

Estimación de superficie quemada mediante la aplicación sinérgica de OBIA y SMA a imágenes WFI CBERS

Carmen Quintano Pastor¹
Yosio Edemir Shimabukuro²

¹ Universidad de Valladolid-Departamento de Tecnología Electrónica
Francisco Mendizabal 1, 47014 Valladolid, España
menchu@tele.uva.es

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
yosio@ltid.inpe.br

Abstract. Analysis of satellite imagery is an efficient tool to map burned areas, especially in the Amazonia region. This study presents a methodology to effectively map burned areas in that region using images from the Wide Field imager (WFI) on board of China Brazil Earth Resources Satellite (CBERS). The methodology is based on the synergistic use of Spectral Mixture Analysis (SMA) and Object Based Image Analysis (OBIA); concretely, OBIA is applied to the fraction images obtained by unmixing the original WFI CBERS image. Firstly, the endmembers spectral signatures (soil, vegetation, and shade) were defined; secondly, unmixing was performed (root mean square (RMS) error < 1). After the fraction images were obtained, they were segmented with different resolutions. Next, the segmented images were classified into two classes: “burned” and “unburned”. Finally, to measure the accuracy of this burned area estimation, confusion matrix and Kappa index were calculated. The ground-truth image was obtained by classifying a sample of an image of 20m spatial resolution from the Charge Coupled Device (CCD) sensor also on board of CBERS. Overall accuracy of the burned area estimation was higher of 80%. We concluded that the combined use of SMA and OBIA is a valid methodology to accurately map burned areas in Brazilian Amazonia.

Palavras-chave: CBERS, Spectral Mixture Analysis (SMA), Object Based Image Analysis (OBIA), burned areas; CBERS; modelo de mistura espectral, análise de imagens baseado em objetos, áreas queimadas

1. Introducción

Con más de 6 millones de km², la Amazonia es la mayor superficie forestal del planeta, así como la de mayor biodiversidad, ubicándose más del 50% en territorio Brasileño. Sin embargo, los incendios forestales son un importante problema en esta zona del planeta por ser una de las actividades del proceso de deforestación. Dada su gran extensión, las técnicas basadas en el análisis de imágenes de satélite son la única alternativa viable en esta región para la estimación de zonas deforestadas y/o quemadas.

En este trabajo se presenta una metodología que, aplicada a las imágenes procedentes de China Brazil Earth Resources Satellite (CBERS), permitió estimar las áreas quemadas en la región de Mato Grosso, en la Amazonia Brasileña. Las imágenes CBERS (<http://www.cbbers.inpe.br/>) ya han demostrado su utilidad para la detección de cambios en la cubierta, tanto dentro de la Amazonia como fuera de ella, (Fernández-Manso et al., 2005; Moller et al., 2008; Maeda et al., 2008).

La metodología se basó en el empleo sinérgico del Análisis de Mezclas Espectrales (Spectral Mixture Análisis, SMA) y el Análisis de Imágenes Basado en Objetos (Object Based Image Análisis, OBIA). SMA es un algoritmo subpíxel cuyo objetivo es descomponer espectralmente la imagen original en unas nuevas bandas asociadas a los componentes básicos que la constituyen. Dichas bandas, denominadas imágenes fracción, representan el porcentaje de ocupación en el píxel correspondiente del componente básico representado. Las imágenes

fracción han sido empleadas con éxito en diversas aplicaciones, entre ellas la cartografía de áreas quemadas (Anderson et al., 2004; Quintano et al., 2006a; Gordillo et al., 2008).

Por su parte, OBIA es un clasificador orientado a objetos (supra-píxel). Los clasificadores orientados a objetos utilizan tanto la información espectral de la imagen (al igual que los clasificadores convencionales orientados a píxel) como la información contextual, por lo que la precisión de la clasificación realizada supera habitualmente a la precisión de la clasificación obtenida mediante clasificadores convencionales. El empleo conjunto de OBIA y SMA es muy reciente, pero los resultados obtenidos hasta ahora han sido muy prometedores (Fernández-Manso et al., 2006; Quintano et al., 2006b).

De esta forma, el objetivo principal de este trabajo fue determinar la validez de la metodología propuesta para estimar las zonas quemadas en la Amazonia Brasileña, cuando se aplica a imágenes CBERS.

2. Material y Método

La zona de estudio elegida fue el estado de Mato Grosso (Brasil). El Pantanal cubre el extremo oeste del Estado; las planicies, el noroeste; y las mesetas con los escarpados de las sierras del Bodoquena, el este. A excepción de la zona del Pantanal, la mayor parte del territorio está dentro del bioma denominado “Cerrado”.

Se han utilizado dos tipos de imágenes CBERS: las procedentes del sensor Wide Field imager (WFI) y las procedentes del sensor Charge Coupled Device (CCD) de alta resolución (Tabla 1). Las imágenes WFI CBERS tiene una resolución espacial de 260 m y constan de dos bandas espectrales (roja e infrarroja cercano). Estas imágenes, muy similares a las procedentes del MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor, fueron empleadas para obtener la estimación de áreas quemadas en la zona de estudio. Por otra parte, las imágenes CCD CBERS, cuya resolución espacial es de 20 m, fueron empleadas para validar la estimación de área quemada previamente realizada.

Tabla 1. Principales características de las imágenes CBERS empleadas

Sensor	Resolución espacial (m)	Resolución temporal	Bandas Espectrales	Longitud de onda (µm)
CCD, Charge Coupled Device	20 x 20	26 días (nadir) (revisita 3 días)	Azul	0,45 - 0,52
			Verde	0,52 - 0,59
			Roja	0,63 - 0,69
			Infrarroja Cercana	0,77 - 0,89
			Pancromática	0,51 - 0,73
WFI, Wide Field Imagen	260 x 260	5 días	Roja	0,63 - 0,69
			Infrarroja cercana	0,77 - 0,89

Respecto a la metodología utilizada, ésta se basó en el empleo conjunto de SMA y OBIA (Figura 2), y puede resumirse en las siguientes etapas: 1.-selección y preparación de las imágenes CBERS (tanto WFI como CCD) que van a ser empleadas, 2.-obtención de las imágenes fracción a partir de la imagen WFI CBERS, 3.-obtención de la estimación de área quemada a partir de dichas imágenes fracción, 4.-obtención de la imagen que actuará como verdad-terreno a partir de la imagen CCD CBERS, y 5.-validación de la estimación de área quemada empleando la imagen verdad-terreno previamente obtenida.

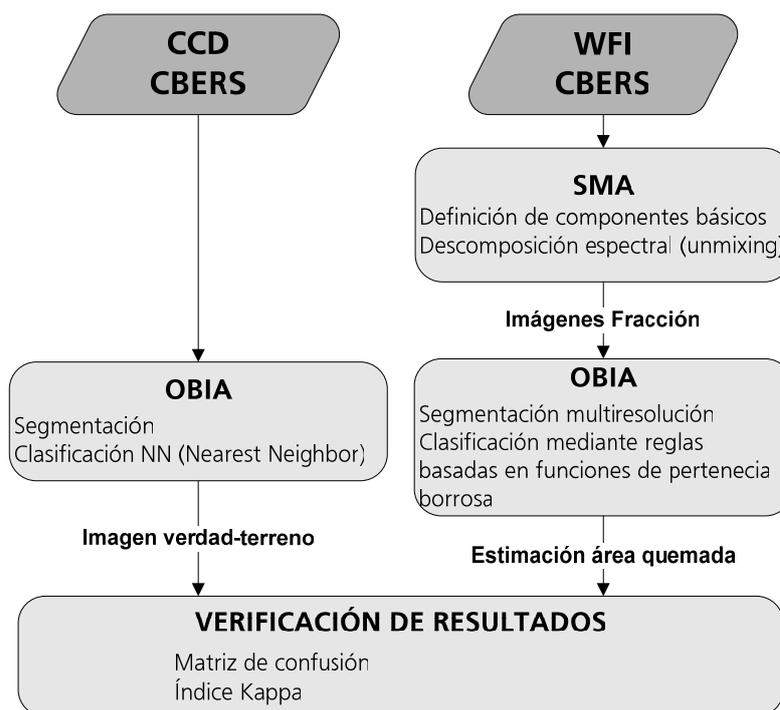


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología seguida

En la etapa inicial de selección y preparación de las imágenes (no mostrada en el diagrama de flujo) se seleccionaron las imágenes WFI CBERS y CCD CBERS de fecha 9 de Agosto de 2004, por ser las que menor cobertura nubosa presentaron. Dichas imágenes fueron corregidas geométricamente utilizando el mosaico Nacional Aeronautics and Space Administration (NASA) GEOCOVER como referente.

A continuación, las bandas roja e infrarroja de las imágenes WFI CBERS fueron descompuestas espectralmente considerando tres componentes básicos: vegetación, suelo y sombra. Las firmas espectrales de dichos componentes básicos fueron definidas a partir de las propias imágenes utilizando diagramas de dispersión. El algoritmo empleado se basó en el utilizado por Shimabukuro y Smith (1991).

Una vez obtenidas las imágenes fracción, éstas fueron sometidas a un proceso de segmentación multirresolución. La segmentación multirresolución permite identificar diferentes grupos de píxeles homogéneos (objetos), de tamaño comparable, variando la resolución. Los objetos obtenidos contienen la información referida a su propio espectro, su forma, posición y textura; y están relacionadas con las características de sus objetos vecinos. La clasificación se realizó en base a las características de estos objetos (espectrales y de contexto) en lugar de basarse simplemente en las características espectrales de los píxeles de la imagen de entrada (clasificación orientada a píxel convencional). Para ello, se definieron reglas para cada clase de interés basadas en funciones de pertenencia borrosa (Zadeh, 1965) cuyo rango es $[0,1]$. De esta forma, las características espectrales, de forma y estadísticas, así como las relaciones entre los objetos de la imagen en los distintos niveles de segmentación, pueden ser empleados en una regla base que combina objetos en clases con pleno significado (Benz et al., 2004); y una estimación de área quemada pudo ser obtenida.

La última etapa de la metodología empleada fue la validación de dicha estimación de área quemada. La validación se basó en el cálculo de la matriz de confusión y de índices derivados de ella, como la precisión total y el índice Kappa (Congalton, 1999). La imagen utilizada como verdad-terreno fue obtenida mediante la clasificación de la imagen CCD CBERS en las mismas dos categorías (“quemado” / “no quemado”) que la estimación de área quemada.

Dicha clasificación también se basó en OBIA. En esta ocasión, tras la segmentación de la imagen se aplicó un clasificador supervisado “vecino más próximo” (Nearest Neighbor, NN). El clasificador NN asigna cada objeto a la clase más cercana de los objetos utilizados como muestra teniendo en cuenta el espacio de características definido.

3. Resultados

En Figura 2 aparecen las imágenes CBERS utilizadas en el estudio. La figura de la derecha representa una composición en falso color (RGB: B4B3B2) de parte de la imagen CDD CBERS de 9 de Agosto de 2004 en la que las zonas quemadas aparecen en tonos oscuros. La figura de la izquierda es una composición en color (RGB: B1B2B1) de la imagen WFI CBERS a partir de la cual se realizará la estimación de áreas quemadas (de nuevo, las zonas quemadas aparecen en tonos oscuros). En ella, se muestra mediante un rectángulo la superficie común a ambas imágenes.

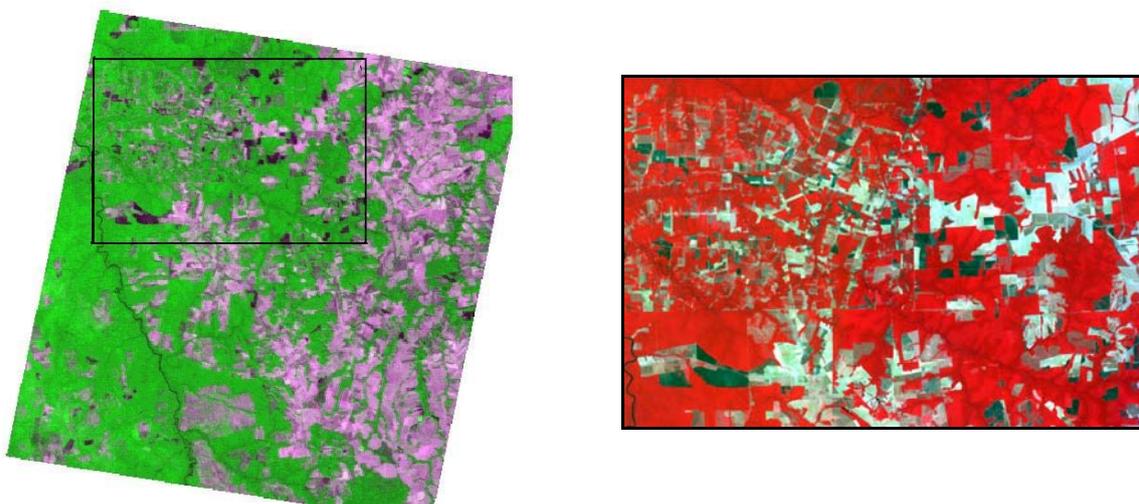


Figura 2. Composiciones en color de las imágenes CBERS empleadas. Izquierda: WFI CBERS 9 de Agosto de 2004; Derecha: muestra de CCD CBERS 9 de Agosto de 2004.

Como indica el diagrama de flujo de la metodología empleada, mostrado en la Figura 1, una vez preparadas las imágenes que fueron utilizadas, se aplicó SMA a la imagen WFI CBERS. La firma espectral de los componentes básicos utilizados (vegetación, suelo y sombra) fue obtenida a partir de la imagen WFI original. Para ello se localizaron los píxeles extremos en el diagrama de dispersión de las bandas originales de dicha imagen, y además se tuvo en cuenta cierto conocimiento del terreno y la imagen CCD CBERS, de mayor resolución espacial. La Figura 3 muestra una composición en color (RGB: suelo-vegetación-sombra) de las imágenes fracción finalmente obtenidas. En ella, las zonas quemadas aparecen en tonos azules (alta proporción de sombra, frente a vegetación y suelo).

A continuación, se aplicó OBIA a dichas imágenes fracción. En la segmentación multiresolución inicial, se emplearon dos niveles de segmentación: el de nivel superior, con factor de escala 25, en el que se segmentaron conjuntamente las tres imágenes fracción (ratio color/forma: 0.9/0.1; ratio compacidad/suavidad: 0.1/0.9); y el de nivel inferior, con factor de escala 10, que consideró sólo la imagen fracción sombra (ratio color/forma: 0.9/0.1; ratio compacidad/suavidad: 0.1/0.9), por ser ésta una fracción que ya ha demostrado su relación directa con las áreas quemadas (Figura 4).

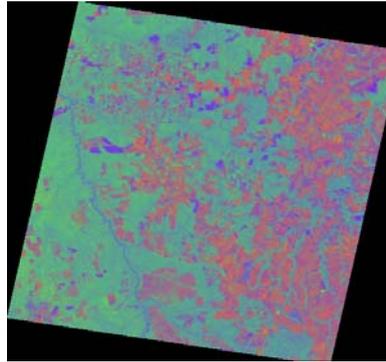
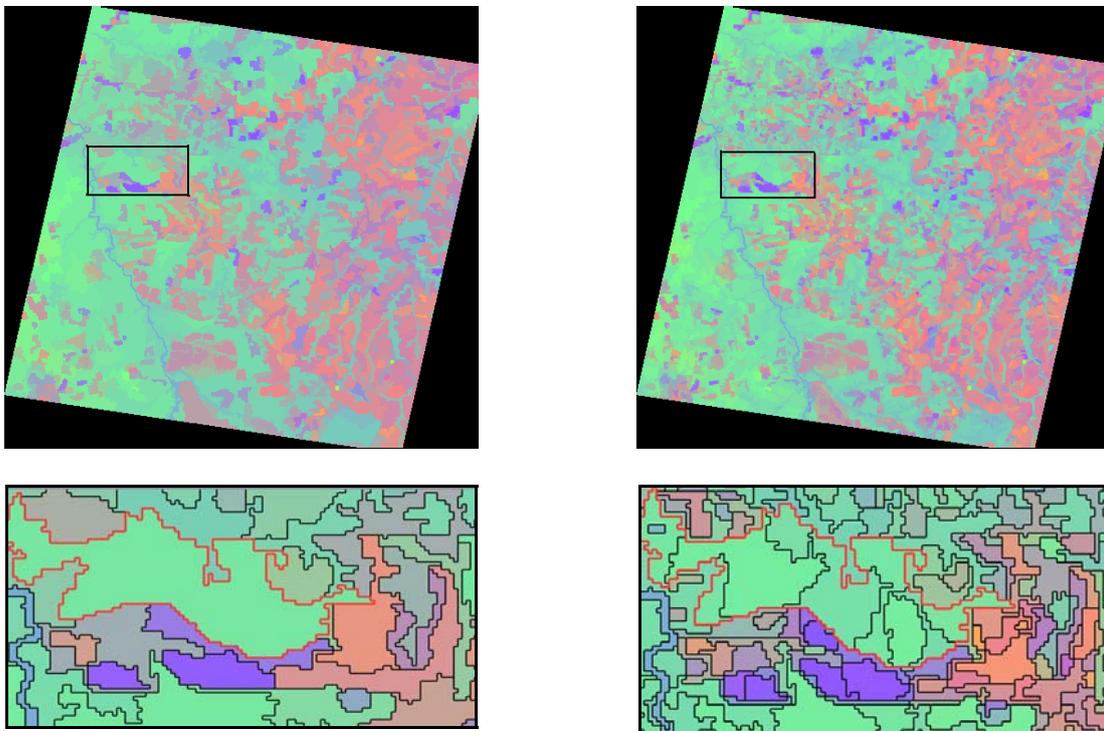


Figura 3. Composición en color de las imágenes fracción obtenidas tras descomponer espectralmente la imagen WFI CBERS de 9 de Agosto de 2004.



a

Figura 4. Segmentación multirresolución de la imagen WFI CBERS de 9 de Agosto de 2004. Izquierda arriba: Factor de escala 25. Izquierda abajo: detalle factor de escala 25. Derecha arriba: Factor de escala 10. Derecha abajo: detalle factor de escala 10.

A continuación, se definieron las reglas para cada clase de interés basadas en funciones de pertenencia borrosa. Se definieron cuatro clases: “quemado”, “suelo”, “vegetación” y “río”, para después agrupar las tres últimas en la clase “no quemado”. Las funciones borrosas de pertenencia se refirieron básicamente a los valores medios de los objetos en las diferentes bandas de entrada (imágenes fracción). Sin embargo, la identificación de la clase “río” hizo uso del parámetro “índice de borde” (ratio entre la longitud de borde del objeto y la longitud del borde del rectángulo más pequeño que puede ser encerrado en el objeto); ya que, a través la función de pertenencia basada en este parámetro, fue posible diferenciar la clase “río” de la clase “quemado”. La confusión entre zonas quemadas y zonas de agua es muy frecuente cuando se emplean clasificadores convencionales orientados a pixel, el empleo de OBIA ha permitido en este trabajo evitar este tipo de confusión. La Figura 5 (izquierda) muestra la estimación de las áreas quemadas obtenida.

Para poder validar la precisión de la dicha estimación, fue necesario determinar, en primer lugar, la imagen verdad-terreno. Esta imagen se obtuvo mediante la clasificación supervisada de la imagen CCD CBERS. En este caso, las bandas originales de dicha imagen fueron segmentadas utilizando un factor de escala 35, un ratio color/forma: 0.9/0.1 y un ratio compacidad/suavidad: 0.1/0.9. Dicha combinación de valores fue la que proporcionó visualmente una mejor discriminación de las zonas afectadas por el fuego. Tras segmentar la imagen, se localizaron muestras en la misma de las clases “quemado”, “vegetación” y “suelo”; y se realizó una clasificación NN. La Figura 5 (derecha) muestra el resultado final de dicha clasificación, que fue considerada imagen verdad-terreno.

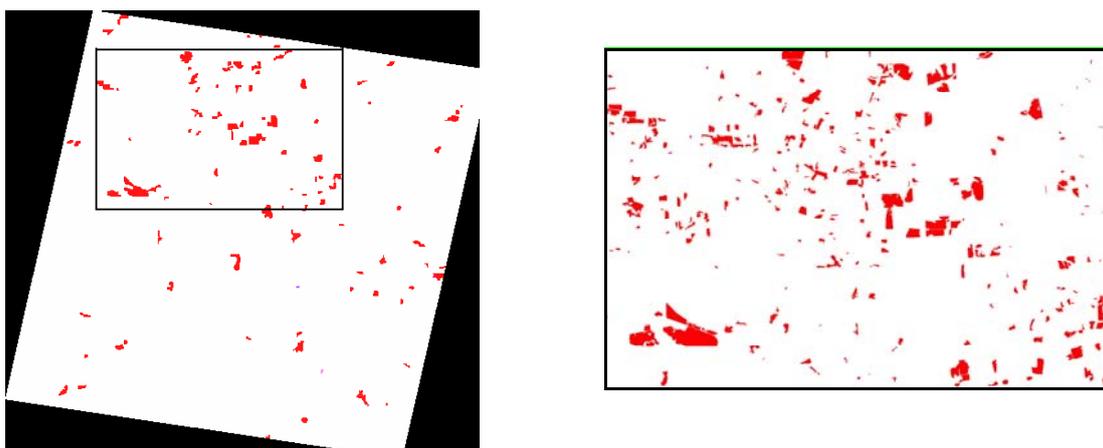


Figura 5. Izquierda: estimación de áreas quemadas. Derecha: imagen verdad-terreno

Tras definir la imagen verdad-terreno, se comparó ésta mediante la matriz de confusión con la estimación de área quemada previamente obtenida. La precisión total y el índice Kappa fueron, respectivamente, 80.6% y 0.52. Se observó un alto error de omisión en la clase “quemado”, concretamente, un 52%. Esto fue debido a la existencia de incendios de tamaño inferior a 0.5 km², que la resolución espacial de las imágenes WFI CBERS no permitió identificar. El error de comisión de la clase “no quemado” fue 22%; este error se produjo fundamentalmente en los bordes de las zonas incendiadas, que en la imagen WFI CBERS no se consideraron como tales.

4. Discusión y conclusiones

A la hora de estimar áreas quemadas a partir de imágenes de satélite es necesario considerar dos factores: qué tipo de imágenes utilizar y qué metodología. Respecto al tipo de imágenes, en este trabajo, las imágenes procedentes del sensor WFI instalado en el satélite CBERS han demostrado su validez para esta aplicación. Las imágenes CBERS ya han sido utilizadas con este objetivo en otros trabajos (Santos et al., 2005; Pereira et al., 2007; Torrelles et al., 2007), por lo que éste confirma su validez para estimar áreas quemadas en la Amazonia Brasileña.

En cuanto a la metodología utilizada, aunque no se ha realizado una comparación de la precisión de la estimación obtenida de área quemada con la que se obtendría clasificando otros bandas sintéticas empleadas habitualmente para estimar áreas quemadas (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Global Environment Monitoring Index (GEMI), entre otras), en este trabajo, las imágenes fracción obtenidas tras la aplicación de SMA han demostrado su validez como indicadores de áreas quemadas. Este hecho, y la afirmación de que la imagen fracción sombra es la que proporciona mayor información sobre este tipo de afectación de las zonas forestales, concuerda con los resultados recogidos en algunos trabajos

anteriores (Quintano et al., 2002; Quintano et al., 2005). Por su parte, el empleo de OBIA ha permitido disminuir las confusiones entre las áreas incendiadas y las zonas de agua, confusiones habituales en este tipo de estudios cuando se emplean clasificadores orientados a pixel (supervisados o no), proporcionando una alta exactitud en la estimación final. El trabajo ha mostrado la potencial sinergia del empleo conjunto de SMA y OBIA, demostrando la conveniencia de utilizarlos conjuntamente.

De esta forma y como principal conclusión del trabajo, es posible afirmar que la aplicación de OBIA a las imágenes fracción procedentes de la descomposición espectral (SMA) de las imágenes CBERS es una metodología válida para ser utilizada en la cartografía de áreas quemadas mayores de 0.5 km² en la Amazonía Brasileña.

Referencias

Anderson, L.O.; Shimabukuro, Y.E.; Lima, A. Detecção de áreas queimadas baseado no Modelo Linear de Mistura Espectral utilizando dados Multitemporais MODIS/Terra no estado do Mato Grosso, Amazônia Brasileira. **SELPER**, Santiago, Chile, 2004.

Benz, U.C., Hoffmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 58, p. 239–258, 2004.

Congalton, R.G.; Green, J. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practice**. NY: Lewis publishers. 1999

Santos, J.R., Maldonado, F.D. y Graça, P.M.L.A. Integração de imagens Landsat/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da amazônia sob domínio da floresta de transição. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57/01, p. 15-21, 2005

Fernández-Manso, A., Quintano, C., Santos, J.R., Maldonado, F. Utilización de las imágenes CBERS-2 en el estudio de los sistemas forestales brasileños y su aplicabilidad en España. **Actas del IV Congreso Forestal Español**, Zaragoza, 26-30 Septiembre 2005. Ed: Sociedad Española de Ciencias Forestales. ISBN: 84-921265-7-4. Depósito legal Z-2577-05, 2005.

Fernández-Manso, O., Quintano, C. y Fernández-Manso, A. Combining Spectral Mixture Analysis and Object-Oriented image classification for monitoring forest cover changes in northwest of Spain. **Anais del VII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**. Curitiba-PR, Brasil, 17-19-octubre-2006. ISBN 978-85-60020-01-0. p. 73-79

Gordillo, V.; Martín, P.; Quintano, C.; Lima, A.; Shimabukuro, Y.E. MODIS Spectral Mixture Analysis y cartografía de áreas quemadas en la Cuenca Mediterránea. **Anais del VIII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**. Curitiba-PR, Brasil, 7-9-octubre-2008. ISBN 978-85-60020-05-8. p. 68-73

Maeda, E.E., Arcoverde, G.F.B., Formaggio, A.R. y Shimabukuro, Y.E. Evaluation of the potentiality of WFI/CBERS-3 sensor data for land use and land cover classification. Avaliação da potencialidade dos dados do Sensor WFI/CBERS-3 para classificação do uso e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60/01, p. 79-87, 2008.

Moller, G.S.F., Novo, E.M.L.M., Kampel, M. Y Fonseca, L.M.G. Assessment of the sensors MODIS/TERRA and WFI/CBERS-2 for the Amazon river suspended sediment monitoring. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Beijing 2008, v. XXXVII, part B8, p. 725-728, 2008.

Pereira, G., Moraes, E.C., Arai, E. y de Oliveira, L.G.L. Comparação das áreas de queimada obtidas através de dados de campo e de dados do sensor CCD/CBERS 2. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1017-1022.

Quintano, C., Fernández-Manso, A., Delgado, J.A., Shimabukuro, Y.E. Determination of spectral mixture analysis validity for estimating the burned area using AVHRR data and multitemporal analysis. **Forest Fire Research & Wildland Fire Safety**, Viegas (ed.) Millpress, Rotterdam, ISBN 90-77017-72-0, 2002.

Quintano, C., Shimabukuro, Y.E., Fernández-Manso, A., Delgado, J.A. A spectral unmixing approach for mapping burned areas in mediterranean countries. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26-7, p.1493-1498, 2005.

Quintano, C.; Fernández-Manso, A.; Fernández-Manso, O.; y Shimabukuro, Y. Mapping burned areas in Mediterranean countries using Spectral Mixture Analysis from a unitemporal perspective. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p. 645–662, 2006a.

Quintano, C.; Fernández-Manso, O.; Fernández-Manso A.; Ramírez, J. Synergies between linear spectral mixture analysis and object based image analysis **Ambiência**. Ed. Universidade Estadual do Centro-Oeste Brasil. (ISSN: 1808-0251.) Edição Especial. p. 121-134, 2006b.

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived from Remote Sensing Multispectral Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-21, 1991.

Torrelles, R.C., Pons, E.C. y Brown, I.F. Análisis de la superficie afectada por fuego en el departamento de Pando el año 2005 a partir de la clasificación de imágenes del satélite CBERS. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 835-842.

Zadeh, L. Fuzzy sets. **Information Control**, v. 8 p. 338–353, 1965.