

Comportamento de Índices de Vegetação a partir de três sensores orbitais: estudo de caso no município de São Borja (RS)

John Mauricio Arenas-Toledo¹
José Carlos Neves Epiphanyo¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{john,epiphanyo}@dsr.inpe.br

Abstract. Vegetation Indices derived from satellite imagery data have been a primary approach over the wide range of techniques and procedures. In the agricultural context this have been particular remarkable as an important tool of crop monitoring and discrimination. This work evaluated three vegetation indices (NDVI, MSAVI2 and EVI) intending to estimate how sensor parameters influence in their values and how they can be compared at different sensors data products. Several comparative plots and correlations were made among the sensors imagery evaluated (CCD CBERS-2, TM and MODIS MOD09/MOD13). It was performed MNF (Minimal Noise Fraction) transform to minimize inconsistencies of relative calibration of detectors on CCD data. Preliminary results were obtained and some considerations were done over this information. MNF transformation was successful in minimizing the calibration problem at this case; more evaluations are needed in this respect. MSAVI2 was highlighted as the most stable index and best correlated at different sensors comparison.

Keywords: vegetation index, NDVI, MSAVI2, CBERS, MODIS, linear correlation, crops, MNF transformation; índice de vegetação, NDVI, MSAVI2, CBERS, MODIS, culturas agrícolas, transformação MNF.

1. Introdução

Os índices de vegetação, gerados de dados de satélites que possuem resoluções espectrais, espaciais e radiométricas diversas, têm sido usados amplamente pelos mais variados usuários. Muitas vezes esses cálculos são aplicados diretamente sobre a imagem sem considerar os efeitos que aquelas resoluções diferenciadas podem causar sobre os dados gerados. Alguns autores têm se preocupado e avaliado estas situações. Huete *et al.* (1994, 1997), Price (2003), Teillet *et al.* (1997), Broge *et al.* (2000), entre outros, têm abordado essas questões, visando conhecer a sua influência e quantificá-la. Neste contexto, este trabalho pretende aproximar-se desses questionamentos de maneira introdutória, mas que sirva de ponto de partida para avaliações mais aprofundadas que permitam aprimorar o conhecimento em sensoriamento remoto e sua interação como veículo de conhecimento dos recursos naturais e, mais especificamente, das culturas agrícolas.

Este estudo está centrado em dois tópicos: (1) o uso da transformada MNF (*Minimal Noise Fraction*) na eliminação de efeitos indesejados nas imagens CCD-CBERS-2, e (2) a comparação dos índices de vegetação em três diferentes sensores.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no Estado de Rio Grande do Sul, município de São Borja, no sul do Brasil (figura 1). Conta com uma área aproximada de 352.922 ha, situado entre as coordenadas: 56°20' – 55°15' latitude sul e 28°20' – 29°05' longitude oeste. É uma região de importância agrícola, com culturas temporárias como soja e arroz, principalmente.

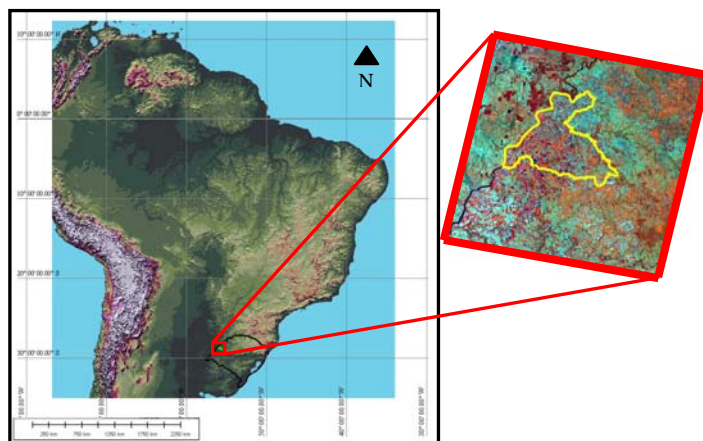


Figura 1. Localização da área de estudo, município de São Borja, Rio Grande do Sul.

Para avaliar como os diversos parâmetros (espaciais, espectrais e radiométricos) comportam-se com respeito ao cálculo de índices de vegetação, utilizaram-se imagens de três sensores com características bem diferenciadas: CCD – CBERS-2, TM – Landsat5 e MODIS – Terra. As imagens escolhidas são de 21 e 22 de fevereiro de 2006. Imagens composição de 16 dias do MODIS (MOD13Q) também foram utilizadas (Tabela 1).

Tabela 1. Imagens de satélite utilizadas.

Sensor/Satélite	Órbita/Ponto - Tile	Data	Tamanho Pixel (m)	Quantização	Res. Espectral (nm) Red	Res. Espectral (nm) NIR
CCD/CBERS-2	162/132	21/2/2006	20	8 bits	630 - 690	770 - 890
TM/Landsat5	224/80	21/2/2006	30	8 bits	630 - 690	760 - 900
MODIS/Terra MOD09	h13v11	22/2/2006	250	12 bits	620 - 670	841 - 876
MODIS/Terra MOD13Q	h13v11	18/02/2006 - 05/03/2006	250	12 bits		

2.2 Pré-Processamento

A fim de fazer comparações entre diferentes imagens em nível de pixel foi necessário efetuar um registro cuidadoso mediante pontos de controle (10) para um polinômio de grau 1. Os erros RMS (*root mean square*) para as imagens CCD e TM estiveram abaixo de 1 pixel, e a comparação visual das imagens corroborou a concordância geométrica entre as diferentes imagens.

As imagens foram convertidas para valores de reflectância em superfície, aplicaram-se as correções atmosféricas para as imagens CCD e TM, utilizando a abordagem do código de transferência radiativa: para a CCD foi utilizado o Código 5S, e para o TM o código MODTRAN-4.

2.3 Aplicação do algoritmo MNF na imagem CCD CBERS-2

No catálogo de imagens CBERS disponíveis gratuitamente, diversas imagens CCD apresentam um problema de calibração relativa entre a barra do conjunto de detectores, o que produz três faixas claramente diferenciadas na imagem (figura 2a). O algoritmo *Minimal Noise Fraction (MNF)* proposto por Green *et al.* (1988), que se constitui essencialmente de duas transformações de Componentes Principais (CP) em cascata, na qual a primeira calcula a matriz de covariância do ruído estimado para decorrelacionar e re-escalonar o ruído dos dados, com uma posterior segunda transformação CP padrão nos dados normalizados. Esta

transformação melhora em grande parte o aspecto visual da cena (Figura 2b), quando é gerada a imagem inversa com o descarte do último componente, por ser o componente do ruído. A fim de avaliar como é afetada espectralmente a cena CCD adquirida, utilizou-se o cálculo dos índices de vegetação como medida de comparação, além das estatísticas das bandas em questão.

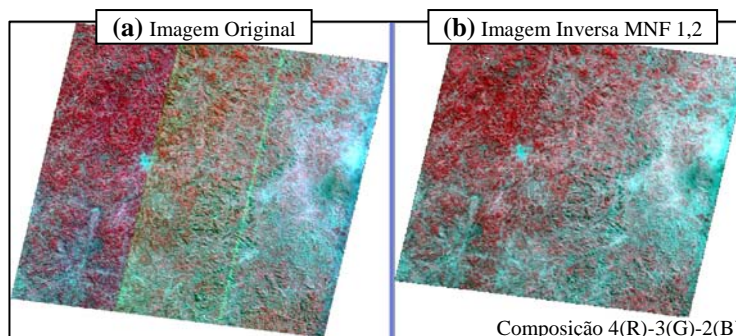


Figura 2. Imagem CCD-CBERS-2 original (a) e imagem obtida pela aplicação da inversão dos dois primeiros componentes MNF (b); cena-exemplo 151/123 de 07/09/2005, não utilizada na avaliação.

2.4 Geração de índices de vegetação

Três diferentes índices de vegetação foram calculados para as imagens dos três sensores: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index) e o MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2).

O NDVI (equação 1) é o índice de vegetação mais bem estudado e aplicado, e é a diferença normalizada de vegetação entre a banda do vermelho e do infravermelho próximo.

$$\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}. \quad (1)$$

O EVI chamado anteriormente como SARVI2, foi desenvolvido para otimizar a sinal da vegetação com sensibilidade melhorada. Minimiza igualmente os efeitos atmosféricos e o efeito de brilho “background” do solo (Huete et al., 1997).

$$EVI = \frac{r_{NIR} - r_{Red}}{r_{NIR} + C_1 r_{Red} - C_2 r_{Blue} + L} \times G \quad (2)$$

Em que: $G = 2,5$; $C_1 = 6$; $C_2 = 7,5$; $L = 1$

O MSAVI2, proposto por Qi et al. (1994), foi desenvolvido como uma revisão do MSAVI. Basicamente, usa um processo iterativo, em que se substitui $[1-MSAVI(n-1)]$ como o fator L em MSAVI (n). A seguir, a iteração é resolvida indutivamente, onde $MSAVI(n) = MSAVI(n-1)$. Opera no range de -1 a 1, calculado com a seguinte equação:

$$MSAVI2 = (1/2) * \left(2 * (NIR + 1) - \sqrt{\left((2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - Red) \right)} \right) \quad (3)$$

2.5 Pontos Aleatórios e Comparação

Do conjunto de pontos aleatórios sorteados sobre o município (157 pontos), 87 foram pré-interpretados e facilmente reconhecíveis nas imagens (água, mata, pastagem, etc.), 64 foram verificados em campo, no contexto do trabalho de campo do projeto “Geosafras”, na época coincidente com as imagens e que pertenciam principalmente aos pontos de culturas ou pontos de dúvida na imagem.

Os valores dos pixels que continham os pontos foram lidos para cada imagem de resolução maior, com o intuito de simular, mediante uma janela de matriz, o tamanho do pixel do MODIS (250m). Esta matriz calculava a média dos vizinhos nas imagens CCD e TM, simulando uma degradação para aproximar-se da resolução menor do MODIS. Cada índice era calculado a partir deste valor médio. Isso foi feito para cada ponto amostral aleatório gerado (figura 3). Neste trabalho não foram abordadas técnicas mais sofisticadas de geração de pixel, como o proposto por Banon (1990), mas tentou-se usar alternativas de geoprocessamento que pudessem representar, igualmente, um nível de comparação.

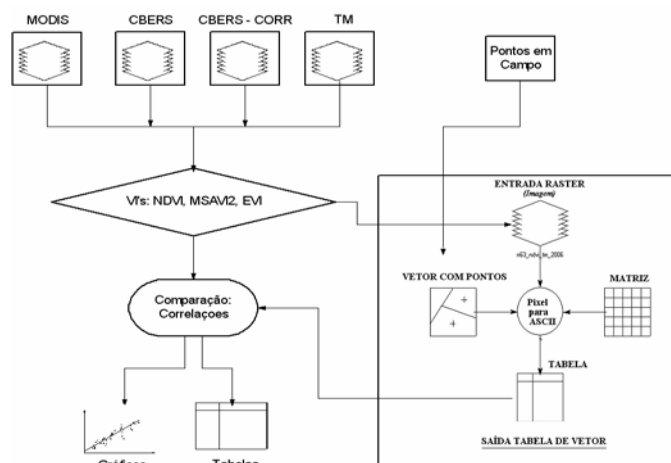


Figura 3. Esquema metodológico utilizado.

3. Resultados e Discussão

3.1 MNF aplicado às imagens CCD

Das quatro bandas multiespectrais da CCD-CBERS-2 geraram-se quatro componentes MNF. Não foi possível isolar o efeito de faixas verticais sobre as imagens numa única componente. O efeito aparecia diferenciadamente em cada uma das quatro componentes MNF e, assim, não era útil tentar efetuar a transformada inversa de alguma das componentes MNF. Decidiu-se aplicar a transformação MNF somente nas bandas 2, 3 e 4, e se obtiveram resultados muito mais coerentes (ao supor este efeito como um ruído). As três componentes geradas (Figura 4) mostraram que o efeito de faixas aparecia exclusivamente na última componente, enquanto as restantes mostravam visualmente nenhuma (MNF 1) ou muito pouca evidência do efeito (MNF 2). A última componente foi descartada (0,73%; Tabela 2), e foi gerada a transformada inversa para obter de novo as bandas 2, 3 e 4 (CCDCOR).

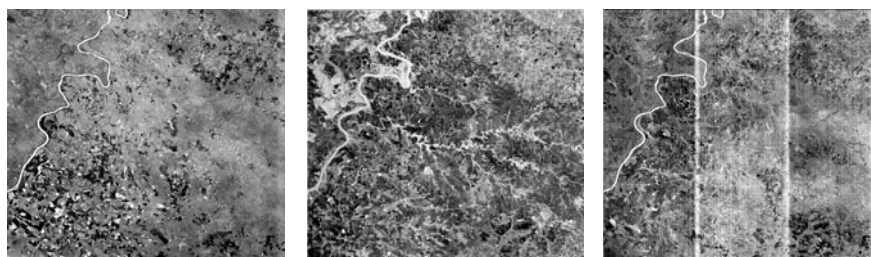


Figura 4. Componentes MNF (1, 2 e 3) geradas a partir das bandas 2, 3 e 4 da imagem CCD/CBERS-2.

Tabela 2. Autovalores e Autovetores da transformação MNF. As bandas aparecem na ordem crescente e correspondem às bandas 2, 3 e 4 do CBERS-2 CCD.

Autovalor	%	Autovetor	Banda1	Banda 2	Banda3
966,6743	92,11	Banda 1	-0,74633	0,66557	0,00276
75,1905	7,16	Banda 2	-0,66552	-0,74632	0,00963
7,6697	0,73	Banda 3	0,00847	0,00535	0,99995

O resultado visual da transformação levou a uma uniformidade espectral aparente ao comparar as duas imagens, com o desaparecimento das variações tonais entre as faixas (Figura 5).

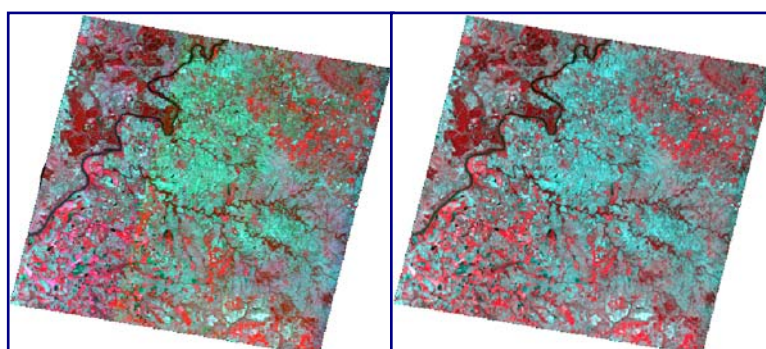


Figura 5. Composição colorida R(4) – G(3) – B(2) sem correção (a); e com correção CCD/CCDCOR (b).

3.2 Índices de vegetação e comparações entre sensores

Dos três índices avaliados (NDVI, MSVI2, EVI) foram geradas comparações mediante correlação linear simples utilizando o coeficiente de determinação entre os sensores CCD, CCDCOR (inversa MNF, componentes 1 e 2), TM e MODIS (MOD09 e MOD13). Pela sua proximidade quanto ao tamanho do pixel, os produtos de Landsat e CBERS foram comparados diretamente. As imagens MODIS foram comparadas com CCD e TM simuladas para o tamanho dos produtos MODIS avaliados (250m).

Inicialmente, para comparar as imagens CCD com CCDCOR utilizaram-se os parâmetros estatísticos; observou-se que cada banda apresentava uma mínima variação entre uma imagem e outra (Tabela 3). Ao comparar as correlações para os índices obtidos com cada imagem CCD, mais as bandas 3 e 4, observou-se que os coeficientes de determinação sempre foram superiores a 0,995 (Tabela 4).

Tabela 3. Comparação das estatísticas por banda da imagem CCD original e transformada.

CCD						CCDCOR					
BANDA 2						BANDA 2					
MIN	MAX	MÉDIA	MEDIANA	MODA	DESV. P.	MIN	MAX	MÉDIA	MEDIANA	MODA	DESV. P.
0,0039	0,294	0,055	0,054	0,058	0,013	0,0039	0,295	0,053	0,054	0,054	0,012
BANDA 3						BANDA 3					
MIN	MAX	MÉDIA	MEDIANA	MODA	DESV. P.	MIN	MAX	MÉDIA	MEDIANA	MODA	DESV. P.
0,0039	0,349	0,076	0,074	0,082	0,019	0,0039	0,376	0,074	0,074	0,081	0,019
BANDA 4						BANDA 4					
MIN	MAX	MÉDIA	MEDIANA	MODA	DESV. P.	MIN	MAX	MÉDIA	MEDIANA	MODA	DESV. P.
0,0039	0,486	0,252	0,247	0,251	0,051	0,0039	0,486	0,252	0,247	0,247	0,051

As imagens TM e CCD apresentaram correlações altas para NDVI e MSAVI2 (Tabela 5a). O EVI não foi avaliado para a imagem CCD pois ele utiliza a banda azul no seu cálculo, e nesta

banda não foi possível eliminar o problema da calibração. Os valores gerados para este índice foram totalmente inconsistentes, e por isso não foi incluído na análise.

No caso do TM, os valores do EVI e MSAVI2 foram totalmente correlacionados, e por possuírem sensibilidade diferenciada aos efeitos atmosféricos (Huete et al., 1997; Broge e Leblanc, 2000), esta similaridade de comportamento propõe questionamentos que precisam ser avaliados mais profundamente.

Tabela 4. Matriz de correlação entre os índices de vegetação e as bandas vermelha (RED) e infravermelha (NIR) para as duas imagens CCD: normal e corrigida (todos com correlação significativa, $\alpha = 0,05$).

	CCD_NDVI	CCD_MS AVI	CCD_RE D	CCD_NIR	CCDCOR NDVI	CCDCOR MSAVI	CCDCOR RED	CCDCOR R_NIR
CCD_NDVI	1,000	0,960	-0,735	0,829	0,995	0,960	-0,720	0,828
CCD_MSAVI		1,000	-0,643	0,929	0,948	0,997	-0,622	0,928
CCD_RED			1,000	-0,317	-0,730	-0,643	0,993	-0,316
CCD_NIR				1,000	0,814	0,925	-0,292	0,999
CCDCOR_NDVI					1,000	0,956	-0,726	0,817
CCDCOR_MSAVI						1,000	-0,630	0,927
CCDCOR_RED							1,000	-0,294
CCDCOR_NIR								1,000

No conjunto de todos os valores simulados para a CCD e a TM, os valores de MSAVI2 foram mais bem correlacionados (Tabela 5b), tendência que era evidente ainda com os dados de resolução espacial original; (todos com correlação significativa, $\alpha = 0,05$).

(a)										(b)										
CCD_NDVI	CCD_MSAVI	CCD_RED	CCD_NIR	TM_NDVI	TM_MSAVI	TM_EVI	TM_RED	TM_IR		NDVI_CCD 250m	MSAVI_C 250m	NDVI_TM 250m	MSAVI_T 250m	EVI_TM250m	MOD09_ND VI	MOD09_MSAVI	MOD13_N DVI	MOD13_EVI	MOD13_MSAVI	
CCD_NDVI	1,00	0,96	-0,73	0,83	0,89	0,92	0,93	-0,72	0,81	NDVI_CCD250m	1,00	0,97	0,92	0,95	0,96	0,84	0,81	0,70	0,68	0,78
CCD_MSAVI		1,00	-0,64	0,93	0,82	0,95	0,95	-0,63	0,89	MSAVI_CCD250m		1,00	0,85	0,98	0,98	0,83	0,84	0,70	0,73	0,83
CCD_RED			1,00	-0,32	-0,53	-0,64	-0,64	0,96	-0,34	NDVI_TM250m			1,00	0,88	0,89	0,71	0,67	0,54	0,48	0,63
CCD_NIR				1,00	0,74	0,87	0,87	-0,33	0,94	MSAVI_TM250m				1,00	1,00	0,79	0,79	0,67	0,67	0,78
TM_NDVI					1,00	0,85	0,87	-0,58	0,77	EVI_TM250m					1,00	0,79	0,79	0,66	0,67	0,78
TM_MSAVI						1,00	1,00	-0,68	0,93	MOD09_NDVI					1,00	0,95	0,80	0,79	0,85	
TM_EVI							1,00	-0,68	0,93	MOD09_MSAVI						1,00	0,76	0,81	0,88	
TM_RED								1,00	-0,37	MOD13_NDVI							1,00	0,94	0,80	
TM_NIR									1,00	MOD13_EVI								1,00	0,86	0,86
										MOD13_MSAVI									1,00	1,00

Tabela 5. (a) Matriz de correlação entre os índices de vegetação e as bandas para os sensores CCD e TM. (b) correlações entre os valores dos IVs simulados (250m) com MODIS.

A Figura 6 mostra os valores médios e desvios-padrões do NDVI e MSAVI2 para três unidades de cobertura do conjunto de imagens avaliadas (pixel de 250m). Destaca-se principalmente que os valores médios do TM e MODIS encontram-se muito próximos. Para o caso do TM, o valor médio do NDVI, reflete o que visualmente é possível discriminar (soja de arroz), mas isso não acontece tão facilmente no MODIS. O MSAVI2 (MODIS) apresenta um valor médio maior para arroz do que para soja, ao contrário do que ocorreu para o NDVI.

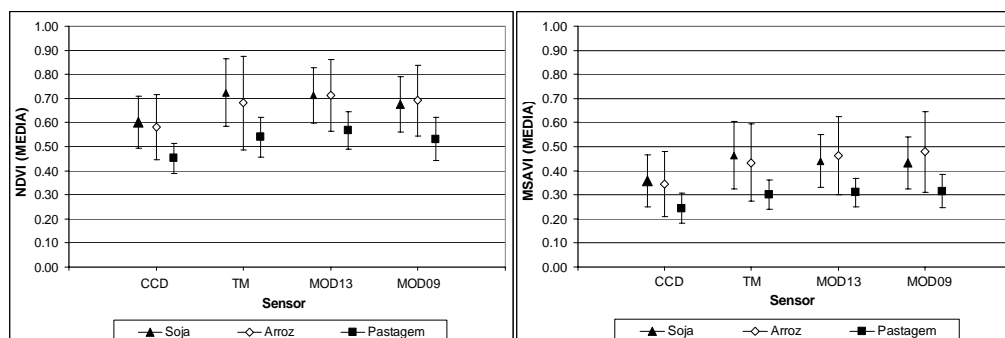


Figura 6. Valores médios dos índices espectrais para os sensores avaliados para três unidades.

A composição MSAVI2(R)-SWIR(G)-RED(B), gerada a partir do MODIS, permite discriminar visualmente, para o caso da cena avaliada, soja de arroz de maneira mais clara que usando a banda do NIR.

Ao observar os valores dos índices espectrais por unidade de cobertura (soja, arroz, pastagem e mata), fica evidente a melhor correlação dos valores MSAVI2 com maiores valores do NIR. Essa relação é mais forte do que com o NDVI. Essa observação concorda com trabalhos como o de Borge e Leblanc (2000). Evidencia-se também a linearidade dos valores MSAVI2 calculados para as imagens dos dois sensores (Figura 7).

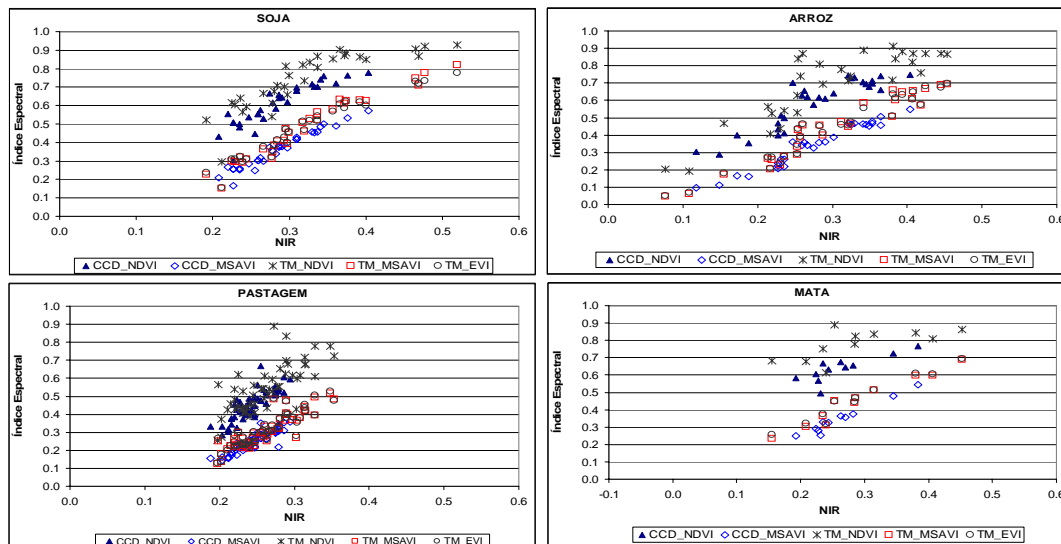


Figura 7. Sensibilidade dos índices espectrais ao NIR para quatro unidades de cobertura.

Ao avaliar o comportamento dos índices, entre sensores para diferentes alvos, observam-se os valores do CCD sistematicamente mais baixos (Figura 8). Esse detalhe está provavelmente ligado ao valor de ganho especialmente da banda NIR, e que não é totalmente normalizado na correção radiométrica realizada com os parâmetros de calibração disponíveis para a CCD-CBERS-2. Seria muito provável que com uma correção mais aprimorada, a *bias* que apresentam os valores dos índices espectrais da CCD-CBERS-2 seria eliminado e os coeficientes angulares da linha de correlação linear estariam mais próximos da unidade.

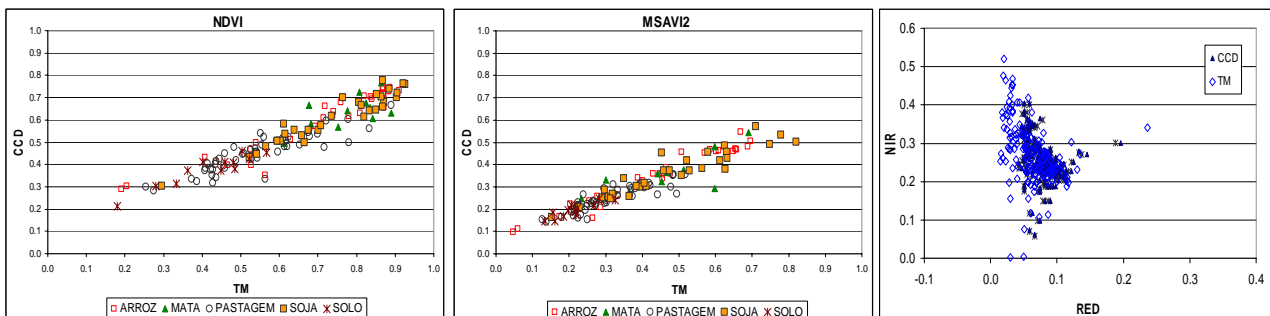


Figura 8. Comparação dos índices de vegetação e as bandas NIR/RED nas imagens CCD e TM e para diferentes classes de uso.

4. Conclusões

A operação de transformação MNF no caso da cena CCD/CBERS-2 162/132 nas bandas 2, 3 e 4 não afetou significativamente a imagem, melhorou visualmente a cena, e ainda permitiu o cálculo de índices de vegetação. Porém, esses resultados não devem ser extrapolados sem avaliar outras cenas.

De acordo com a cena avaliada, foi possível isolar o efeito de faixas, dado pela calibração relativa sobre certas bandas da CCD, no último componente MNF. Com o conjunto total de bandas multiespectral, a transformação MNF não foi satisfatória visto que a relação sinal/ruído para a cena CCD é baixa na banda 1; e recomenda-se que este aspecto seja analisado com maior detalhe.

Apesar de as avaliações radiométricas e os parâmetros de calibração da CCD não estarem sendo ajustados continuamente como é realizado para o TM, as correlações e comportamentos foram bastante similares. Os valores radiométricos da CCD apresentaram-se comprimidos para alguns pontos, mas para a maioria de pontos os resultados foram adequados. Com uma correção no *bias*, os valores seriam bem próximos, mesmo assumindo as diferenças de EIFOV, geometria de iluminação e posicionamento da banda NIR.

O MSAVI2, para todas as imagens e os alvos avaliados, apresentou um comportamento característico de alta sensibilidade ao NIR. Não obstante terem sido obtidos vários casos de correlações mais altas nas comparações entre sensores, esta estabilidade aparente deve ser explorada mais profundamente.

5. Referências Bibliográficas

Banon, G. J. F. Simulação de imagens de baixa resolução. **Controle e Automação**, v.2, n.3, p. 180-192, mar./abr. 1990.

Broge, N. H.; Leblanc, E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. **Remote Sensing of Environment**, v.76, p.156-172, 2000.

Green, A. A.; Berman, M.; Switzer, P.; Craig, M. D. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.26, n.1, p.65-74, 1988.

Huete, A.; Justice, C.; Liu, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v.49, p.224-234. 1994.

Huete, R. A.; Lui, Q. H., Batchily, K., Leeuwen, V. W. A comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.59, p.440-451, 1997.

Price, C. J. Comparing MODIS and ETM+ data for regional and global land classification. **Remote Sensing of Environment**, v.86, p.491-499, 2003.

Qi, J.; Chehbouni, A.; Huete, A. R.; Kerr, Y. H. Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.48, p.119-126, 1994.

Teillet P.M.; Staenz, K.; Williams, D. J. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.139-149. 1997.