

Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7

Luís Gonçalves Longo de Oliveira¹
Leonardo Marini Pereira¹
Gabriel Pereira¹
Elisabete Caria Moraes¹
Eduardo Eiji Maeda¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{luis, leonardo, gabriel, bete, eduardo}@dsr.inpe.br

Abstract. The main objective of this work is to compare the vegetation indices derived from data acquired by Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) sensor onboard the Landsat 7 satellite. The influence of the atmosphere in the electromagnetic spectra relative to the solar remote sensing was treated with a radiative transfer model called second simulation of the satellite signal in the solar spectrum (6S). The image acquired over Campo Grande city located in Mato Grosso do Sul State was selected for this study. The results demonstrate high correlation for all vegetation indices, except for CTVI.

Palavras-Chaves: Vegetation index, statistical correlation, índices de vegetação, correlação estatística.

1. Introdução

Para minimizar a variabilidade causada pelos fatores externos, a reflectância espectral da cobertura vegetal é transformada e combinada em vários índices de vegetação. Os mais comumente empregados utilizam informações contidas nas reflectâncias de dosséis referentes às faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. Essas faixas do espectro eletromagnético (EEM) contêm a maior variação de resposta espectral para a vegetação. Desta forma, estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação e, geralmente, proporcionam uma melhor correlação entre os dados orbitais e os parâmetros biofísicos da mesma.

A baixa reflectância das folhas na região do visível deve-se à absorção da radiação solar pelos pigmentos presentes nos cloroplastos, enquanto que a alta reflectância na região do infravermelho próximo deve-se ao espalhamento da radiação solar no mesófilo, que ocorre devido à interação da radiação solar com a estrutura interna das folhas. Portanto, o comportamento espectral das folhas depende da sua composição química e de sua estrutura interna. A variação da reflectância da cobertura vegetal em diferentes bandas de sensores remotos depende, principalmente, da quantidade de folhas e da arquitetura do dossel (Shimabukuro *et al.*, 1998).

Em razão disso, os índices de vegetação são utilizados para inferir e monitorar a cobertura e o vigor da vegetação através de imagens de sensores multiespectrais, pois eles permitem a estimativa da biomassa ou do índice de área foliar (IAF) (Parise e Vettorazzi, 2005).

O presente trabalho objetiva calcular alguns dos principais índices de vegetação utilizados pela comunidade científica a partir de imagens do sensor ETM+/LANDSAT 7 e intercomparar os mesmos através de uma análise gráfica e numérica de correlação. Foi realizada a análise de nove

índices de vegetação, sendo quatro índices de razão e cinco índices que utilizam a linha do solo. Os índices em questão encontram-se na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Índices de vegetação estudados

Índices de razão (slope-based)	Índices ortogonais
RATIO	PVI
RVI	WDVI
NDVI	SAVI
CTVI	TSAVI
-	MSAVI

2. Caracterização e localização da área de estudo

A área de estudo contém a área urbana de Campo Grande/MS e está inserida entre os pares de coordenadas 20° 09' 06" S; 54° 48' 01" W e 20° 35' 50" S; 54° 28' 15" W. Trata-se de uma área constituída dos usos urbano, florestal e agrícola que concentra quase 33% da população do estado do Mato Grosso do Sul (IBGE, 2000). A **Figura 1** apresenta a área urbana de Campo Grande/MS.

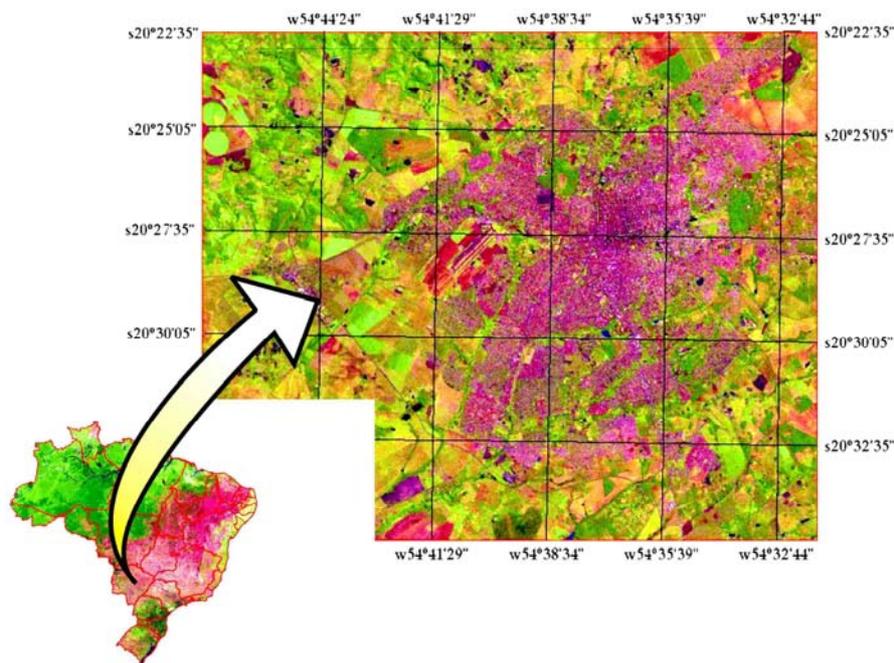


Figura 1 – Área urbana de Campo Grande/MS. O fundo é uma imagem ETM+/LANDSAT 7.

3. Materiais e métodos

Para o cálculo de todos os índices de vegetação foi necessária a conversão das bandas do vermelho e do infravermelho próximo em valores de reflectância de superfície. A correção atmosférica foi realizada através do modelo de transferência radiativa *second simulation of the satellite signal in the solar spectrum* – 6S (Vermote, 1997). O aplicativo IDRISI Kilimanjaro (Clark Labs, 1987) foi utilizado para a conversão do nível de cinza em reflectância, para a determinação da linha de solo e para o cálculo dos índices de vegetação.

Os índices de vegetação se dividem basicamente em dois grupos: o primeiro é baseado no contraste entre a resposta da vegetação na banda do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR). Os índices deste primeiro grupo são chamados de índices de razão. O segundo grupo se aproveita do padrão de respostas nessas duas bandas e faz uso do conceito de linha do solo, com o objetivo de calcular a distância entre a linha do solo e a vegetação. Os índices do segundo grupo podem ser chamados de índices ortogonais, perpendiculares ou baseados em distância.

Os valores de reflectância das bandas do vermelho e do infravermelho próximo para a imagem da cidade de Campo Grande foram projetados em um gráfico bidimensional, produzindo um padrão conhecido como *tasseled cap* (Kauth e Thomas, 1976). A linha do solo, utilizada nos índices ortogonais, passa nas proximidades da base da figura formada pelo conjunto de pontos. Os pontos ao longo dessa linha representam as respostas de diferentes tipos de solo exposto, onde não há nenhuma ocorrência de vegetação. A linha de solo obtida é apresentada na **Figura 2**.

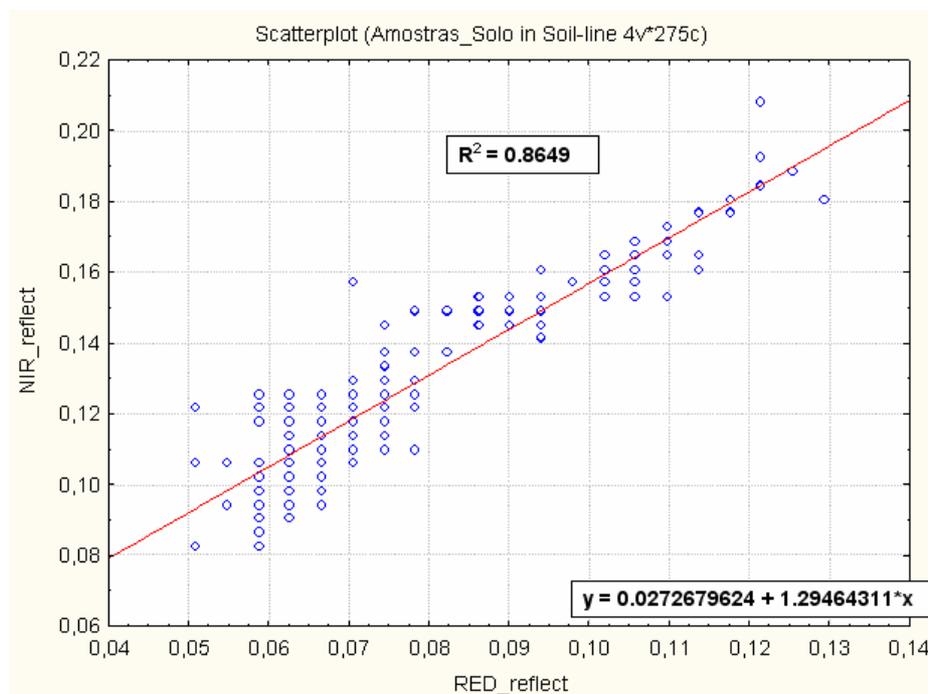


Figura 2 – Linha de solo obtida a partir do padrão *tasseled cap*.

3.1. Índices de Razão

As formulações dos índices de vegetação por razão simples (RATIO), de vegetação reverso (RVI), de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e de vegetação transformado corrigido (CTVI) calculados neste trabalho são:

O RATIO, proposto por Pearson e Miller (1972), foi calculado pela razão entre a banda do infravermelho próximo (NIR) e a banda do vermelho (R), conforme a **Equação 1**:

$$RATIO = NIR / R \quad (1)$$

A operação inversa (RVI), proposta por Richardson e Wiegand (1977), é expressa pela **Equação 2**:

$$RVI = R / NIR \quad (2)$$

O NDVI, criado por Rouse et al. (1974), foi calculado empregando-se a **Equação 3**:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$

O CTVI, elaborado por Perry e Lautenschlager (1984), foi calculado através da fórmula expressa na **Equação 4**:

$$CTVI = \frac{NDVI + 0,5}{|NDVI + 0,5| \cdot \sqrt{|NDVI + 0,5|}} \quad (4)$$

3.2 Índices ortogonais

Os índices de vegetação ortogonais tratados neste estudo foram o índice de vegetação perpendicular (PVI), o índice de vegetação ajustado para solos (SAVI), o índice de vegetação ajustado transformado para solos (TSAVI) e o índice de vegetação ajustado para solo modificado (MSAVI).

O PVI, desenvolvido por Richardson e Wiegand (1977), foi calculado a partir da **Equação 5**:

$$PVI = \frac{NIR - aR - b}{\sqrt{1 + a^2}} \quad (5)$$

onde a e b são, respectivamente, a declividade e o intercepto da linha do solo que possui a banda do NIR como variável dependente.

O WDV, introduzido por Clevers (1988), apresenta uma relação com o PVI e pode ser matematicamente entendido como uma simplificação deste último. O cálculo do WDV foi realizado conforme a **Equação 6**, abaixo:

$$WDV = NIR - a.R \quad (6)$$

onde a é declividade da reta do solo e o valor da banda do NIR é considerado como variável dependente.

O SAVI, o TSAVI e o MSAVI fazem parte de um grupo de índices considerados híbridos por utilizarem a razão de bandas com parâmetros de ajuste para minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação. Os parâmetros de ajuste podem ou não considerar os coeficientes da linha do solo, mas sempre expressam o intuito de minimizar o efeito de fundo do solo.

O SAVI, proposto por Huete (1988), foi o primeiro índice desenvolvido dentre os considerados “híbridos”. A construção inicial deste índice foi baseada em medidas de algodão e de gramados com solos claros e escuros ao fundo. O cálculo do SAVI é efetuado através da **Equação 7**.

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(L + NIR + R)}(1 + L) \quad (7)$$

onde L é um fator de ajuste. Esse fator foi obtido de forma que o índice resultante tivesse o mesmo valor para vegetação, independente se o solo fosse claro ou escuro. O fator de correção L pode variar entre 0, para coberturas vegetais mais densas, e 1 para vegetação menos densa. O valor padrão utilizado na maioria das aplicações é 0,5, que corresponde a uma densidade vegetal intermediária.

No TSAVI, índice introduzido por Baret e Guyot (1991), é assumido que a linha do solo tem inclinação e intercepto arbitrários e esses valores são utilizados para ajustar o índice.

A abordagem utilizada representaria uma vantagem sobre o SAVI, no que diz respeito à arbitrariedade do fator L, se um parâmetro adicional não houvesse sido incluído no índice. O parâmetro X é incluído a fim de minimizar o efeito de fundo do solo. O TSAVI é calculado através da **Equação 8**:

$$TSAVI = \frac{a(NIR - aR - b)}{(bNIR + R - ab + X[1 + a^2])} \quad (8)$$

onde *a* e *b* são os parâmetros da linha do solo conforme a equação [5] e X é o parâmetro de correção utilizado com 0,08 nos artigos originais.

O MSAVI é uma modificação do SAVI. O MSAVI foi desenvolvido por Qi *et al.* (1994) com o objetivo de estimar o fator de correção L de maneira não arbitrária. No MSAVI o L é função da densidade de cobertura vegetal. Este índice foi calculado a partir das Equações 9 e 10:

$$MSAVI = \frac{(NIR - R)}{(L + NIR + R)}(1 + L) \quad (9)$$

sendo L calculado através da expressão:

$$L = 1 - 2a \cdot NDVI \cdot WdVI \quad (10)$$

4. Resultado e Discussão

Para analisar o comportamento de um determinado índice em relação aos outros, três matrizes com gráficos de dispersão foram elaboradas. As **Figuras 3** e **4** contêm, além dos gráficos de dispersão plotados para os índices do mesmo grupo, o coeficiente de correlação linear de *Pearson*. De forma geral, os índices apresentaram alto grau de correlação entre si, uma vez que todos fazem uso dos mesmos dados (bandas do vermelho e do infravermelho próximo).

Os índices de razão, **Figura 3**, produziram uma curva tênue entre os índices do mesmo grupo, ao passo que os índices ortogonais, **Figura 4**, resultaram em valores mais dispersos nas curvas. Isso se deve, provavelmente, à imprecisão da linha do solo, indicando que não existe uma solução única para a linha.

Na **Figura 3** (índices de razão) percebe-se que os módulos dos coeficientes de *Pearson* calculados para o RATIO, o RVI e o NDVI foram bastante altos, superiores à 0,65, demonstrando alta correlação entre esses índices. O CTVI mostrou baixa correlação perante todos os índices deste grupo, com os módulos dos coeficientes de *Pearson* inferiores à 0,35.

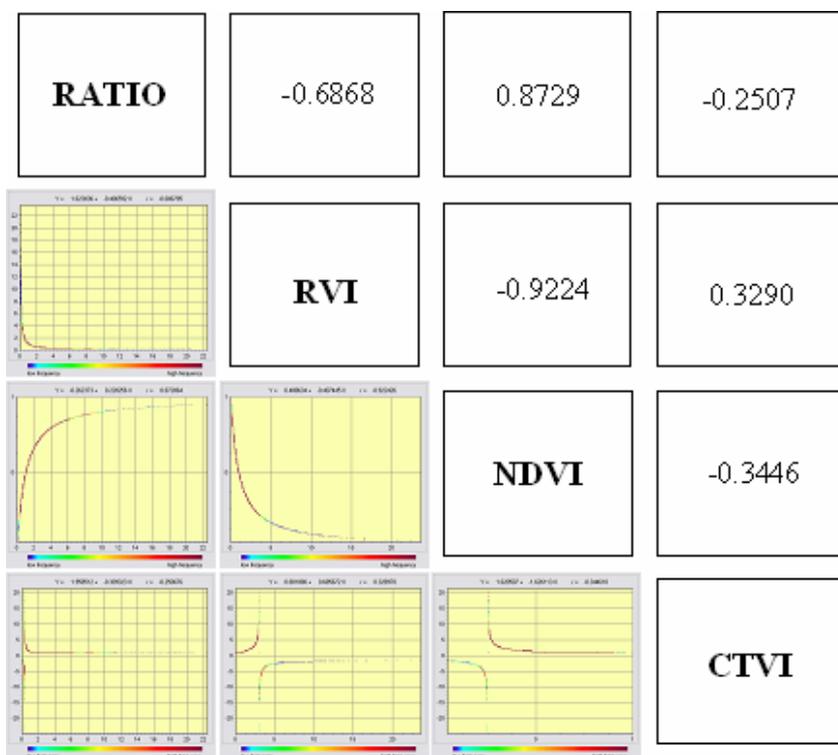


Figura 3 – Correlações observadas entre os índices do grupo razão.

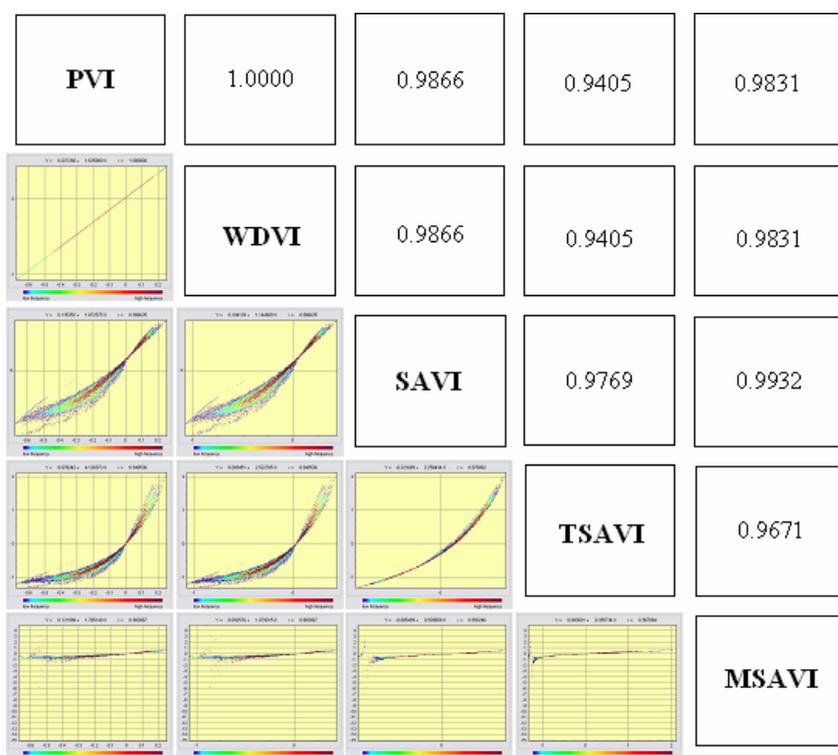


Figura 4 – Correlações observadas entre os índices do grupo ortogonais.

Na **Figura 4**, é possível perceber que todos os índices apresentaram coeficientes de *Pearson* superiores à 0,90, evidenciando-se assim alta correlação entre todos os índices. Na **Figura 5** são mostrados os gráficos de dispersão realizados entre os índices dos dois grupos. O CTVI apresentou, novamente, baixa correlação perante a comparação entre todos os outros índices. O MSAVI foi o índice que mais se mostrou correlacionado frente aos outros. Provavelmente pela formulação complexa e bastante rica, contendo todos os parâmetros encontrados nos outros índices de vegetação abordados.

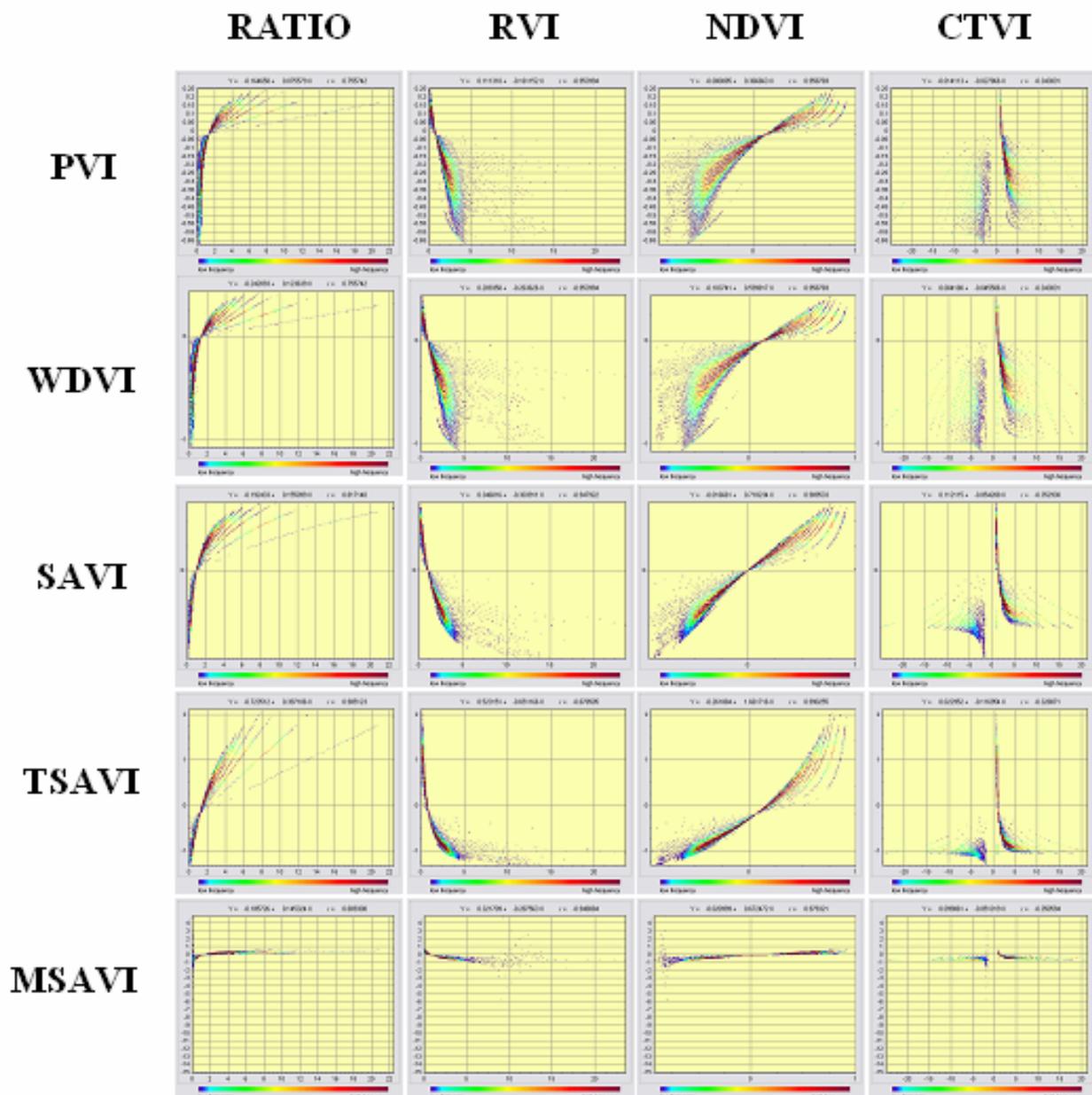


Figura 5 – Matriz com gráficos de dispersão entre os índices dos dois grupos.

5. Considerações Finais

De uma forma geral, a análise dos gráficos de dispersão e dos coeficientes de *Pearson* demonstrou que os índices de vegetação são fortemente correlacionados, implicando em redundância de informação. Porém, no caso do CTVI, os baixos valores dos coeficientes de *Pearson* (menores que 0,35) demonstraram a existência de pouca correlação desse índice perante os outros.

Referências

- Baret, F.; Guyot, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, n.2-3, p.163-173. Feb.-Mar.1991.
- Clark Labs. **IDRISI Kilimanjaro**. Version 14.01.
- Clevers, J.G.P.W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index, **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.1, p.53-69, June 1988.
- Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.3, p.295-309. Aug.1988.
- IBGE.Censo Demográfico (ano: 2000). Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em: 20/09/2006.
- Kauth, R. J.; Thomas, G. S., The tasseled cap - A graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat; In: Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 1976, West Lafayette. **Proceedings...** New York: IEEE Computer Society Press, p.41-51, 1976.
- Parise, F.J.O.; Vettorazzi, C.A.; Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: I. Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.1, abr.2005.
- Pearson, R.L., and L.D., Miller. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. In: **Proc. of the 8th International Symposium on Remote Sensing of Environment**, ERIM, Ann Arbor, MI, 1357-1381, 1972.
- Perry, C.R.; Lautenschlager, L.F. Functional equivalence of spectral vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.14, n.1-3, p.169-182. Jan.1984.
- Qi, J.; Chehbouni, A.; Huete, A. R.; Kerr, Y. H.; Sorooshian, S. A modified soil adjusted vegetation index, **Remote Sensing of Environment**, v.48, n.2, p.119-126, May 1994.
- Richardson, A.J.; Wiegand, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information (by gray mapping of Landsat MSS data). **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.43, n.12. p.1541-1542, Dec.1977.
- Rouse, J. W., R. H., Haas, J. A., Shell, D.W., Deering and J.C., Harlan, 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, Type III, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 371 pp.
- Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.; Ponzoni, F.J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.Especial, p.1729-1737, out, 1998.
- Vermote, E. F; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.** 35 <3>: 675-686, 1997.