

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL PARA LAS ESPECIES *QUERCUS ROTUNDIFOLIA* Y *QUERCUS SUBER* BASADA EN IMÁGENES DEL SATÉLITE QUICKBIRD

A.M.O. Sousa, J.R. Marques da Silva, A.C. Gonçalves, P.A. Mesquita, L.L. Silva, F. Batista

Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Rural
ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Pólo da Mitra, 7002 – 554 Évora.
Tel: +351 266760823, Fax: +351 266711189. E-mail: asousa@uevora.pt

RESUMEN

La biomasa forestal es una importante reserva estratégica global, su seguimiento e inventario es de elevada importancia para una buena gestión. Actualmente las técnicas de inventario y monitoreo de biomasa forestal son usualmente lentas, muy trabajosas y de elevado coste, verificándose así la necesidad de desarrollar otras técnicas, que sean fiables y con costes relativamente reducidos. El objetivo de este estudio es desarrollar una metodología para estimar la biomasa forestal de las especies *Quercus rotundifolia* y *Quercus suber* basada en imágenes del satélite QuickBird. La estimación de la biomasa forestal, fue obtenida con un error inferior a 5%, para valores de proyección horizontal de la copa acumulada obtenida con imágenes de satélite superiores a 4000 m².

Palabras clave: Biomasa forestal, clasificación orientada a objeto, segmentación multi-resolución, *Quercus rotundifolia*, *Quercus suber*

ABSTRACT

Forest biomass is an important global strategic reserve, its monitoring and inventory is extremely important for a good management. Currently, the techniques for inventory and monitoring of forest biomass are usually slow, burdensome and have high costs, thus confirming the need for development of other techniques that can be reliable and with relatively low costs. The aim of this study is to develop a methodology for estimating forest biomass of the species *Quercus rotundifolia* and *Quercus suber* using QuickBird satellite images. The estimation of forest biomass was obtained with an error of less than 5%, for values of cumulative horizontal projection of the cup with satellite images obtained over 4000 m².

Keywords: Biomass, object-oriented classification, multi-resolution segmentation, *Quercus rotundifolia*, *Quercus suber*

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal y su gestión son de gran importancia a nivel mundial, por la importancia de las funciones económicas, ambientales, sociales y culturales que le están asociadas.

La superficie forestal en Portugal ocupa 38% del territorio nacional, lo que representa diferentes tasas de forestación en las distintas regiones del país. Portugal, a escala europea, es un país especializado en el sector forestal, con un gran aporte al Producto Interno Bruto.

La evaluación de la evolución de la superficie forestal en Portugal, se efectúa a través del Inventario Forestal Nacional (IFN) elaborado a nivel nacional, con una periodicidad de 10 años.

La búsqueda de energías alternativas emerge como una prioridad para algunos países donde la biomasa es una fuente de bioenergía muy importante. La evaluación de este potencial energético es de gran importancia, siendo por eso oportuno el desarrollo de métodos más expeditos para su cuantificación y con una buena relación coste-beneficio.

El estudio aquí presentado viene al encuentro de este tema, siendo el objetivo el de evaluar el potencial de las imágenes de satélite de alta resolución espacial para la identificación de las especies forestales y para estimar la biomasa de las especies dominantes en la región sur de Portugal (*Quercus suber* y *Quercus rotundifolia*).

2. ÁREA DE ESTUDIO Y MATERIALES

2.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la región sur de Portugal, el “Alto Alentejo”, en el distrito de Évora, con un tamaño de aproximadamente 133 km². En esta región, predomina el montado que consiste en rodales abiertos de *Quercus suber* y *Quercus rotundifolia* y en menor área surge *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* y *Eucalyptus globulus*, ya sea en formaciones puras o mixtas.

2.2 Datos

La imagen que se utiliza para el estudio es del satélite QuickBird de Digital Globe. Fue adquirida en el modo “Pan-Sharpned” que corresponde a la fusión de la banda pancromática con las 4 bandas espectrales, b1-azul (0,45-0,52 μm), b2-verde (0,52-0,60 μm), b3-rojo (R) (0,63 a 0,69 μm), b4 - infrarrojo cercano (IRC) (0,76 a 0,90 μm), las cuatro bandas resultantes tienen una resolución espacial de 0,70 metros y una resolución radiométrica de 16 bits. La fecha de registro de la imagen es de agosto de 2006.

2.3 Métodos

2.3.1 Segmentación y clasificación

El primer paso consistió en la detección e identificación de especies forestales presentes en el área de estudio con el método de segmentación multi-resolución y clasificación orientada a objetos, utilizando el programa de procesamiento de imágenes, ENVI (versión 4.8) y *Definiens Developer* (versión 8.0 0.1).

En el proceso de segmentación multi-resolución se utilizó el índice de vegetación *Normalized Difference Vegetation Index* (Tucker, 1979), $NDVI = (IRC - R) / (IRC + R)$, donde IRC y R, corresponden a la banda del infrarrojo cercano y rojo, respectivamente. Este índice es un buen identificador de árboles. Para obtener la máscara de la vegetación, este índice es utilizado como banda ancha adicional, con el objetivo de reducir los problemas de discriminación en relación al suelo y a la vegetación de pequeños arbustos, resultante de la resolución limitada espectral de QuickBird (Key *et al.*, 2001). El algoritmo utilizado es *Split contrast segmentation* que segmenta la imagen en objetos oscuros y objetos brillantes, basado en un valor que se ajusta a fin de maximizar el contraste entre los objetos. En este estudio los objetos brillantes son la vegetación y objetos oscuros son todos los demás tipos de uso del suelo.

El paso siguiente fue la clasificación de la imagen, donde se utilizó el algoritmo de vecino más cercano.

Esta metodología se describe con más detalle en Sousa *et al.* (2010).

La Figura 1 ilustra el resultado de la clasificación de una pequeña área de la imagen, para las dos especies forestales dominantes, *Quercus suber* y *Quercus rotundifolia*.

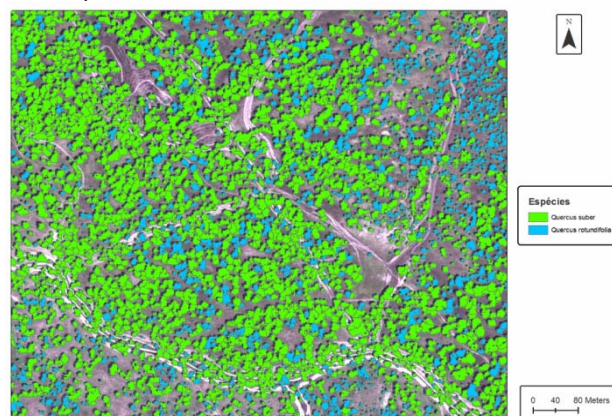


Figura 1. Ilustración del resultado del proceso de clasificación orientada a objetos para las dos especies forestales.

Posteriormente el área de estudio fue dividida en parcelas de 45,5m x 45,5m (2070,25 m²) para el muestreo. Se seleccionaron aleatoriamente 26 parcelas de muestreo con rodales puros y mixtos donde se hicieron mediciones dendrométricas. A continuación, se realizó la clasificación de las especies forestales presentes en las parcelas de muestreo.

Basado en la clasificación de las imágenes de satélite se procedió a la evaluación del grado de cobertura, cuantificando la fracción de cabida cubierta de una cuadrícula.

La biomasa se estimó mediante inventario forestal en parcelas seleccionadas donde fueron medidas las variables dendrométricas para cada árbol con diámetro, a la altura del pecho, de más de 20 cm. Las variables dendrométricas medidas fueron: el diámetro a la altura del pecho, altura total y el radio de la copa en 4 direcciones (Norte, Sur, Este y Oeste) (Avery y Burkhart, 1994) y se registró la localización de cada árbol utilizando un GPS.

La biomasa fue estimada basada en las funciones alométricas de Paulo y Tomé (2006):

$$ww = 0.164185 \times d^{2.011002} \quad (1)$$

$$wb = 0.600169 \times d^{1.355957} \quad (2)$$

$$wc = 1.909152 \times d^{1.200354} \quad (3)$$

$$B_A = ww + wb + wc \quad (4)$$

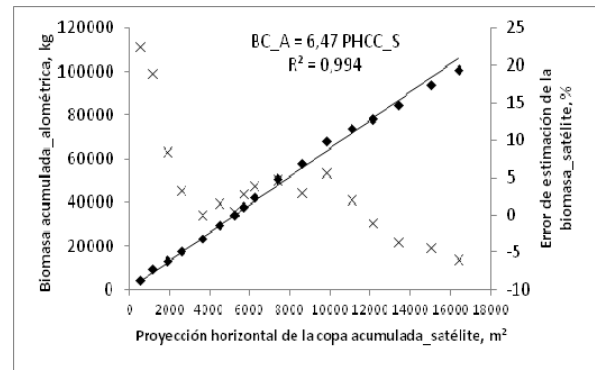
donde w_w es la biomasa de la madera (kg), w_b de la corteza (kg), w_c de la copa (kg), d es el diámetro (cm) y B_A la biomasa aérea (kg).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

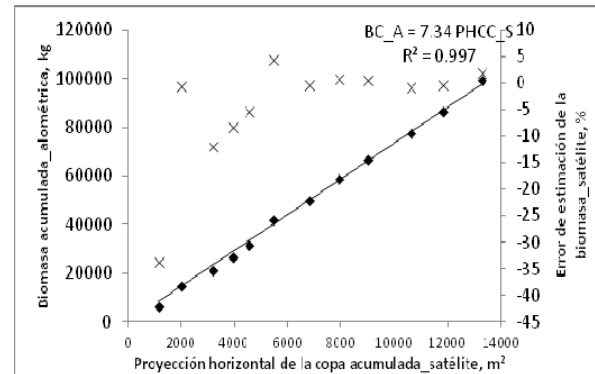
3.1 Relación entre el área de proyección horizontal de la copa y su respectiva biomasa

Inicialmente, se estableció una relación entre la proyección horizontal de la copa (PHC) y la biomasa calculada usando las funciones alométricas (B_A) para rodales puros de cada especie y rodales mixtos, árbol a árbol y parcela a parcela. Sin embargo, debido a la complejidad de la naturaleza, es muy difícil aislar los árboles individuales en el cálculo de la proyección de la copa horizontal basada en imágenes de satélite. Cuando los árboles están aislados es fácil, pero en la mayoría de las situaciones las copas están en contacto una con otras, por lo que es difícil obtener la PHC aislada para cada árbol. Por lo tanto, tiene más sentido calcular la biomasa considerando árboles agregados. Para este fin, se consideraron los parámetros acumulados de árboles y parcelas en términos de área de la PHC acumulada obtenida por satélite (PHCC_S) y la biomasa acumulada obtenida con las funciones alométricas (BC_A), obteniéndose la relación que se muestra en la Figura 2 para a) *Quercus rotundifolia* y b) *Quercus suber*.

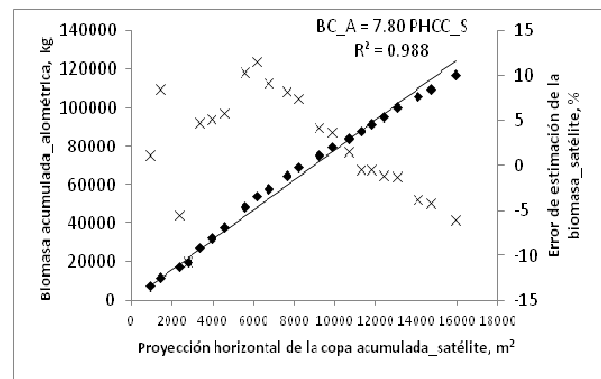
La Figura 2 revela que la relación entre las dos variables para las respectivas especies tiene un patrón lineal. Si consideramos una relación lineal entre dos variables, pasando por el origen, se obtiene una pendiente de la recta de $6,47 \text{ kg m}^{-2}$ y un R^2 de 0,99 para el *Quercus rotundifolia* (Figura 2a) y una pendiente de $7,34 \text{ kg m}^{-2}$ y un R^2 de 0,99 para el *Quercus suber* (Figura 2b). Encontramos que para las dos especies forestales a partir de aproximadamente 4.000 m^2 de PHCC_S el error de estimación de la biomasa obtenida por satélite (EEB_S) se centra entre los -5% y +5%, lo que parece bastante aceptable teniendo en cuenta que muchos inventarios forestales admiten errores de hasta 20%, como errores aceptables. En la figura 2 c) se puede observar la relación entre los valores del área acumulada por parcela, la PHCC_S y la BC_A . Si, del mismo modo, que hicimos para las parcelas puras, consideramos una relación lineal entre ambas variables, pasando por el origen, se obtiene una pendiente de la recta de $7,80 \text{ kg m}^{-2}$ y un R^2 de 0,98. Sin embargo, y en contraste con los valores encontrados anteriormente, en este caso sólo para valores de PHCC_S superiores a 8.000 m^2 el EEB_S se centra entre -5% y +5%.



a)



b)



c)

Figura 2. Relación entre BC_A y $PHCC_S$, a) rodales puros de *Quercus rotundifolia* b) rodales puros de *Quercus suber* y c) las rodales mixtos de ambas especies.

Debido a una mayor variabilidad de los datos, pues mezclamos dos especies y, a menudo con diferentes proporciones, parece ser necesaria un área más grande de PHCC_S para que los errores se estabilicen cerca del 5%, aunque los valores de biomasa por unidad de superficie mantienen cierta semejanza.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos decir que es posible estimar la biomasa de las especies de árboles *Quercus rotundifolia* y *Quercus suber* basados en la proyección horizontal de copa acumulada obtenida a

partir de imágenes de satélite. La razón para el valor acumulado es porque hay una gran variabilidad en el fenómeno de estudio cuando se ve desde un punto de vista unitario, sin embargo, esta variabilidad se compensa positivamente y negativamente cuando se calcula de una forma acumulada. Esta metodología de estimación de la biomasa alcanza errores inferior a 5% si tenemos en cuenta los valores acumulados de PHC superiores a 4000 m², tanto medidos en el campo, como utilizando la imagen de satélite de alta resolución. Con las ecuaciones 5 o 6 de la Tabla 1, podemos así estimar el BC_A, pudiendo concluir que para valores superiores a 4.000 m² de PHCC y medidos en el campo podemos tener como referencia una relación proporcional entre la biomasa y proyección de copa horizontal acumulada de aproximadamente 10 kgm⁻². Para la proyección horizontal de copa acumulada medida con las imágenes de satélite de alta resolución (PHCC_S) y teniendo en cuenta la metodología presentada anteriormente, la relación de proporcionalidad está cerca de 6,5 kg m⁻². Dados estos supuestos, es posible hacer un inventario de la biomasa forestal del *Quercus rotundifolia* y *Quercus suber*, a partir de imágenes de satélites de alta resolución, con errores inferiores al 5%. Los parámetros de estimación de biomasa se resumen en la Tabla 1.

$$BC_A = a * PHCC \quad (5)$$

$$BC_A = b * PHCC_S \quad (6)$$

Tabla 1. Parámetros para la estimación de la biomasa de las dos especies forestales (*Q. Rotundifolia* y *Q. Suber*).

Rodales	Eq.	a, b (kg m ⁻²)	Válido para	PHC medida
Puro <i>Q. Rotundifolia</i>	5	9,87	PHCC > 4000 m ²	Parcela Satélite
	6	6,47	PHCC_S > 4000 m ²	
Puro <i>Q. Suber</i>	5	13,94	PHCC > 4000 m ²	Parcela Satélite
	6	7,34	PHCC_S > 4000 m ²	
Misto <i>Q. Rotundifolia</i> / <i>Q. Suber</i>	5	13,74	PHCC > 5000 m ²	Parcela Satélite
	6	7,80	PHCC_S > 8000 m ²	

4. CONCLUSIONES

En este estudio se desarrolló una metodología para la estimación de la biomasa a partir de imágenes de satélite de alta resolución espacial, con resultados muy satisfactorios, con errores de estimación inferiores a 5%. Para parcelas de rodales puros de *Quercus rotundifolia* y *Quercus suber* se puede estimar la cantidad de biomasa acumulada para valores de la proyección horizontal de la copa obtenida a partir de imágenes de satélite superiores a 4.000 m². Para rodales mixtos de ambas especies, la estimación de la biomasa, con un error del 5% se obtiene para valores de proyección horizontal de copa acumulada obtenida basada en imágenes de satélite de más de 8.000 m².

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España - Portugal (POCTEP), que financió el proyecto Altercexa - Medidas de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático a Través del Impulso de las Energías Alternativas en Centro, Alentejo y Extremadura, en el ámbito del cual se desarrolló este estudio.

5. BIBLIOGRAFÍA

- EVERY, T.E., BURKHART, H.E., 1994. *Measurements*, 4ª Ed. Macgraw-Hill Inc., New York. 408 p.
- KEY, T., WARNER, T.A., MCGRAW, J.B., FAJVAN, M.A., 2001. *A comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest*. Remote Sensing of Environment, v. 75, n. 1, p. 100-112.
- SOSA, A.M.O., MESQUITA, P., GONÇALVES, A.C., MARQUES DA SILVA, J.R., 2010. *Segmentação e classificação de tipologias florestais a partir de imagens Quickbird*. *Ambiência*, n. 6 (Ed. Especial), p. 57 – 66.
- TUCKER, C. J. 1979. *Red and photographic infra-red linear combinations for monitoring vegetation*. Remote Sensing of Environment, v. 8, n. 2, p. 127-150.