

Comparação da resposta espectral de alvos em imagens CBERS-2/CCD e LANDSAT-5/TM

Mauricio Alves Moreira¹
Viviane Cardoso¹
Ramon Morais de Freitas¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
mauricio, vivian; ramon; bernardo@ltd.inpe.br

Abstract. Considering the similarity between Landsat-5/TM and CBERS-2/CCD sensors in terms of the green, red and near infrared spectral bands, the objective of this study was to analyze and compare the spectral variation of six natural resources targets observed on images acquired at similar dates by these sensors. The study area was located in the municipality of Cristais, Minas Gerais State, Brazil. Images were acquired by CBERS and Landsat on 27 and 22 July 2004, respectively. They were atmospherically corrected and rectified. Digital values were transformed to reflectance and NDVI values to perform the data analysis. Significant differences were observed for reflectance values of equivalent bands; however, they were highly correlated indicating that similar results can be obtained for digital or visual classification. For quantitative analysis that involve the use of NDVI it is necessary to perform an adjustment to make the data equivalent. In general, CCD values were higher than TM values. Further studies should be carried out with images acquired at different periods to analyze for seasonal effects on sensor image comparisons.

Palavras-chave: spectral behavior, image comparison, remote sensing, comportamento espectral, comparação de imagens, sensoriamento remoto.

1. Introdução

Após a consolidação da relevância das imagens de satélites de sensoriamento remoto para obter informações dos recursos naturais, muitos Países, entre eles o Brasil, investiram recursos financeiros significativos para colocar em órbita satélites de observação da Terra e alcançaram autonomia e independência tecnológica nesta área. Além disso, foi adquirido vasto conhecimento científico e tecnológico no que se refere à análise das imagens, o que assegura o sucesso do uso destas imagens junto à comunidade científica e acadêmica beneficiando a sociedade como um todo por meio do fornecimento de informações objetivas e confiáveis do meio ambiente.

Os satélites de observação da Terra têm uma grande diversidade de sensores que permitem obter imagens com diferentes características, as quais se adaptam às mais diversas aplicações do sensoriamento remoto. Para que a dinâmica dos alvos terrestres possa ser observada e monitorada adequadamente, um dos aspectos relevantes do sensoriamento remoto é a frequência temporal com que as imagens são adquiridas pelos sensores a bordo de satélites. A análise combinada de imagens adquiridas por diferentes sensores/satélites em aplicativos de processamento de imagens e em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é uma alternativa viável para aumentar a frequência de observação dos alvos.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo analisar e comparar a variação espectral de seis alvos da superfície terrestre observados por imagens adquiridas em datas muito próximas pelos sensores CCD (Charge Coupled Device) e TM (Thematic Mapper) a bordo dos satélites Landsat-5 e CBERS-2, respectivamente.

2. Metodologia

O estudo foi realizado no município de Cristais, centro-sul do estado de Minas Gerais, conforme mostrado na **Figura 1**.

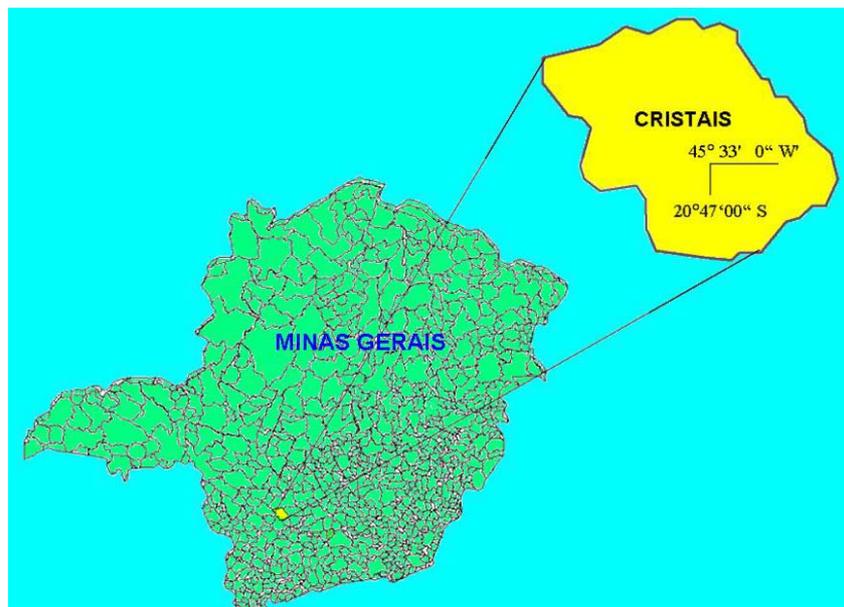


Figura 1- Localização da área de estudo.

O relevo do município varia de plano a suavemente ondulado. Os solos são de baixa fertilidade predominando os Latossolos (EMBRAPA, 1999). O uso e ocupação do solo são: pastagens naturais ou artificiais (predominante), matas reservas e de galeria (pouco expressivas), lavouras de verão (milho e arroz) e café que segundo o IBGE (2004) ocupa uma área de 8.000 ha no município.

A primeira etapa do estudo foi gerar um banco de dados de imagens em meio digital das bandas TM2 (verde; 520 a 600 nm), TM3 (vermelho; 630 a 690) e TM4 (infravermelho próximo; 760 a 900 nm) do sensor TM do satélite Landsat-5 e das bandas CCD2 (verde; 520 a 590 nm), CCD3 (vermelho; 630 a 690) e CCD4 (infravermelho próximo; 770 a 890 nm) do sensor CCD a bordo do CBERS-2 (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Informações sobre as imagens

DADOS	CBERS-2/CCD	LANDSAT-5/TM
Órbita /ponto	154/123	219/74
Data da Imagem	27-07-2004	22-07-2004
Bandas espectrais	CCD2, CCD3 e CCD4	TM2, TM3 e TM4
Elevação solar	37,0°	37,0°
Azimute solar	41,4°	42,3°

Sobre as imagens inseridas no banco de dados, aplicaram-se os procedimentos de pré-processamento, ou seja, realce de imagens, registro e recorte da área de estudo. Posteriormente, fez-se a correção atmosférica das imagens CBERS-2/CCD, por meio do modelo 5S (Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire), conforme descrito em Tanré et al. (1992). A seguir as imagens Landsat-5/TM foram restituídas, tendo como base os dados do CBERS-2/CCD. Esse procedimento visou homogeneizar os dados dos dois satélites/sensores para condições atmosféricas semelhantes (Hall et al., 1991). Todo procedimento de retificação foi realizado no aplicativo PCI Geomatics (PCI, 1997). A metodologia adotada está ilustrada na **Figura 2** e descrita a seguir: a) *criação dos canais* que são planos de informações criados no PCI para armazenar as imagens de cada data de passagem do satélite; b) *geração de imagens reflectância* que são a transformação das imagens de nível de cinza para reflectância, usando o programa Reflet.mod do aplicativo PCI; c) *geração de imagens verdor (greenness) e brilho (brightness)* por meio do programa Grbr.mod do aplicativo PCI, a partir das imagens reflectância das bandas 3, 4 e 5 dos sensores TM e CCD (Kauth & Thomas; 1976; Hall et al., 1991); d) *criação de máscaras* que consiste em determinar sobre as imagens verdor e brilho amostras para extrair informações espectrais, que representam as classes água (escuro) e solo exposto (claro) utilizando-se o gráfico de dispersão (eixo Y - valores de verdor e eixo X - valores de brilho) para facilitar a escolha das amostras tanto na imagem base quanto na imagem a ser retificada; e) *médias de reflectância* que é procedimento adotado para determinar as médias dos pontos escuros e claros para todas as datas, nas imagens verdor e brilho; f) *correção das médias* que consiste em corrigir as médias das imagens (verdor e brilho) a serem retificadas, obtidas na etapa anterior, em função da média da imagem base obtida em 27/07/2004; g) *análise dos resultados* que consiste em sobrepor os resultados da retificação sobre o diagrama de dispersão da imagem base para verificar a qualidade da retificação. Esse procedimento foi realizado por meio do programa *Scater Plotter*, disponível no SPRING. Se a dispersão dos dados retificados estiver de acordo com a dispersão da imagem base o resultado é considerado satisfatório, caso contrário reinicia-se o procedimento a partir da etapa (d).

Uma vez concluído este procedimento no aplicativo PCI, as imagens foram exportadas para o aplicativo SPRING. O diagrama de dispersão facilitou a definição da faixa dos valores de reflectância e a confirmação do êxito da retificação, pois ele possibilitou visualizar a sobreposição dos dados da imagem base com a imagem retificada, conforme é mostrado no fluxograma da **Figura 2**.

Terminada a restituição das imagens, o passo seguinte foi obter valores de reflectância para as seis classes de uso do solo: 1) culturas anuais; 2) mata; 3) pasto; 4) solo; 5) café e 6) água. Essa etapa da pesquisa foi realizada da seguinte maneira: a) gerou-se uma categoria temática contendo um plano de informação (PI) para cada uma das classes analisadas, ou seja, as seis classes selecionadas; b) dentro de cada um dos PI foram inseridos, por meio da edição vetorial, polígonos referentes à classe associada; c) no conjunto de dados aplicou-se a estatística de imagem por polígono para cada banda do CCD e do TM e d) os valores médios da reflectância por polígonos, obtidos na etapa anterior, foram exportados para uma planilha eletrônica para a análise estatística.

O conjunto dos dados de reflectância foi analisado pelo teste *t* para pares de observação a partir das seguintes hipóteses:

$$H_0: \mu_i = \mu_j \quad i = 1, \dots, n$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad j = 1, \dots, n$$

em que i é o valor médio da reflectância em cada polígono para uma dada classe, obtido para cada banda da imagem CCD, e j é o valor médio da reflectância do mesmo polígono, para a mesma classe, obtido para cada banda da imagem TM.

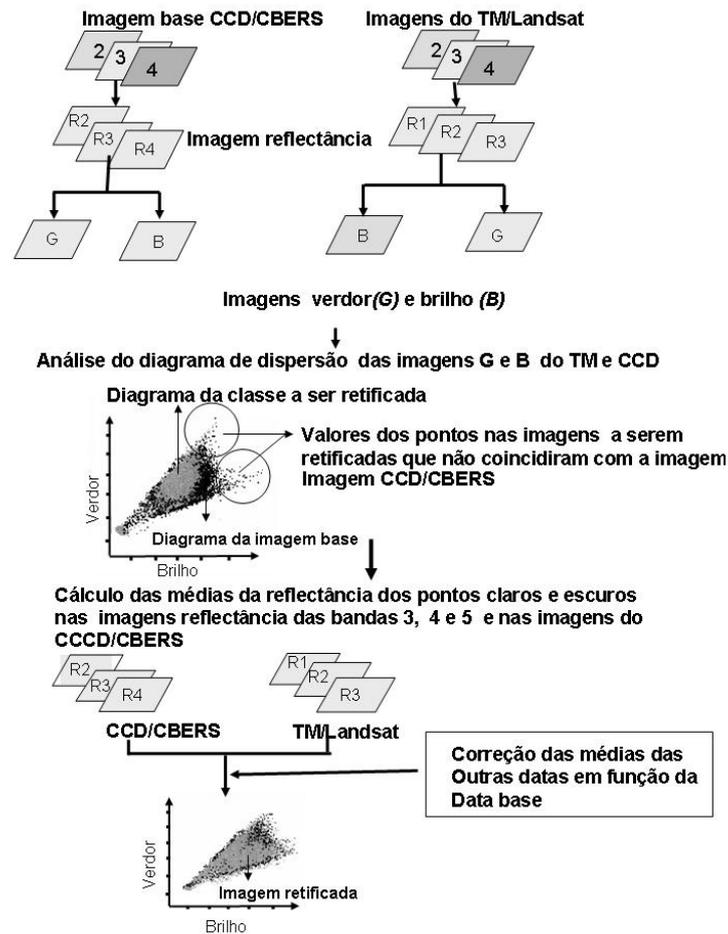


Figura 2 – Fluxograma ilustrativo da sequência metodológica para retificação radiométrica das imagens do CBERS-2/CCD e do Landsat-5/TM.

Os valores médios de reflectância de cada polígono e para cada uma das seis classes seleccionadas foram obtidos nas bandas TM2, TM3, TM4, CCD2, CCD3 e CCD4. Em função da maior influência atmosférica na resposta espectral dos alvos na faixa correspondente ao azul não foram utilizadas as bandas TM1 e CCD1 (azul; 450 a 520 nm). Além disso, esta banda espectral é pouco utilizada no mapeamento de feições vegetais, especificamente áreas agrícolas. A análise estatística foi realizada por meio do teste t para pares de observação conforme descrito em Steel e Torrie (1980) e pela análise de regressão entre bandas espectrais similares empregando-se o pacote de análise estatística Analyse-it Software Ltd.

3. Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta: a) os valores médios de reflectância dos seis alvos analisados nas bandas CCD e TM; b) os valores de t calculado para pares de observação de bandas similares; c) o

coeficiente de correlação (r) entre a reflectância de bandas similares e d) o número de amostras por alvo analisado(n).

Tabela 2 – Valores médios de reflectância dos seis alvos analisados nas bandas CCD e TM; valores de *t* calculado para pares de observação de bandas similares; coeficiente de correlação (r) entre a reflectância de bandas similares; e número de amostras por alvo analisado(n).

Alvo	Reflectância Média (%)		<i>t</i> Calculado	Coeficiente de Correlação	Tamanho da Amostra
	CCD2	TM2	<i>t</i>	r	n
Culturas	9,0	7,8	9,13 **	0,92	14
Mata	4,1	4,5	12,83 **	0,85	39
Solo	12,4	9,5	20,83 **	0,75	17
Café	6,4	6,1	2,95 **	0,97	50
Pasto	8,4	7,2	23,21 **	0,95	37
Água	5,7	6,5	13,11**	0,84	33
	CCD3	TM3	<i>t</i>	r	n
Culturas	10,3	9,12	9,63 **	0,94	14
Mata	5,7	5,8	3,22 **	0,82	39
Solo	15,1	12,9	16,19 **	0,88	17
Café	7,7	7,2	6,60 **	0,98	50
Pasto	10,7	9,46	24,8 **	0,96	37
Água	5,6	5,8	6,23 **	0,81	33
	CCD4	TM4	<i>t</i>	r	n
Culturas	35,2	35,5	0,66 n.s.	0,87	14
Mata	26,8	26,1	4,18 **	0,90	39
Solo	32,7	31,3	5,48 **	0,91	17
Café	34,1	33,6	2,90 **	0,97	50
Pasto	26,9	25,4	19,0 **	0,92	37
Água	4,5	4,6	1,82 n.s.	0,60	33

** , n.s.: significativo ao nível de 1% e não significativo pelo teste *t* para pares de observação.

Pela análise dos resultados contidos na **Tabela 2**, observa-se que os valores de reflectância foram significativamente diferentes entre pares de bandas similares conforme comprovado pelos valores de *t*, exceto para a reflectância dos alvos *culturas* e *água* para a comparação entre as reflectâncias dos sensores CCD e TM na banda 4. Observa-se ainda que os valores médios das reflectâncias dos alvos nas bandas do CCD, em geral, são ligeiramente superiores aos valores de reflectância dos alvos nas bandas do TM. Apesar da diferença entre os valores de reflectância dos alvos estudados nas bandas do CCD e do TM, nota-se que existe uma alta correlação ($r \geq 0,81$) entre todas as bandas similares analisadas, exceto para o solo na banda 2 ($r = 0,75$) e para a água na banda 4 ($r = 0,60$). Em outras palavras, embora os

valores de reflectância nas bandas correspondentes do CCD e do TM, para os alvos analisados, são estatisticamente diferentes eles guardam uma boa correlação o que indica que tanto a classificação digital quanto a classificação visual por meio de técnicas de interpretação visual irão gerar resultados com precisão de mapeamento similar para as imagens destes dois sensores. Mesmo para os alvos água e solo preparado, que apresentaram correlação pouco inferior é de se esperar que a identificação desses alvos, em qualquer uma das imagens, não é prejudicada em função do alto contraste espectral destes alvos em relação aos demais alvos da cena; portanto, não apresentam dificuldade para serem classificadas corretamente em ambos os produtos. Para enfatizar o resultado apresentado acima a **Figura 3** mostra a similaridade visual dos alvos nas imagens CBERS-2/CCD e LANDSAT-5/TM em uma fração da área de estudo.

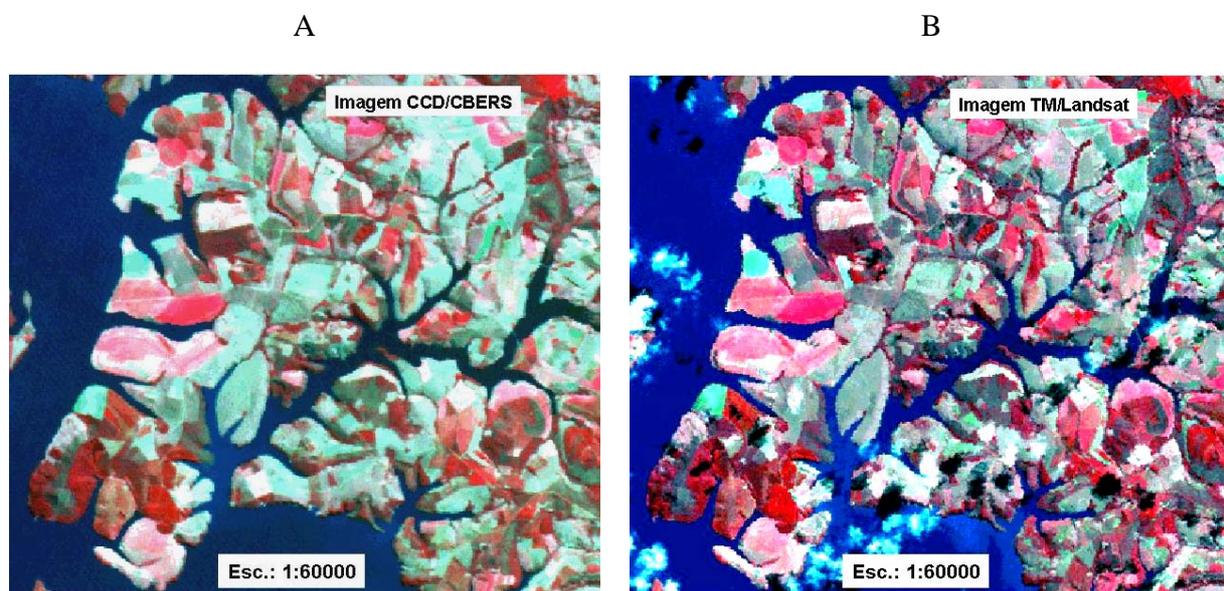


Figura 3 – Imagens reflectâncias, em composição colorida (RGB): A) bandas CCD2 (B), CCD3 (G) e CCD4 (R) e B) TM2 (B), TM3 (G) e TM4 (R) sobre parte da área de estudo.

Considerando ainda que esses dois sensores têm resolução espacial muito semelhante com uma ligeira vantagem para o sensor CCD, podemos afirmar que para fins de mapeamento de áreas agrícolas os dois sensores são equivalentes de tal forma que outros aspectos como custo das imagens e cobertura de nuvens sobre a área de interesse devem ser relevantes na escolha do produto. Mais ainda, este estudo mostra que as imagens podem ser utilizadas de forma combinada aumentando assim a frequência de observação dos alvos terrestres e a probabilidade de se obter imagens livres de cobertura de nuvens que tem sido uma das grandes limitações do uso das imagens de sensoriamento remoto em aplicações na agricultura, em especial, no mapeamento de culturas da safra de verão para fins de estimativa de área plantada.

Para o caso de interpretação de imagens foi observado que os dados são altamente correlacionados (**Tabela 2**), ou seja, as reflectâncias ou níveis de cinza dos alvos registrados por bandas equivalentes dos dois sensores guardam uma forte relação entre si conforme pode ser notado visualmente na **Figura 3**.

Do ponto de vista das aplicações do sensoriamento remoto o resultado deste trabalho foi interessante, pois mostrou que apesar das bandas do CBERS/CCD e do Landsat/TM atuarem praticamente nos mesmos comprimentos de onda do espectro eletromagnético a reflectância dos alvos analisados foi estatisticamente diferente. Logo, o usuário deve estar atento com relação às diferenças entre estes sensores, em especial nas análises quantitativas dos dados das imagens como, por exemplo, na estimativa do índice de área foliar a partir dos dados espectrais transformados no NDVI (Tucker, 1979). Os dados contidos na **Tabela 3** reforçam esta discussão mostrando que foi observada uma diferença significativa entre os valores de NDVI calculados pelo CCD e pelo TM. As equações de regressão da Tabela 3 são apresentadas com o intuito de se estabelecer uma relação quantitativa entre os valores de NDVI calculados pelas bandas dos sensores analisados.

Tabela 3 – Valores de NDVI calculados pelo CCD e pelo TM, valores de t calculado para pares de observação de NDVIs similares; equação de regressão e coeficiente de determinação (R^2) por alvo analisado

ALVO	NDVI_CCD	NDVI_TM	t Calculado	Equação de Regressão	R^2
Agricultura	0,55	0,59	13,6**	$NDVI_{CCD}=0,999*NDVI_{TM}-0,037$	0,95
Mata	0,65	0,63	5,02**	$NDVI_{CCD}=0,749*NDVI_{TM}-0,175$	0,87
Solo	0,37	0,42	16,69**	$NDVI_{CCD}=0,991*NDVI_{TM}-0,043$	0,94
Café	0,63	0,65	5,09**	$NDVI_{CCD}=1,206*NDVI_{TM}-0,147$	0,93
Pasto	0,43	0,45	15,98**	$NDVI_{CCD}=1,047*NDVI_{TM}-0,047$	0,86
Água	- 0,10	- 0,13	5,58**	$NDVI_{CCD}=1,847*NDVI_{TM}-0,128$	0,74

** significativo ao nível de 1% pelo teste t para pares de observação.

4. Conclusões e recomendações

Os valores de reflectância das bandas equivalentes do CCD e do TM diferiram significativamente entre si segundo a análise estatística do teste t para pares de observações dos diversos alvos estudados. Contudo, essas bandas equivalentes são altamente correlacionadas, portanto, não há diferença para a identificação de alvos e feições entre as imagens desses sensores por meio de procedimentos de análise digital ou visual. Já para análises quantitativas que envolvem p. ex. o uso do NDVI é necessário fazer o ajuste dos dados para que os valores do NDVI dos dois sensores sejam equivalentes. De modo geral, os valores de reflectância nas imagens do CCD foram maiores do que os observados nas imagens do TM.

Recomenda-se que a análise deste estudo seja ampliada para um maior número de imagens adquiridas em diferentes épocas do ano para considerar as variáveis influenciadas pela sazonalidade tanto da geometria de iluminação quanto da fenologia da vegetação. Recomenda-se ainda que estudos sejam feitos envolvendo a banda 7 (infravermelho médio; 1,55 a 1,75 μ m) do sensor IRMSS do CBERS-2 que equivale, espectralmente, à banda 5 do sensor TM do Landsat a fim de que possa ser feita uma comparação mais efetiva entre as imagens Landsat e CBERS.

Referências

- EMBRAPA: Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**. 412p. 1999.
- IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [online] <<http://www1.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Setembro de 2004.
- Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, New York, NY, v.35, n.1, p.11-27, Jan. 1991.
- Kauth, R.J.; Thomas, G.S. The tasseled cap transformation – A graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: SYMPOSIUM ON THE MACHINE PROCESSING OF REMOTE SENSED DATA, Purdue. 1976. **Proceedings**. Purdue: Purdue University, 1976. p. 4B41-4B51.
- PCI – Remote Sensing Crop. **Image Works**. Ontário, Canadá, Richmond Hill, 1997. Cap. 2, 57p.
- Steel, R.G.D.; Torrie, J.H. Principles and procedures of statistics: a Biometrical approach. 2a ed., McGraw-Hill Book, New York, 1980. 633p.
- Tanré, D.; Holben, B.N.; Kaufman, Y.J. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. **IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing**, v.30, p. 231-248. 1992.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 8(2):127-150.