

# MONITORAMENTO SISTEMÁTICO DA COBERTURA VEGETAL NO BIOMA CERRADO ATRAVÉS DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO MODIS

LAERTE GUIMARÃES FERREIRA<sup>1</sup>  
ADRIANA APARECIDA SILVA<sup>1</sup>  
ERISTELMA TEIXEIRA DE JESUS<sup>2</sup>  
EDSON EIJIY SANO<sup>2</sup>  
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudos Sócio-Ambientais (IESA)  
Universidade Federal de Goiás  
Campus Samambaia, Caixa Postal 131 – 74001-970 – Goiânia – GO, Brasil  
laerte@iesa.ufg.br, apsilva@iesa.ufg.br

<sup>2</sup>Embrapa Cerrados  
BR-020 Km 18 Cx. Postal 08.223 - 73.301-970 - Planaltina, DF Brasil  
eris@cpac.embrapa.br, sano@cpac.embrapa.br

<sup>3</sup>INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil  
yosio@ltid.inpe.br

**Abstract.** It is estimated that approximately 40% of the Cerrado, the second largest biome in South America, have been already converted. In this study, we evaluated the usefulness of the MODIS Vegetation Index product (MOD13) for monitoring the Cerrado vegetative cover. We utilized the MOD13Q1 product (250m resolution), tile h13v10 (Brasília region), for the compositing periods of August 28, 2001 and July 28, 2002. Land cover changes were assessed by rationing the 2002 and 2001 NDVI images. The resulting image, constrained by a threshold of 20%, indicated that 91% of the Brasília National Park, which served as a reference area, remained unchanged, in spite of the significant differences in the acquisition geometry observed between the selected dates. These results corroborate the potential of the MODIS data for the systematic monitoring of the Cerrado biome.

**Keywords:** Cerrado, vegetation index, MODIS, change detection.

## 1. Introdução

O Cerrado brasileiro, com aproximadamente 208 milhões de hectares (área contínua), é o bioma brasileiro que tem sofrido a pressão mais forte em termos de uso e ocupação do solo (Nepstad *et al.*, 1997). Estima-se que cerca de 40% dos 208 milhões de hectares de Cerrado contínuo já tenham sido convertidos em pastagens cultivadas, áreas agrícolas e outros tipos de uso (Mantovani & Pereira, 1998; Sano *et al.*, 2002).

Por outro lado, poucas têm sido as iniciativas voltadas ao uso operacional dos dados de sensoriamento remoto para o mapeamento e monitoramento sistemático da cobertura vegetal no bioma Cerrado (Skole *et al.* 1994). Em parte, este problema se deve à dificuldade em se diferenciar algumas fitofisionomias de Cerrado das formas de uso comumente encontradas (ex. campo limpo vs. Pastagens nativas / cultivadas).

Há também que se considerar as próprias características dos dados de sensoriamento remoto atualmente disponíveis. As imagens NOAA-AVHRR, além da baixa resolução espacial<sup>1</sup>,

---

<sup>1</sup> - 1km (cobertura de área local – LAC) e 4km (cobertura de área global – GAC).

apresentam ainda uma geometria de aquisição altamente variável, baixa qualidade radiométrica e problemas no georeferenciamento dos *pixels* (Goward *et al.* 1991, Moody & Strahler, 1994).

Comparativamente, as imagens fornecidas pelos satélites comerciais, como por exemplo o Landsat 7 – ETM+, oferecem melhores resoluções espacial e espectral, além de maior acuidade e precisão radiométrica. Contudo, a acentuada dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação da terra na região do Cerrado, demanda análises mais rápidas, simplificadas e freqüentes, as quais de certa forma são incompatíveis com a resolução temporal do satélite Landsat 7 (16 dias), custo de aquisição das imagens, e a necessidade de procedimentos metodológicos mais elaborados para a interpretação destas. Deve-se ainda ressaltar a contaminação freqüente dos dados Landsat por nuvens e fumaças nas épocas chuvosa e seca, respectivamente, o que muitas vezes ocasiona uma diferença de vários meses na data de aquisição entre as 122 cenas que recobrem o bioma Cerrado e, conseqüentemente, uma defasagem entre a interpretação e o que de fato ocorreu na paisagem em um dado momento.

À este *gap* na disponibilidade efetiva de dados contrapõe-se o sensor MODIS, lançado em 1999 a bordo da plataforma Terra<sup>2</sup>. Este sensor, configurado para fornecer dados sobre a dinâmica da biosfera terrestre (Justice *et al.*, 1998), opera com 36 bandas espectrais, das quais sete são semelhantes às do sensor ETM<sup>+</sup>, fornecendo um recobrimento global e contínuo a cada dois dias, com resoluções espaciais variando de 250 a 1000m.

Uma característica importante em relação ao MODIS é a de que os dados, já corrigidos para efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, etc.) e georeferenciados, são distribuídos gratuitamente na forma de diferentes produtos<sup>3</sup>, entre os quais destacam-se os índices de vegetação NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada) e EVI (índice de vegetação realçado), produzidos a cada 16 dias com resoluções de 250, 500 e 1000m.

O algoritmo para a geração dos índices de vegetação MODIS opera *pixel a pixel* e leva em conta múltiplas observações em um período de 16 dias. Devido à sobreposição de órbitas e múltiplas observações em um único dia, um máximo de 64 observações podem ser obtidas. Destas, o processo de *compositing* seleciona o *pixel* o mais próximo possível do nadir, minimizando-se assim eventuais distorções espaciais e radiométricas, ou com o menor grau de contaminação por aerossóis (van Leeuwen *et al.*, 1999)<sup>4</sup>. A **Tabela 1** detalha as especificações dos produtos índices de vegetação, os quais são acompanhados de várias imagens acessórias, entre as quais as imagens *quality assurance*, um conjunto de meta-dados que retrata, *pixel a pixel*, a qualidade dos índices de vegetação e dos dados de refletância utilizados.

Tendo por motivação principal e objetivo geral o uso efetivo e operacional dos índices de vegetação MODIS para o monitoramento sistemático e contínuo do bioma Cerrado, neste trabalho são avaliados: 1) o potencial dos índices de vegetação com 250m de resolução (produto MOD13Q1) para a detecção de mudanças na cobertura vegetativa; 2) aspectos operacionais quanto à obtenção e processamento destes dados e 3) análise dos metadados que acompanham os produtos MODIS.

---

<sup>2</sup> - Um segundo sensor MODIS foi lançado em 4 de maio de 2002, a bordo da plataforma Aqua.

<sup>3</sup> - A relação completa dos produtos MODIS para aplicações terrestres pode ser obtida em <http://edcdaac.usgs.gov/modis/dataproduct.html>.

<sup>4</sup> - Método CV-MVC (*Constrained View – Maximum Value Compositing*) e MVC (*Maximum Value Compositing*), respectivamente.

**Tabela 1 - Conjunto de imagens disponibilizadas através do produto índice de vegetação (MOD13)**

	<i>Imagens</i>	Unidades	Valor Nulo	Intervalo Válido	Fator de Escala
<b>IV</b>	NDVI	NDVI	-3000	-2000 a 10000	10000
	EVI	EVI	-3000	-2000 a 10000	10000
<b>Imagens Reflectância</b>	Vermelho	reflectância	-1000	0-10000	10000
	Infravermelho (NIR)	reflectância	-1000	0-10000	10000
	Azul	reflectância	-1000	0-10000	10000
	Infravermelho (SWIR)	reflectância	-1000	0-10000	10000
<b>Metadados</b>	NDVI <i>Quality (QA)</i>	<i>bit field</i>	65535	0-65534	inexistente
	EVI <i>Quality (QA)</i>	<i>bit field</i>	65535	0-65534	inexistente
	Ângulo Visada	Grau	-10000	-18000	100
	Ângulo Zenital Solar	Grau	-10000	-18000	100
	Azimuth	Grau	-4000	-7200	10

## 2. Desenho Experimental

**Área de Estudo** – para este estudo utilizou-se uma área de aproximadamente 34000 Km<sup>2</sup>, compreendida entre as latitudes sul 14°58'48" & 16°49'12" e longitudes oeste 47°18'36" & 48°39' equivalente a cena Landsat 221 / 71 (WRS-II).

Especificamente para a análise e avaliação dos resultados, utilizou-se o Parque Nacional de Brasília, com área aproximada de 30000 ha e localizado ao norte de Brasília, entre as latitudes sul 15°35' & 15°45' e longitudes oeste 47°53' & 48°05' (**Figura 1**).

**Aquisição e Processamento dos Dados MODIS** – Para este trabalho, utilizamos o produto MOD13Q1 (250m), *tile* h13v10, obtido através do *Eros Datacenter Gateway* (<http://edcdaac.usgs.gov/main.html>) via *ftppull*, para as datas de compositing de 29 de agosto de 2001 e 28 de julho de 2002 (**Figura 2**).

Estes dados, originalmente na projeção *integerized* sinusoidal e no formato HDF<sup>5</sup>, foram convertidos para a projeção UTM e formato GeoTiff através do *MODIS Reprojection Tool* (<http://edcwww.cr.usgs.gov/programs/sddm/modisdist/index.shtml>).

Quanto à detecção de mudanças na cobertura vegetal, procedeu-se a razão das imagens NDVI de 2002 e 2001. A imagem razão resultante corresponde aproximadamente a uma distribuição normal (**Figura 3**), na qual os pixels que sofreram mudanças nos seus valores de radiância tendem a se concentrarem nas extremidades do histograma, enquanto os valores digitais dos pixels inalterados se agrupam em torno do valor médio, ou seja, um (1). O limiar entre os pixels que sofreram mudanças daqueles inalterados foi definido com base no coeficiente de correlação (*r*) entre as imagens NDVI de 2002 e 2001, assumindo-se neste caso que *r* é proporcional ao número de pixels inalterados.

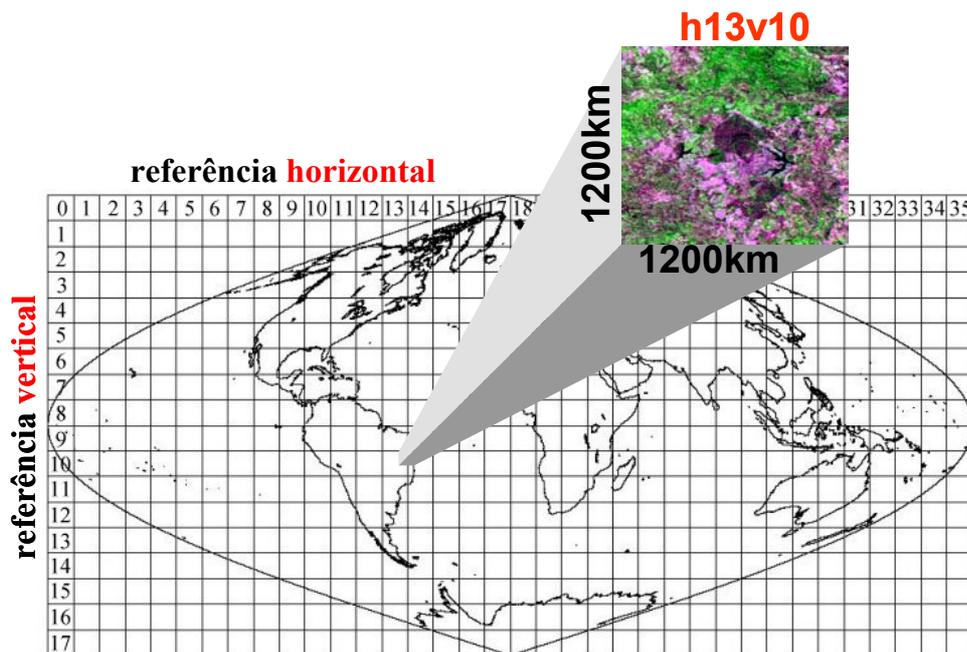
<sup>5</sup> - Hierarchical Data Format.

15° 17' 23"  
48° 26' 31"

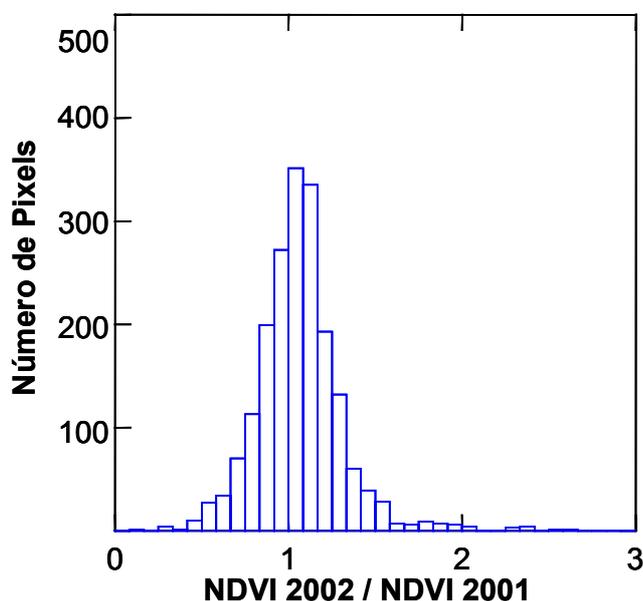


16° 08' 59"  
47° 34' 39"

**Figura 1-** Recorte espacial do *tile* h13v10 (composição colorida RGB/1628-1652nm, 841-876nm, 620-670nm). Em destaque, o Parque Nacional de Brasília.



**Figura 2** – Sistema de referência dos produtos MODIS, onde cada *tile*, correspondendo à uma área de 1200 x 1200 km, é designado por uma referência horizontal e vertical.



**Figura 3** – Histograma relativo à imagem razão NDVI 2002 / NDVI 2001. Valores próximos a um (1) correspondem aos pixels inalterados.

### 3. Resultados e Discussão

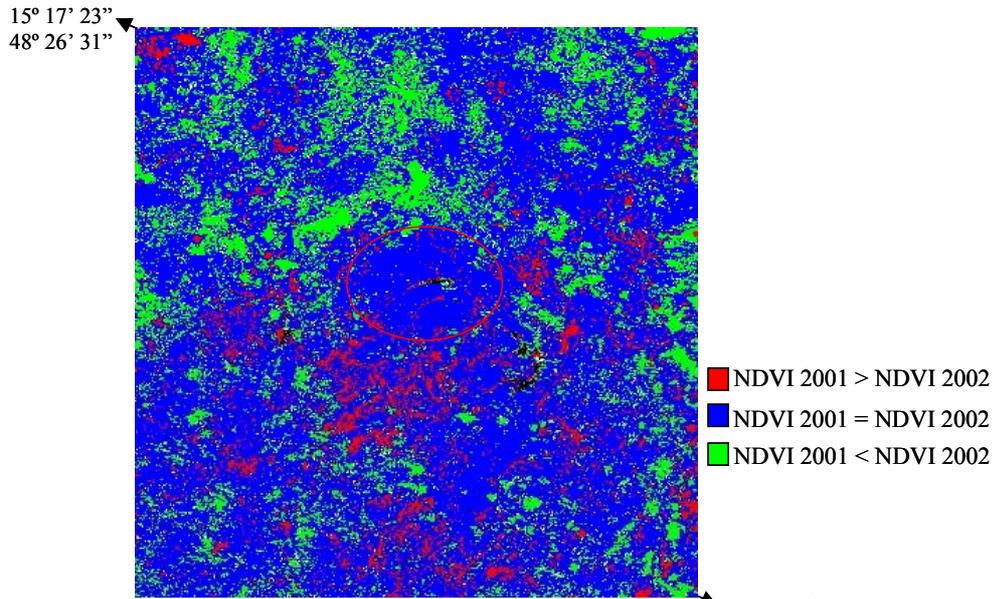
A imagem resultante da razão NDVI 2002 / NDVI 2001 é mostrada na **Figura 4**. Nesta, todos os pixels com valor digital entre 0.8 e 1.2 foram considerados inalterados, enquanto os pixels com valores digitais menores que 0.8 e maiores que 1.2 foram classificados como tendo valores de NDVI mais elevados em 2001 e 2002, respectivamente. O uso de tais limiares resultou em 69% de pixels inalterados, conforme o coeficiente de correlação obtido entre as imagens NDVI de 2002 e 2001 ( $r = 0.69$ ).

É interessante observar que para o Parque Nacional de Brasília, uma área de proteção integral, o uso de tais limiares resultou em 91% de pixels inalterados e 6% de pixels com valores NDVI mais elevados em 2001, resultado este compatível com a maior pluviosidade observada em 2001<sup>6</sup>.

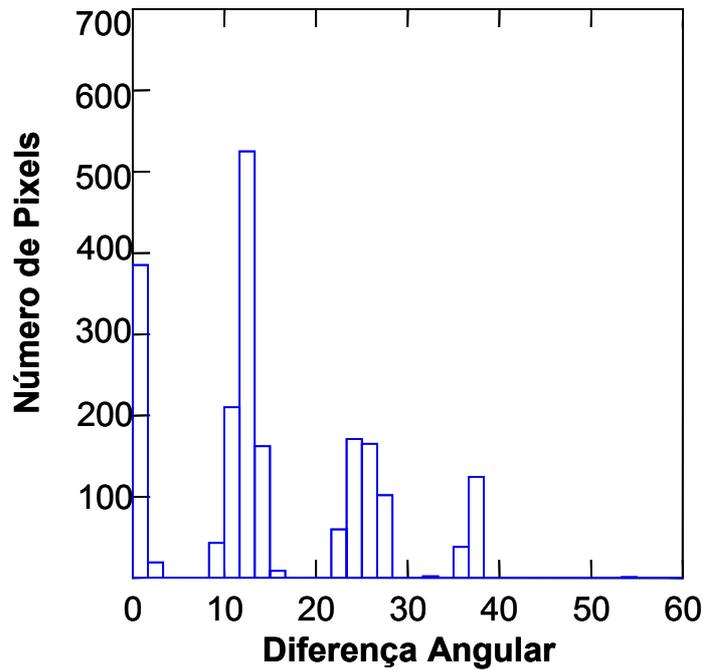
Em fato, a tolerância de 20% para o limiar de mudança / não mudança (i.e. 0.8 a 1.2) parece acomodar de forma satisfatória as significativas diferenças na geometria de aquisição observadas entre as imagens 2001 e 2002 (**Figura 5**). Por outro lado, a qualidade geral das imagens NDVI 2002 e 2001 é bastante próxima. Conforme pode ser observado na **Tabela 2**, para as imagens 2002 e 2001, respectivamente, 85% e 73% dos pixels correspondendo à área do Parque Nacional, apresentam contaminação por nuvens e utilidade do índice de vegetação abaixo da qualidade intermediária.

Os resultados apresentados neste estudo, ainda que de caráter preliminar, demonstram plenamente o potencial do produto MOD13 para o monitoramento sistemático e contínuo da

<sup>6</sup> - Conforme dados da estação meteorológica existente no interior do Parque Nacional de Brasília.



**Figura 4-** Imagem resultante da razão NDVI 2002/2001 (resorte espacial do *tile* h13v10). Em destaque, o Parque Nacional de Brasília.



**Figura 5 –** Diferença no ângulo de visada entre as imagens 2001 e 2002 (valores em módulo)

cobertura vegetal no bioma Cerrado. Novos estudos, já em andamento, estão avaliando a transformação das imagens reflectância através de um modelo linear de mistura espectral. Enquanto a comparação entre índices de vegetação (ex. NDVI) evidencia principalmente mudanças nas condições da superfície (ex. vigor da vegetação), há a expectativa de que a

comparação de imagens\_fração (ex. imagem\_fração solo) favoreça a detecção de mudanças de estado da superfície (ex. Cerrado *strictu sensu* → pastagem cultivada).

Por fim, deve-se destacar a operacionalidade plena no uso dos dados MODIS. Especificamente em relação às imagens utilizadas neste trabalho, foram necessários apenas 4 horas para o *download* de aproximadamente 1,1 *Gbytes* de dados e o pré-processamento destes, i.e. projeção e recorte espacial conforme a área de estudo selecionada.

Tabela 2 - Descrição da imagem <i>Quality Assurance</i> para o NDVI																	
Data		"Bit Number"															
2001	2002	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
73 %	85 %	10		0110				00		0	1	0	01		0	0	1
23 %	14 %	10		0110				00		1	0	0	01		0	0	1
		<p><b>Qualidade do IV</b> (00 - IV produzido com boa qualidade; 01 - IV produzido com qualidade duvidosa; <b>10 - IV produzido com contaminação de nuvens</b>; 11 - IV não produzido)</p> <p><b>Índice de Utilidade do IV</b> (0000 - qualidade perfeita; 0001 - alta qualidade; 0010 - boa qualidade; 0011 - qualidade aceitável; 0100 - qualidade regular; 0101 - qualidade intermediária; <b>0110 - abaixo da qualidade intermediária</b>; 0111 - qualidade média; ...)</p> <p><b>Quantidade de Aerosol</b> (<b>00 - correção atmosférica baseada em climatologia</b>; 01 - baixa; 10 - intermediária; 11 - alta)</p> <p><b>Atmosfera</b> - Correção para Efeitos de Adjacência (<b>0 - sem correção</b>; <b>1 - com correção</b>)</p> <p><b>Atmosfera</b> - Correção para efeito de BRDF (<b>0 - sem correção</b>; <b>1 - com correção</b>)</p> <p><b>Nuvens Misturadas</b> (<b>0 - sem nuvens misturadas</b>; 1 - com nuvens misturadas)</p> <p><b>Máscara Água / Terra</b> (00 - Oceano / corpos d'água continentais; <b>01 - região costeira</b>; 10 - áreas alagadiças; 11 - terra)</p> <p><b>Neve / Gelo</b> (<b>0 - não</b>; 1 - sim)</p> <p><b>Sombra</b> (<b>0 - não</b>; 1 - sim)</p> <p><b>Método de Compositing</b> (0 - BRDF compositing; <b>1 - CV - MVC</b>)</p>															

#### 4. Referências

- Goward, S. N., Markham, B.; Dye, D. G.; Dulaney, W.; Yang, J. Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. *Remote Sensing of Environment* 35, p. 257-277, 1991.
- Justice, C. O.; Vermote, E.; Townshend, R. D.; Roy, D. P.; Hall, D. K.; Salomonson, V. V.; Privette, J. L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, R. B.; Knyazikhin, Y.; Running, S. W.; Nemani, R. R.; Wan, Z.; Huete, A. R.; van Leeuwen, W. J. D.; Wolfe, R. E.; Giglio, L.; Muller, J.; Lewis, P.; Barnsley, M. J. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), p. 1-22, 1988.
- Mantovani, J.E.; Pereira, A. 1998. Estimativa da integridade da cobertura vegetal de cerrado através de dados TM/Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, set. 1998. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 1998. Repositório da URLib: <[sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.57](http://sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.57)>
- Moody, A.; Strahler, A.H. Characteristics of composited AVHRR data and problems in their classification. *International Journal of Remote Sensing*, 15 (17), p. 3473-3491, 1994.
- Nepstad, D.; Klink, C. A.; UHL, C.; Vieira, I. C.; Lefebvre, P.; Pedlowski, M.; Matricardi, E.; Negreiros, G.; Brown, I. F.; Amaral, E.; Homma, A.; Walker, R.. Land use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. *Ciência & Cultura* (Sao Paulo), 49, p. 73 – 86, 1997.
- Sano, E. E.; Barcellos, A. O.; Bezerra, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. *Pasturas Tropicales*, 22 (3), p. 2-15, 2001.
- Skole, D.L.; Chomentowski, W.H.; Salas, W.A.; Nobre, C.A. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Biosciences*, 44, p. 314-322, 1994.
- van Leeuwen, W.J.D.; Huete, A.R.; Laing, T.W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 69, p.264-280, 1999.