imagem de satélite

Numa imagem Landsat 5 TM adquirida em 10 de Dezembro de 2006, foi utilizado um excerto com aproximadamente 40 Km x 40 Km. O processamento da imagem de satélite foi levado a cabo no software IDRISI, que apresenta funcionalidades de Detecção Remota e SIG. A imagem foi corrigida geometricamente, com base em 18 pontos de controlo, pelo ajustamento de um polinómio linear, e introduzida no sistema de coordenadas Hayford-Gauss, Datum de Lisboa. O interpolador utilizado na reamostragem foi o vizinho mais próximo (Lillesand *et al.*, 2004).

De forma a reduzir os efeitos atmosféricos foi feita a correcção radiométrica pelo método da subtracção do objecto mais escuro proposto por Chavez (1989). Os valores dos números digitais foram então convertidos em unidades de reflectância e o índice de vegetação de diferença normalizada (Huete and Jackson, 1987; Huete *et al.*, 1997) foi calculado de acordo com a Equação 1. Os valores do NDVI foram extraídos em ArcGIS 9.x, para os 18 locais, pelo método da interpolação bilinear, que calcula a média dos 4 pixéis vizinhos (Lillesand *et al.*, 2004).

Ajustamento dos modelos

A relação entre o NDVI e as variáveis recolhidas em campo foi avaliada pela correlação de Pearson. Após o ajustamento de vários modelos para a predição da biomassa por hectare (t.ha⁻¹), seleccionaram-se aqueles que apresentaram melhor qualidade de ajustamento, após avaliação dos coeficientes de regressão (R), de

determinação (R^2), e de determinação ajustados (R^2_{adj}), bem como os resíduos (EQM) e a significância do teste de t de Student.

3 - Resultados e discussão

3.1 - Caracterização da vegetação

A vegetação arbustiva amostrada divide-se essencialmente em três grupos: giesta (*Cytisus* sp), tojo (*Ulex* sp.) e urze (*Erica* sp.). A Figura 2 mostra a distribuição da cobertura vegetal em cada parcela.

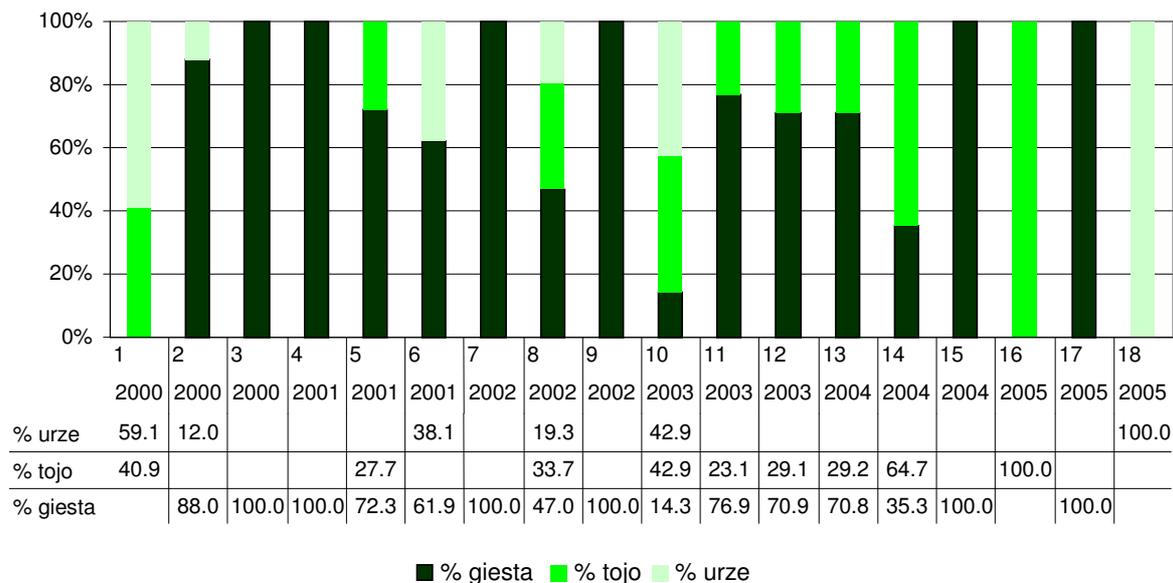


Figura 2. Caracterização da ocupação vegetal nas parcelas amostradas

Como se observa, a giesta é a mais frequente em quase todas as parcelas. Esta apenas não aparece nas parcelas 1 e 18. O grau de ocupação varia entre 16,8% e 99,6% e a biomassa varia entre 1,5 a 32,1 t.ha⁻¹.

3.2 - Relações entre o NDVI e as variáveis da vegetação arbustiva

As correlações entre as variáveis medidas em campo foram sempre positivas tendo permitido obter modelos alométricos para predição da biomassa por hectare, com razoável qualidade de ajustamento, como se pode ler em Viana *et al.* (2009a). O NDVI encontra-se positivamente correlacionado com a quantidade de biomassa (t.ha⁻¹) bem como com as variáveis da vegetação medidas em campo, como se pode ver na matriz com os coeficientes da correlação de Pearson (Tabela 1).

Tabela 1 – Matriz dos coeficientes da Correlação de Pearson entre o NDVI e as variáveis da vegetação

	W (t.ha ⁻¹)	NDVI	Idade	GO (%)	H (m)
W (t.ha ⁻¹)	1				
NDVI	0.72	1			
Idade	0.83	0.76	1		
GO (%)	0.63	0.50	0.73	1	
H (m)	0.66	0.41	0.57	0.37	1

3.3 - Modelos alométricos para predição da biomassa arbustiva lenhosa

Após o ajustamento de vários modelos de regressão, seleccionaram-se os que permitiram obter as melhores estimativas, que se apresentam na Tabela 2 e Figura 3.

Tabela 2. Equações ajustadas à biomassa arbustiva aérea total (t.ha⁻¹), estimativa dos parâmetros, coeficientes de determinação ajustados e erro quadrático médio

Equação	X - variável independente	Estimativa dos parâmetros	EQM	
			R ² aj	(t.ha ⁻¹)
1 Y = α + βx	NDVI	α = -23.870	0,48	5,9
		β = 113.5396		
2 Y = α + βx	ln(NDVI.t)	α = 10,507	0,70	4,5
		β = 12,444		
3 Y = α + βx ₁ + γx ₂	NDVI	α = 15,6879	0,68	4,7
		β = 36,8923		
		γ = 12,5032		

Sendo: Y - Quantidade de biomassa por hectare (t.ha⁻¹), variável dependente; α, β, γ - Parâmetros da regressão; X - Variável independente; NDVI – índice de vegetação de diferença normalizada; t – idade da regeneração após o fogo; R²aj – coeficiente de determinação ajustado; EQM – Erro Quadrático Médio

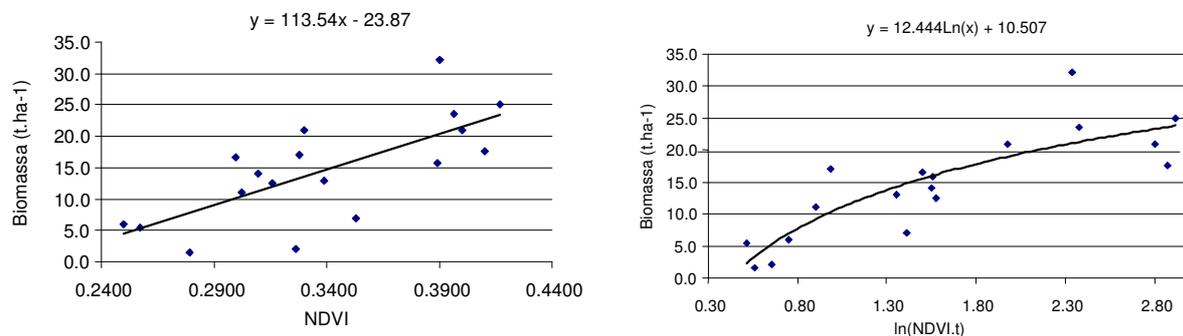


Figura 3. Relações estabelecidas entre a carga arbustiva total e as variáveis testadas

Os melhores resultados são obtidos quando se recorre às variáveis independentes NDVI e t (idade) combinadas (R²_{aj} = 0,70), permitindo obter estimativas de biomassa com um erro de 31% (EQM = 4,5 t.ha⁻¹). O desempenho desta equação é bastante satisfatório para a vegetação em causa, uma vez que esta vegetação apresenta uma distribuição espacial muito heterogénea.

Por outro lado as espécies presentes nas parcelas (giesta, tojo e urze) apresentam crescimentos muito díspares e logo variação de peso muito significativa nas várias idades de regeneração. Estas espécies podem apresentar crescimentos muito diferentes entre si ao longo do tempo e, por outro lado, para uma determinada espécie, os crescimentos vão diferir em função das características da estação e da densidade de indivíduos.

4 – Conclusões

O presente estudo demonstrou ser possível estabelecer um modelo para a predição da carga arbustiva lenhosa após o fogo, relacionando dados de inventário e a resposta espectral extraída em imagens Landsat 5 TM.

A aplicação deste método permite fazer estimativas expeditas, de forma não destrutiva, sobre áreas extensas, e com rapidez.

Tendo em conta a variabilidade inerente à estrutura da vegetação (grande variabilidade de espécies, densidades, etc.), a qualidade do ajustamento das equações foi razoável, pelo que poderão ser utilizadas, com erros aceitáveis para este tipo de vegetação, em comunidades arbustivas com estrutura e composição similares. Estes modelos oferecem um grande interesse uma vez que, para além de estimarem a biomassa, permitem a posterior modelação da distribuição espacial da biomassa em áreas percorridas pelos incêndios. Desta forma, podem constituir um suporte para estudos de estimação da produtividade primária líquida, estudos de avaliação dos impactos de incêndios florestais ou outros distúrbios que possam ocorrer nestas áreas.

Os resultados alcançados mostram que as espécies arbustivas lenhosas, que regeneram após os incêndios, atingem proporções muito significativas, ao fim de poucos anos, pelo que reúnem um potencial interessante. As quantidades geradas podem prever um aproveitamento comercial para produção de energia, nos locais onde as restrições técnico-económicas não sejam limitantes. Por outro lado, as espécies estudadas têm importância ecológica uma vez que, nesta vegetação, estão sequestradas grandes quantidades de carbono, quer no sistema aéreo, quer no radicular, sendo um importante recurso para fixação do carbono atmosférico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANHA, J. and Viana, H., 2008. Assessing Shrub Biomass By Means Of Field Work and Geostatistics Processes. A Case Study in North Portugal. Proceedings of the Bioenergy: Challenges and Opportunities. International Conference and Exhibition on Bioenergy. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal. April 6th – 9th 2008.
- BOTELHO, H., Vega, J.A., Fernandes, P., Rego, F., 1994. Prescribed fire behavior and fine fuel consumption in Northern Portugal and Galiza maritime pine stands. In Proc. 2nd Int. Conf. on Forest Fire Research, Viegas, D.X. (Ed.), Coimbra, pp. 343-353.
- CHAVEZ, P. S. JR., 1989. Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral Images. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing. Vol. 55, N.9. Pp. 1285-1294.
- CHIRICI, Gherardo; Barbatì, Anna and Maselli, Fabio, 2007. Modelling of Italian forest net primary productivity by the integration of remotely sensed and GIS data. Forest Ecology and Management 246, 285–295.
- DELPHIS F. and Levia Jr, 2008. A generalized allometric equation to predict foliar dry weight on the basis of trunk diameter for eastern white pine (*Pinus strobus* L.). Forest Ecology and Management, Volume 255, Issues 5-6, 5, 1789-1792.
- DGRF, 2007. Resultados do Inventário Florestal Nacional 2005/06. Planeamento e Estatística. Direcção Geral dos Recursos Florestais. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa.
- FERNANDES, P., Loureiro, C., Botelho, H., Ferreira, A., Fernandes, M., 2002. Avaliação indirecta da carga de combustível em pinhal bravo. *Silva Lusitana* 10(1) : 73–90.
- FERNANDES, P.M., Rego, F.C., 1998. Equations for estimating fuel load in shrub communities dominated by *Chamaespartium tridentatum* and *Erica umbellata*. In Proc. 3rd International Conf. on Forest Fire Research & 14th Fire and Forest Meteorology Conf., D.X. Viegas (Ed.), Luso, Vol. II, pp. 2553-2564.
- FLOMBAUM, P. and Sala, O.E., 2007. A non-destructive and rapid method to estimate biomass and aboveground net primary production in arid environments. Journal of Arid Environments, Volume 69 (2), 352-358.
- FROUGHBACH, Rahim; Reyes, Gregorio; Alvarado-Vázquez, Marco A.; Hernández-Piñero, Jorge and Rocha-Estrada, Alejandra, 2005. Use of quantitative methods to determine leaf biomass on 15 woody shrub species in northeastern Mexico. Forest Ecology and Management, Volume 216, Issues 1-3, 12, 359-366.
- HUETE, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K. and Leeuwen, W. Van, 1997. A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for MODIS-EOS. Remote Sensing Of Environment. Vol. 59. Pp. 440-451.
- HUETE, A.R. and Jackson, R.D., 1987. Suitability of spectral indices for evaluating vegetation characteristics on arid rangelands. Remote Sensing of Environment, 23, 213-232.
- LILLESAND, T.M.; Kiefer, R.W.; Chipman, J.W., 2004. Remote Sensing and image Interpretation. Fifth Edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 764p.
- MENG, Qingmin; Cieszewski, Chris J.; Madden, Marguerite and Borders, Bruce, 2007. A linear mixed-effects model of biomass and volume of trees using Landsat ETM+ images. Forest Ecology and Management 244, 93–101.
- MUUKKONEN, P.; Heiskanen, J., 2007. Biomass estimation over a large area based on standwise forest inventory data and ASTER and MODIS satellite data: A possibility to verify carbon inventories. Remote Sensing of Environment, 107, 617-624.
- NEEFF, Till, 2005. Spatial modeling of primary and secondary forest growth in Amazonia. Forest Ecology and Management 219 149–168.
- PEICHL, Matthias and Arain, M. Altaf, 2006. Above and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. Agricultural and Forest Meteorology, Volume 140, Issues 1-4, Pages 51-63.
- REGO, F.C., Pereira J.P., Fernandes, P.M., Almeida, A.F., 1994. Biomass and aerial structure characteristics of some mediterranean shrub species. 2nd International Conference on Forest Fire Research 1B, 377-384.
- SUGANUMA, Hideki; Abe, Yukuo; Taniguchi, Masahiko; Tanouchi, Hiroyuki; Utsugi, Hajime; Kojima, Toshinori and Yamada, Koichi, 2006. Stand biomass estimation method by canopy coverage for application to remote sensing in an arid area of Western Australia. Forest Ecology and Management, Volume 222, Issues 1-3, 75-87.

- VIANA, H.; Cardoso, A.; Correia, R.; Lopes, D.; Aranha, J., 2009b. Estabelecimento de modelos alométricos para predição da biomassa aérea de *Eucalyptus globulus*. Actas do 6º Congresso Florestal Nacional. 6-9 Outubro 2009.
- VIANA, H.; Dias, S.; Marques, C.; Cruz, M.; Lopes, D.; Aranha, J., 2009c. Estabelecimento de modelos alométricos para predição da biomassa aérea da *Pinus Pinaster*. Actas do 6º Congresso Florestal Nacional. 6-9 Outubro 2009.
- VIANA, H.; Fernandes, P.; Rocha, R.; Lopes, Domingos Aranha, J., 2009a. Alometria, dinâmicas da biomassa e do carbono fixado em algumas espécies arbustivas de Portugal. Acta do 6º Congresso Florestal Nacional. 6-9 Outubro 2009.
- WANG, Quan; Adikua, Samuel; Tenhunena, John and Granierb, André, 2005. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. Remote Sensing of Environment 94, 244–255.
- WULDER, Michael A.; White, Joanne C.; Fournier, Richard A.; Luther, Joan E. And Magnussen, Steen, 2008. Spatially Explicit Large Area Biomass Estimation: Three Approaches Using Forest Inventory and Remotely Sensed Imagery in a GIS. Sensors, 8, 529-560.
- ZHENG, G.; Chen, J.M.; Tian, Q.J.; Ju, W.M. and Xia, X.Q., 2007. Combining remote sensing imagery and forest age inventory for biomass mapping. Journal of Environmental Management 85, 616–623.