

Efeito da correção atmosférica na classificação de índices espectrais para o mapeamento de áreas queimadas

Silvia Cristina de Jesus¹
Alberto Setzer¹
Fabiano Morelli¹
Pietro de Almeida Cândido¹
Arturo Emiliano Melchiori¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Cx. Postal 515 – CEP 12245-970, São José dos Campos – SP
silvia.jesus@inpe.br; {alberto.setzer, fabiano.morelli, pietro.candido,
emiliano.melchiori}@cptec.inpe.br

Abstract. This paper investigates the impact of atmospheric correction (AC) for medium-resolution imagery in the mapping of fire scars when using automatic classification based on the spectral composite indexes NBR, dNDVI and dNBR. 11 Landsat-5/TM scenes of a same Cerrado area in 2005-2006 provided 9 time-consecutive pairs in which a visual analysis provided the reference mapping of burned areas. Automatic digital classification of the three indexes with 10 output classes, including one specific for burn scars, was compared with and without the use of the so-called “6S” AC algorithm. Results show that atmospherically corrected and uncorrected data are highly correlated ($R^2 \approx 1$). The values in the contingency tables for both procedures are not significantly different; considering AC and non-AC values for all the data, the overall accuracy is above 99% for both, the product accuracy for scars is 79.6% and 82.6%, and the user accuracy is 92.2% and 94.3%, respectively. In conclusion, the mapping of fire scars in medium-resolution imagery doesn't require atmospheric correction when the most common indexes for burned area estimates are used with automatic classification, what may simplify the processing chain of large image datasets; however, this may not be the case in non-automatic classification, when surface reflectance thresholds are defined for individual scenes and applications.

Palavras-chave: Fire; change detection; multitemporal analysis; atmospheric correction; NBR; NDVI; queimadas; detecção de mudanças; análise multitemporal

1. Introdução

As séries temporais de imagens orbitais são importantes fontes de informação para compreender a dinâmica do uso e cobertura da terra e de eventos como a ocorrência de queimadas, desmatamento, expansão urbana, deslizamentos, entre outros, que implicam em grandes alterações no comportamento espectral na superfície. Adicionalmente, fatores como condições atmosféricas, iluminação, ângulos de visada, umidade do solo e calibração do sensor implicam em variações nos valores de reflectância terrestre (Mas, 1999). Um método de detecção de mudanças é o da composição colorida de dados multitemporais (Li e Tao, 2000; Kravtsova e Baldina, 2006). Ao lidar com imagens multitemporais as cenas obtidas em diferentes épocas devem também ser compatíveis em termos de características radiométricas. O sinal identificado pelo sensor orbital é alterado pelo espalhamento e absorção de gases e aerossóis presentes na atmosfera, que variam espacial e temporalmente (Kaufman, 1993.). Estas interferências podem ser corrigidas a partir de diversos modelos de transferência radiativa (Berk, 1998; Chavez, 1988; McGarragh, 2012; Kotchenova et al., 2006) que usam como parâmetros propriedades óticas atmosféricas no momento de aquisição da imagem orbital, nem sempre disponíveis. Sua função é reduzir erros na estimativa da reflectância de superfície e ajustar conjuntos de dados multitemporais em uma escala radiométrica, e não a de adicionar informações à imagem original (Song, 2001), e tampouco deve afetar a classificação automática (Vanonckelen et al., 2013).

Alguns métodos que usam os algoritmos de classificação automática dispensam a correção atmosférica das imagens, como a classificação automática baseada em dados de treinamento coletados na própria cena, mesmo nos casos de classificação multitemporal, ou seja, sobre bandas de imagens de datas diferentes (Song et al., 2001). Porém, os efeitos atmosféricos alteram os valores dos índices espectrais, principalmente aqueles que consideram várias bandas, visto que a influência atmosférica varia de acordo com a região do espectro eletromagnético. No cálculo do NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse et al., 1973), por exemplo, a região do visível sofre mais os efeitos da atmosfera do que a região do infravermelho (Slater, 1980), sendo calculado a partir de imagens Landsat/TM pela Equação 1:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \quad (1)$$

Considerando os efeitos da atmosfera, deveria ser representado pela Equação 2:

$$NDVI = \frac{(TM4 - TM3) - (A4 + A3)}{(TM4 + TM3) - (A4 + A3)} \quad (2)$$

onde A3 e A4 são, respectivamente, os efeitos aditivos não lineares da atmosfera para as bandas TM3 e TM4 (Song et al., 2001). Estas contribuições podem chegar a 50% ou mais em áreas de vegetação rala ou degradada (Verstraete, 1994).

O índice NBR - *Normalized Burn Ratio* (López Garcia e Caselles, 1991) e sua variação multitemporal dNBR é usado principalmente para avaliação da severidade de queimadas e incêndios na vegetação (Miller e Thode, 2013). Fang e Yang (2014) compararam o resultado de mapas de severidade gerados a partir do dNBR com correção atmosférica feita por seis diferentes métodos, comparando os resultados com o *Composite Burn Index* (CBI) que é uma medida de severidade estimada em campo, e concluíram que a maioria dos algoritmos aumenta em 32% a acurácia dos mapas de severidade.

O objetivo deste trabalho é determinar se a correção atmosférica em imagens de média resolução tem impacto no mapeamento de cicatrizes de queimadas usando classificação automática com os índices multiespectrais NBR, dNDVI e dNBR.

2. Método

2.1. Área de interesse

As análises foram feitas a partir do processamento de uma série temporal de imagens do satélite Landsat-5/TM para a órbita/ponto 221/067, cobrindo uma área de ~27.600 km², na região do Parque Estadual do Jalapão, TO, e de outras áreas protegidas: Estação Serra Geral do Tocantins e Parque das Nascentes do rio Parnaíba. A vegetação dominante é composta por gramíneas com extensivas áreas de Cerrado, principalmente Cerrado Ralo, e algumas regiões de Cerradão, Veredas e Campos Limpos. (SEPLAN, 2003).

2.2. Aquisição das cenas

As imagens Landsat-5 registradas e ortorretificadas são fornecidas pela USGS (United States Geological Survey), por meio da página Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Elas contêm informações de número digital, mas podem ser processadas para gerar dados de reflectância de topo de atmosfera, ou ainda de reflectância de superfície, a partir de um modelo de transferência radiativa. A USGS fornece sob demanda os dados com correção atmosférica, gerados pelo programa *Landsat Ecosystem Disturbance Processing* (LEDAPS) (Masek et al., 2006). Foram selecionadas as cenas disponíveis dos anos de 2005 e 2006 com menos de 10% de cobertura de nuvens, e suas características estão resumidas na Tabela 1.

Tabela1. Principais características das cenas utilizadas.

Unidade	Data da cena (aaaammdd)	Dia Juliano	Tipo do dato	Fator de Escala	Varição dos valores
Reflectância de Superfície	20050707	188	INT16	0,0001	-2.000 a 16.000
	20050723	204			
	20050808	220			
	20050824	236			
	20050909	252			
	20060523	143			
	20060608	159			
	20060624	175			
	20060723	207			
	20060811	223			
Número Digital (Count)	20060827	239	INT8	1,0	0 a 255
	20050707	188			
	20050723	204			
	20050808	220			
	20050824	236			
	20050909	252			
	20060523	143			
	20060608	159			
	20060624	175			
	20060723	207			
20060811	223				
20060827	239				

2.3. Geração da composição de índices espectrais

Foram gerados para os dois conjuntos de imagens os índices NBR_{t2} , $dNDVI$ e $dNBR$ (equações 3 a 5), do tipo “signed 8-bit”.

$$NBR = \frac{TM4 - TM7}{TMA + TM7} \quad (3)$$

$$dNDVI = NDVI_{t2} - NDVI_{t1} \quad (4)$$

$$dNBR = NBR_{t2} - NBR_{t1} \quad (5)$$

onde $t1$ e $t2$ são as cenas de datas consecutivas. Estes índices foram usados na composição colorida de imagens de índices espectrais, sendo que cada par de cenas de datas consecutivas gerou uma composição e um mapeamento de cicatrizes de queimadas. Deste modo, foram produzidos quatro mapeamentos para 2005 e cinco para 2006. A composição de índices foi usada para a classificação não supervisionada (método ISODATA), com 10 classes, 6 iterações e limite de convergência de 0,95. Estes parâmetros foram os melhores para comparar visualmente a composição de índices com o resultado da classificação. Assim, das 10 classes geradas, apenas uma representou as cicatrizes de queimadas, e as demais corresponderam a outras feições na superfície, como diferentes tipos de vegetação, corpos d’água e solo exposto. Posteriormente, as 10 classes foram recodificadas, de modo a apresentar apenas as classes “queimada” e “não queimada”. As áreas de requeima ficaram contidas apenas no mapa temático referente à cena mais antiga em que a cicatriz tornou-se visível. Isto foi necessário porque o

dado de referência é um vetor com todas as cicatrizes do ano, e áreas de queima estariam representadas em polígonos sobrepostos.

2.4. Mapeamento de Referência

O mapeamento de referência é o dado considerado como verdade para o cálculo dos erros de omissão e comissão do produto automático, e neste caso usou-se a base de validação do Projeto Cerrado-Jalapão (MMA-GIZ, 2014). A composição de índices usada no mapeamento visual foi feita com as cenas sem correção atmosférica. A segmentação sobre a composição de índices foi feita com nível de escala dos segmentos igual a 40 e nível de junção igual a 60. Os polígonos referentes às cicatrizes de queimadas foram selecionados e editados na escala 1:50.000. Em seguida, as áreas contidas em mais de um mapeamento foram editadas e incluídas apenas no mapeamento das cenas mais antigas em que as cicatrizes aparecem. Os dados passaram por auditoria para conferência de exatidão. Todos os cálculos de área foram feitos usando a projeção Albers Equal Area Brazil. Adicionalmente, considerou-se na análise dos resultados a ocorrência de focos de queima de vegetação obtidos do Programa Queimadas do INPE (INPE, 2014).

2.5. Comparação dos dados com e sem correção atmosférica

As estatísticas de média e desvio padrão dos valores dos índices das imagens foram geradas para toda a cena. As análises de correlação foram feitas para 1.000 pontos aleatórios com distância de no mínimo 50 metros entre eles. A comparação dos erros de omissão e comissão com e sem correção atmosférica entre polígonos de área queimada gerados automaticamente com o mapeamento de referência foi feita por operadores booleanos para gerar mapas temáticos de erros. O número de pixels de acertos (queimada e não queimada) e erros foi usado como dado de entrada para calcular: a) acerto global das informações; b) erro global das informações; c) acerto de queimadas; d) erro de omissão de queimadas; e) confiabilidade do algoritmo; f) erro de comissão do algoritmo (Congalton e Green, 2008).

3. Resultados e discussão

Os índices espectrais usados na composição colorida gerados a partir de cenas com e sem correção atmosférica são altamente correlacionados, com coeficientes de determinação (R^2) próximos de 1,0, e os valores de ganho e offset nas equações de correlação linear, próximos de 1,0 e 0,0, respectivamente. As variações interanuais em 2005 e 2006 estão relacionadas aos parâmetros usados pelo LEDAPS como dados de entrada para o modelo de transferência radiativa 6S- *Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum* (Kotchenova et al., 2006; USGS, 2013). A correlação nas análises de 2006 para o NDVI indica que a correção atmosférica foi irrelevante para este índice, com grande proximidade dos valores calculados com os dois conjuntos de imagens.

A variância nos valores das cenas também foi similar, como mostra a Tabela 2, sendo que grandes variações poderiam ter implicações no agrupamento de classes pelo algoritmo ISODATA. A Tabela 3 mostra o resultado das áreas calculadas para os mapeamentos com e sem correção atmosférica, e do dado de referência, e o número de focos de queima da vegetação (INPE, 2014) para os períodos de análise. Para o ano de 2005, tanto a área queimada calculada pelo mapeamento de referência quanto pelo automático tiveram picos correspondentes ao número de focos de queima da vegetação, com valores ascendentes durante o período analisado. Em 2006, o número de focos foi crescente, mas a área queimada do dado de referência e do processamento automático têm quedas bruscas no período 20060723 a 0811, o que se deve à exclusão dos polígonos de queima. Em média, o processamento automático a partir de imagens com correção atmosférica superestima a área queimada em 15%, enquanto que o mesmo procedimento realizado em cenas sem correção gera resultados em média 16% maior do que o mapeamento de referência, sendo que a variação entre os resultados chega até 34%. A

superestimação é oriunda de pixels isolados gerados na classificação automática, já que não foram aplicados filtros na composição de índices. 98% dos polígonos para ambos os conjuntos de dados tem menos de 1 km² de área.

Tabela 2. Estatísticas das imagens dos índices espectrais.

		Com correção atmosférica								
		20050707 a 0723	20050723 a 0808	20050808 a 0824	20050824 a 0909	20060523 a 0608	20060608 a 0624	20060624 a 0723	20060723 a 0811	20060811 a 0827
NBR	μ	0,13	0,12	0,09	0,08	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09
	ρ^2	0,16	0,16	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14
dNDVI	μ	-0,02	-0,02	-0,01	0,02	-0,01	-0,01	-0,03	-0,01	-0,02
	ρ^2	0,11	0,08	0,07	0,06	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04
dNBR	μ	-0,00	-0,02	-0,03	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02
	ρ^2	0,07	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	-0,03	0,05	0,01
		Sem correção atmosférica								
		20050707 a 0723	20050723 a 0808	20050808 a 0824	20050824 a 0909	20060523 a 0608	20060608 a 0624	20060624 a 0723	20060723 a 0811	20060811 a 0827
NBR	μ	0,13	0,12	0,09	0,08	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09
	ρ^2	0,15	0,15	0,14	0,14	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15
dNDVI	μ	-0,02	-0,02	-0,01	0,03	-0,02	-0,01	-0,04	-0,02	-0,02
	ρ^2	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
dNBR	μ	-0,01	-0,01	-0,03	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02
	ρ^2	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06

Tabela 3. Área queimada em km², número de focos e avaliação dos dois procedimentos.

Período do mapeamento	Área queimada						Número de focos no período	
	Referência (A)	Algoritmo com Corr. Atm. (B)	Relação (B-A)/A	Algoritmo sem Corr. Atm. (C)	Relação (C-A)/A	Relação (B-C)/C	Todos os satélites	Satélite de Referência
20050707 a 0723	389	572	47%	564	45%	1%	409	141
20050723 a 0808	432	631	46%	617	43%	2%	456	137
20050808 a 0824	482	724	50%	672	39%	8%	686	198
20050824 a 0909	676	1.047	55%	1.039	54%	1%	1.126	359
20060523 a 0608	362	414	15%	367	2%	13%	133	63
20060608 a 0624	421	393	-7%	430	2%	-9%	145	67
20060624 a 0723	956	850	-11%	771	-19%	10%	330	94
20060723 a 0811	757	447	-41%	674	-11%	-34%	521	132
20060811 a 0827	1.066	894	-16%	962	-10%	-7%	858	181
Total	5.541	5.972	8%	6.096	10%	-2%	4.664	1.372
Média	616	664	15%	677	16%	-2%	518	152

A Figura 1 compara o resultado dos dois conjuntos de dados com o mapeamento de referência para o período 20060811 a 0827. Os erros de omissão e comissão foram similares nos dois conjuntos de dados (Tabela 4); as exceções estão no período 20060523 a 0608, em que o erro de comissão foi duas vezes maior no mapeamento com correção atmosférica, e no período

20060723 a 0811, em que os erros de omissão foram três vezes maior nos dados gerados a partir das cenas corrigidas. Os valores nas tabelas de contingência para os dois procedimentos não foram significativamente diferentes; considerando os resultados com e sem correção atmosférica para todo o conjunto de imagens, o acerto global é superior a 99% para ambos, o acerto de queimadas é 79,6% e 82,6%, e a confiabilidade do algoritmo é 92,2% e 94,3%, respectivamente.

Tabela 4. Acurácia dos resultados com e sem correção atmosférica.

	Acerto global das informações		Erro global das informações	
	Com Corr. Atm.	Sem Corr. Atm.	Com Corr. Atm.	Sem Corr. Atm.
20050707 a 0723	99,5	99,4	0,5	0,6
20050723 a 0808	99,4	99,4	0,6	0,6
20050808 a 0824	99,5	99,2	0,5	0,8
20050824 a 0909	99,1	99,1	0,9	0,9
20060523 a 0608	99,2	99,6	0,8	0,4
20060608 a 0624	99,5	99,5	0,5	0,5
20060624 a 0723	99,3	99,2	0,7	0,8
20060723 a 0811	98,8	99,3	1,2	0,7
20060811 a 0827	99,3	99,5	0,7	0,5
Média	99,3	99,4	0,7	0,6
	Acerto de queimadas		Erro de omissão	
	Com Corr. Atm.	Sem Corr. Atm.	Com Corr. Atm.	Sem Corr. Atm.
20050707 a 0723	81,2	80,2	18,8	19,8
20050723 a 0808	83,4	82,2	16,6	17,8
20050808 a 0824	83,8	77,0	16,2	23
20050824 a 0909	81,5	80,9	18,5	19,1
20060523 a 0608	80,9	87,4	19,1	12,6
20060608 a 0624	80,6	84,5	19,4	15,5
20060624 a 0723	84,7	78,5	15,3	21,5
20060723 a 0811	57,6	84,3	42,4	15,7
20060811 a 0827	83,0	88,6	17,0	11,4
Média	79,6	82,6	20,4	17,4
	Confiabilidade do algoritmo		Erro comissão	
	Com Corr. Atm.	Sem Corr. Atm.	Com Corr. Atm.	Sem Corr. Atm.
20050707 a 0723	95,9	96,1	4,1	3,9
20050723 a 0808	93,8	94,4	6,2	5,6
20050808 a 0824	98,2	97,3	1,8	2,7
20050824 a 0909	97,9	97,9	2,1	2,1
20060523 a 0608	65,9	86,0	34,1	14
20060608 a 0624	86,4	82,7	13,6	17,3
20060624 a 0723	95,2	97,3	4,8	2,7
20060723 a 0811	97,5	99,0	2,5	1,0
20060811 a 0827	99,0	98,2	1,0	1,8
Média	92,2	94,3	7,8	5,7

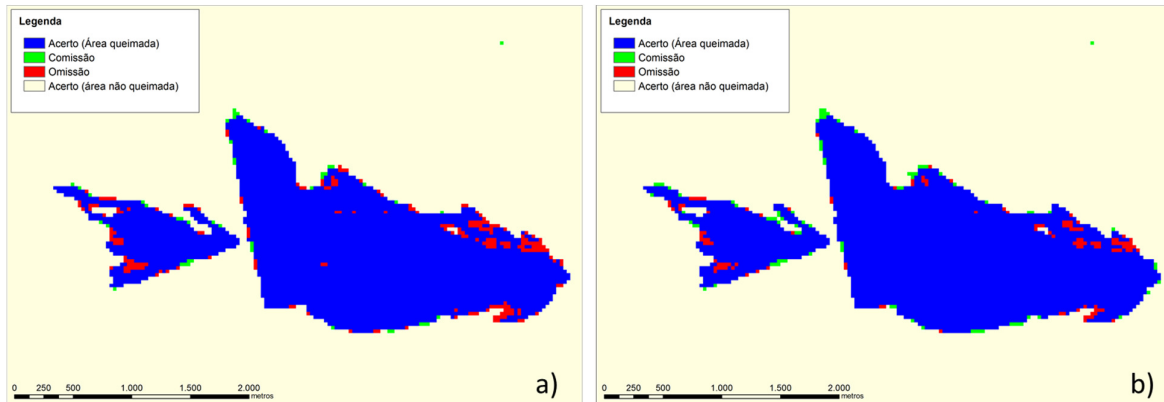


Figura 1. Acertos, erros de omissão e comissão de cicatrizes de queimadas: a) com correção atmosférica; b) sem correção atmosférica.

O acerto global das informações e a confiabilidade do algoritmo apresentaram altos valores porque consideram o total de pixels na cena (Congalton e Green, 2008), sendo que a área queimada mapeada correspondeu a apenas 1% a 4% da área de estudo. Parte dos erros de comissão deve-se à escala insuficiente na edição da referência feita por interpretação visual, enquanto os procedimentos automáticos delimitam os polígonos de acordo com os valores nos pixels, independente de uma escala.

4. Conclusão

Os resultados de mapeamento de queimadas com os índices NBR, dNDVI e dNBR foram altamente correlacionados nas cenas Landsat com e sem correção atmosférica, e a análise das matrizes de contingência destas duas condições indicou similaridade dos valores de acurácia. Esta conclusão sugere a eliminação de rotinas complexas de correção atmosférica no processamento em lotes de imagens de média resolução para o mapeamento operacional de áreas queimadas. Por outro lado, métodos para discriminar áreas queimadas que dependem de limiares pré-definidos de reflectância de superfície devem considerar a variação regional e temporal das condições atmosféricas e de iluminação.

Agradecimentos

Os autores agradecem às bolsas CNPq PCI-INPE-CCST 301787/2013-1 e AP-309765/2011-0, e ao Projeto Cerrado Jalapão MMA-GIZ.

Referências

BERK, A.; BERNSTEIN, L. S.; ANDERSON, G. P.; ACHARYA, P. K.; ROBERTSON, D. C.; CHETWYND, J. H.; ADLER-GOLDEN, S. M. MODTRAN cloud and multiple scattering upgrades with application to AVIRIS. *Remote Sensing of Environment*, v.65, n.3, p. 367–375. 1998.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices.** Florida: CRC Press. 2a Ed. 2008. 200 p.

CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v.24, n.3, p.459- 79, 1988.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento de queimadas e incêndios por satélite em tempo quase-real.** Disponível em www.inpe.br/queimadas . Acesso em 17.out.2014.

KAUFMAN, Y.J. Aerosol optical thickness and atmospheric path radiance. *Journal of Geophysical Research*, v. 98, p. 2677-2692.

KOTCHENOVA, S. Y.; VERMOTE, E. F.; MATARRESE, R.; KLEMM, F. J. Validation of a vector version of the 6S radiative transfer code for atmospheric correction of satellite data. Part I: Path Radiance. **Applied Optics**, v.45, n.26, p.6762–6774. 2006.

KRAVTSOVA, V.I.; BALDINA, E.A. Study of natural and economical objects dynamics by color composition of multitemporal images. In: ISPRS Midterm Symposium, 36., 2006, Netherlands. **Proceedings of...** Netherlands: ISPRS, 2006. p. 534-538.

LI, B. G.; TAO, S. A new method for vegetation change detection based on multitemporal Landsat TM image application in vegetation change detection of Dunhuang Oasis. **Journal of Remote Sensing**, v.11, n.4, p.295–298. 2000.

LÓPEZ GARCIA, M.J.; CASELLES, V. Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. **Geocarto International**, v. 6, n. 1, p. 31-37. 1991.

MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.1, p.139-152. 1999.

MASEK, J.G.; VERMOTE, E.F.; SALEOUS, N.; WOLFE, R.; HALL, F.G.; HUENNRICH, F.; GAO, F.; KUTLER, J.; LIM, T.K. A Landsat surface reflectance data set for North America, 1990-2000, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**. v.3, p. 68-72. 2006.

McGARRAG, G. XRTM – X Radiative Transfer Model. Disponível em <http://reef.atmos.colostate.edu/~gregm/xrtm/doc/xrtm.pdf>. Acesso em 16.out.2014.

MILLER, J.D.; THODE, A.E. Quantifying burn severity in a heteroneneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 1, p. 66-80. 2007.

MMA/ GIZ - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE / DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMERARBEIT. **Projeto Cerrado Jalapão**: Prevenção, controle e monitoramento de queimadas irregulares e incêndios florestais no Cerrado. Disponível em <http://www.mma.gov.br/quem-%C3%A9-quem/item/9492-projeto-cerrado-jalap%C3%A3o>. Acesso em 20 out. 2014.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., 1973. **Proceedings of....**, Washington: NASA, 1973. v.1, Sec.A, p. 309-317.

SEPLAN – Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Jalapão**. 131 p. 2003.

SLATER, P.N. **Remote Sensing Optics and Optical Systems**. Reading, MA: Addison –Wesley. 1980. 575 p.

SONG, C.; WOODCOCK, C.E.; SETO, K.C.; LENNEY, M.P.; MACOMBER, S.A. Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 230-244. 2001.

USGS – United States Geological Survey. **Landsat climate data record (CDR) surface reflectance** – Product Guide version 5.2, 2014. Disponível em http://landsat.usgs.gov/documents/cdr_sr_product_guide.pdf. Acesso em 17.out.2014.

VANONCKELEN, S.; LHERMITTE, S.; VAN ROMPAEY, A. The effect of atmospheric and topographic correction methods on land cover classification accuracy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.24, p.9-21. 2013.

VERSTRAETE, M. The contribution of remote sensing to monitor vegetation and to evaluate its dynamic aspects. In: Veroustrate, F.; Ceulemans, R.; Impens, I.P.; Van Rensbergen, J. (Orgs). **Vegetation, modelling and climatic change**. Netherlands: SPB Academic Publishing, 1994, p. 207-212.