

Sherry Chou Chen
Angela Maria de Lima
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos - SP

RESUMO

O método de análise visual dos dados LANDSAT para o estudo dos recursos naturais ainda é mais utilizado que a análise digital pois esta requer equipamentos sofisticados e analistas devidamente treinados. As composições coloridas MSS falsa cor geralmente são obtidas através da combinação dos canais 4,5 e 7. Como o sensor TM possui sete canais, a seleção de três deles torna-se mais difícil devido as 210 possíveis combinações dos canais associados às cores básicas representando a mesma cena. Neste estudo foram utilizados o Critério da Entropia, o Fator de Índice Ótimo e as Componentes Principais para selecionar as melhores combinações para a obtenção das composições coloridas. Após a seleção, elas foram analisadas visualmente e fez-se a escolha das melhores para a discriminação das culturas da soja, do milho e da cana-de-açúcar. Os resultados mostraram que as composições coloridas falsa cor obtidas pelos critérios mencionados não foram superiores às coloridas normais falsa cor obtidas através da combinação dos canais 2,3 e 4. Devido ao conhecimento anterior do intérprete sobre a relação cor-vegetação nas coloridas normais falsa cor não havendo, portanto, necessidade de um treinamento adicional do mesmo, conclui-se que a utilização destas composições é mais viável.

ABSTRACT

Visual interpretation of LANDSAT imagery is frequently used in natural resource studies instead of the sophisticated digital analysis which is more expensive and requires expertise. To form false color composite three LANDSAT bands are needed, generally bands 4,5 and 7 are used for the 4 band LANDSAT MSS data. However, the selection of three bands from the available 7 TM bands is not an easy task; because there are 210 possible combinations of the selected three bands with the three prime colors. In this study three different criteria for band selection: Entropy, the Optimum Index Factor and the Principal Component were used. After band selection, color composites were compared visually to verify discriminations of soybeans, corn and sugarcane. Study results show that there was no apparent superiorities of visual differentiation among crop types for the color composites selected by any of the studied criteria over the conventional composite using bands 2,3 and 4. It is concluded that the conventional false color composite should be used for crop discrimination, because no additional training of photo-interpreter on the color-surface target relationship is needed.

1. INTRODUÇÃO

Os dados obtidos pelo satélite LANDSAT podem ser apresentados em forma digital (fitas compatíveis com computador) ou analógica (imagens em papel). Os dados digitais possuem melhor qualidade e são analisados através de computadores de alto custo e que requerem análises treinadas para manutenção e desenvolvimento de "software". As imagens, além de serem de menor custo, são analisadas visualmente pelo intérprete e informações úteis podem ser extraídas das mesmas.

No segundo semestre do ano passado, aproximadamente 90% dos usuários utilizaram imagens LANDSAT para o estudo de recursos naturais. Isto nos leva a explorar mais as imagens a fim de facilitar a discriminação dos alvos de interesse dos usuários.

As composições coloridas falsa cor são mais

úteis na discriminação de alvos pois o conteúdo de suas informações apresenta-se em 3 canais enquanto que as imagens preto e branco são apresentadas em um só canal.

Para os dados do sensor MSS (Multispectral Scanner) a seleção de três canais entre os quatro disponíveis para obter-se as composições coloridas é relativamente fácil porque os dois canais na região do visível (4 e 5) e os dois na região do infravermelho (6 e 7) são altamente correlacionados. Geralmente os canais 4,5 e 7 são utilizados e as cores azul, verde e vermelha são associadas a eles, respectivamente. Como o sensor "Thematic Mapper" (TM) possui sete canais, a seleção de três deles torna-se mais difícil devido as 35 combinações possíveis de serem obtidas com os mesmos. Como qualquer uma das cores básicas pode ser associada a cada canal, poderão ser obtidas 210 diferentes composições coloridas representando a mesma cena. A decisão de qual delas contém mais informação

através da análise visual, é difícil e requer um certo tempo.

Existem vários métodos para selecionar um subconjunto de N canais de um nº P de canais multispectrais sendo $P > N$. Neste trabalho foram aplicados diferentes critérios para a seleção dos melhores canais.

2. DEFINIÇÕES DOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA A SELEÇÃO DE CANAIS

2.1 - O CRITÉRIO DA ENTROPIA

Quaisquer três canais do TM selecionados apresentam um subespaço tridimensional na matriz de covariância original 7×7 e a matriz de covariância 3×3 associada define um elipsóide dentro do subespaço mencionado acima. A Entropia é um critério para a seleção de três canais que maximiza o volume do elipsóide. Como este tem o valor $4\pi abc/3$ onde a, b e c são os eixos principais do elipsóide, a escolha do volume máximo do elipsóide é equivalente à escolha da máxima raiz quadrada do produto dos autovalores para a matriz 3×3 da variância-covariância do conjunto de três bandas. Após a transformação de rotação dos eixos, o produto dos autovalores é igual ao determinante da matriz original 3×3 . O conjunto de três bandas que possui o maior conteúdo de informação pode ser selecionado calculando e ordenando os determinantes de cada submatriz principal 3×3 da matriz original. Para o caso de distribuição normal, as aplicações do Critério da Entropia foram apresentadas por Dutra et alii (1984) e Sheffield (1985).

2.2 - O FATOR DE ÍNDICE ÓTIMO (FIO)

A técnica do Fator de Índice Ótimo foi desenvolvida por Chavez (1984). É uma simples alternativa para selecionar o conjunto dos três canais para obter as composições coloridas. A fórmula utilizada para calcular o valor do FIO para qualquer combinação de três canais é a seguinte:

$$FIO = \sum_{j=1}^3 SD_i / \sum_{j=1}^3 CC_j$$

onde: SD_i = desvio padrão para o canal i
 CC_j = valor absoluto do coeficiente de correlação entre quaisquer dois dos três canais do TM em análise.

Os valores do FIO de todas as possíveis combinações de canais do TM são ordenados e a combinação que possui o maior valor FIO é a melhor para a obtenção da composição colorida. Isto porque o maior valor FIO indica os canais com maior conteúdo de informação medido pela variância e com menos informações repetidas.

2.3 - A TRANSFORMAÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS

Este método é também conhecido como Transformação de Autovetor, Transformação Hotelling e Transformação Karheenen-Loève (K-L). Segundo Taylor (1974) e Canas et alii (1985) esta transformação é uma técnica estatística multivariada que reduz a dimensionalidade de dados multispectrais afim de produzir composições coloridas de falsa cor. Esta técnica consiste essencialmente em ajustar aos dados um novo conjunto de eixos de coordenadas, selecionando como primeiro novo eixo ou componente uma orientação que irá maximizar a variância e as sucessivas componentes principais (CP) obtidas terão menor variância. Este processo utiliza todos os dados, não requer informações a priori e reduz a dimensionalidade dos dados do LANDSAT/TM de maneira que as informações podem ser apresentadas em forma de composições coloridas. Normalmente, as três primeiras componentes principais são utilizadas para formar composições coloridas falsa cor mas isto pode ser modificado se o intérprete prefere utilizar as componentes principais ordenadas após as três primeiras. A descrição matemática da Transformação das Componentes Principais encontra-se no trabalho de Singh et alii (1985).

Após a seleção de três canais utilizando qualquer um dos critérios acima descritos, ainda permanece o problema de como associar as três cores básicas (azul, verde e vermelha) aos mesmos afim de produzir as melhores combinações entre o espaço de atributos e as cores visuais. Na escolha da cor adotou-se a sugestão de Sheffield (a cor verde à qual o olho humano é mais sensível deve ser associada ao canal de máxima variância; a cor azul a um dos canais de menor variância e a cor vermelha ao canal restante). Desta maneira conseguiu-se definir os melhores canais para a obtenção das imagens coloridas.

Após a seleção de três canais utilizando qualquer um dos critérios acima descritos, ainda permanece o problema de como associar as três cores básicas (azul, verde e vermelha) aos mesmos afim de produzir as melhores combinações entre o espaço de atributos e as cores visuais. Na escolha da cor adotou-se a sugestão de Sheffield (a cor verde à qual o olho humano é mais sensível deve ser associada ao canal de máxima variância; a cor azul a um dos canais de menor variância e a cor vermelha ao canal restante). Desta maneira conseguiu-se definir os melhores canais para a obtenção das imagens coloridas.

3. ÁREA DE ESTUDO

Para a realização deste trabalho foi selecionada uma área de 15×15 km cultivada com milho, soja e cana-de-açúcar, situada a sudoeste da cidade de Maringá, no Estado do Paraná. Foi adquirida uma fita CCT ("computer compatible tape") correspondente à órbita 223, ponto 76, quadrante D, de 19 de janeiro de 1985. A área de estudo abrange 512×512 pixels do referido quadrante. Os dados digitais do TM correspondentes aos canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7 foram gravados e armazenados em fita magnética. O canal 6 não foi utilizado devido à sua baixa resolução espacial (120 m).

No dia da passagem do satélite, na maioria das áreas cultivadas com soja, esta cultura estava no final da floração e no início da formação dos grãos. A cultura do milho já estava em senescência enquanto que os talhões de cana-de-açúcar estavam em diferentes estágios fenológicos com percentagens de cobertura do solo variando de 30 a 100%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As primeiras seis combinações de três canais selecionadas de acordo com o Critério da Entropia estão ordenadas na Tabela 1.

TABELA 1

PRIMEIRAS SEIS COMPOSIÇÕES COLORIDAS FALSA COR
SELECIONADAS ATRAVÉS DO CRITÉRIO DA ENTROPIA

ordenação	combinações de canais
1	2,4,5
2	3,4,5
3	1,4,5
4	4,5,7
5	2,4,7
6	3,4,7

Como mostra a Tabela acima, a melhor combinação foi com os canais 2,4,5. O canal mais importante foi o 4, sendo incluído em todas as combinações. Os canais 4 e 5 foram utilizados em conjunto com os canais da região do visível.

As matrizes de variância-covariância e dos coeficientes de correlação entre canais do TM para a área de estudo são apresentadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Na Tabela 2, as variâncias representam a intensidade dos níveis de cinza ou o contraste de uma imagem preto e branco original para cada canal do TM. Por isso, elas podem ser uma medida grosseira do conteúdo de informações presentes na cena. A magnitude da variância ou as informações nos canais TM podem ser apresentadas na ordem decrescente - canais 4,5,7,3,2 e 1.

Como mostra a Tabela 3, a correlação positiva entre os canais do visível (1,2 e 3) e a correlação negativa entre os canais do visível e o canal 4 do infravermelho eram esperadas. É interessante ressaltar que a correlação entre os canais 4 e 5 foi positiva para a área de estudo. As respostas espectrais no canal 5 foram menores que as verificadas no canal 4 devido a absorção de água pelas folhas (ver Tabela 2).

A consistência das diferenças de respostas espectrais das culturas na área de estudo fez com que os canais 4 e 5 fossem positivamente correlacionados ($r = 0,75$).

Com base nas variâncias e nos coeficientes de correlação foram calculados os FIO para todas as 20 combinações possíveis utilizando três canais. Seus valores são mostrados na Tabela 4.

De modo semelhante aos resultados obtidos utilizando o Critério da Entropia, o canal 4 associado com um canal do visível deve, neste método, sempre fazer parte da combinação, mas, ao invés de escolher-se o canal 5 pelo Critério da Entropia para completar o conjunto, o canal 7 foi selecionado. As combinações entre os canais 4 e 5 e um canal do visível foram ordenadas após as três primeiras selecionadas usando o FIO devido à alta correlação entre os canais 4 e 5.

A análise das componentes principais obtida através do Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM) mostrou que, aproximadamente, 81% da informação está contida na primeira CP, 13% está na segunda CP e 3% está na terceira CP. Para

as outras componentes principais houve praticamente só ruídos como pode se verificar na Tabela 5.

Um total de 97% da informação estava contido nas três primeiras componentes principais. Como já era esperado, os canais 4 e 5 contribuíram significativamente nas duas primeiras CP. Como para a análise das CP usando o Sistema Image-100 podem ser utilizados no máximo 4 canais e como há intercorrelação entre eles (i.e., entre os canais do visível, entre os canais 4 e 5 e entre o 5 e 7), uma análise seletiva das componentes principais foi também realizada. Sendo então de acordo com o critério da Entropia e com o FIO, o canal 4 deve ser incluído na combinação, juntamente com o 5 ou com o 7 e com qualquer canal do visível. Assim, os canais 2,4,5 e 7 foram utilizados na análise seletiva das CP através do Sistema Image-100. Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 6.

Comparando as Tabelas 5 e 6 nota-se que mais de 2,6% da informação estava contida nas três primeiras componentes principais. Numa análise visual isto talvez não seja tão importante mas o conteúdo igual ou maior de informação obtida utilizando somente 4 canais do TM ao invés dos 6 disponíveis, torna as componentes principais seletivas um procedimento que deve ser considerado. As três CP foram armazenadas em fita magnética para análise posterior e para comparações entre as composições coloridas falsa cor.

Após a seleção das combinações através do Critério da Entropia e do Fator de Índice Ótimo e a formação das três CP pelo processo seletivo, as cores verde, vermelha e azul foram associadas a três canais do TM de acordo com suas variâncias (Tabela 2). Para a imagem CP todas as seis possíveis combinações de cores foram testadas. Se um canal do visível era incluído na combinação, aplicava-se o "Contrast Stretching" antes da associação das cores aos canais. Da tela do Image-100 foram obtidos slides de todas as composições coloridas falsa cor analisadas, as quais foram comparadas às composições coloridas normais falsa cor que são obtidas com os canais 2,3 e 4. Devido ao alto custo do processamento das fotografias coloridas, as composições obtidas não foram apresentadas neste trabalho.

As composições obtidas pela Entropia ou pelo FIO mostraram-se similares com relação às cores presentes porque a cor verde foi associada ao canal 4, a cor vermelha ao canal 5 ou 7 enquanto que a cor azul foi associada aos canais do visível.

A cultura da soja apresentou-se com a cor vermelha devido à alta reflectância nos canais 4,5 e 7, em contraste com os alvos vizinhos. As florestas naturais e a cana-de-açúcar apresentaram-se com várias tonalidades de vermelho enquanto que o milho mostrou-se em verde musgo.

TABELA 2

MÉDIA E MATRIZ DE COVARIÂNCIA DOS CANAIS DO SENSOR TM PARA A
ÁREA DE ESTUDO (512x512 PIXELS)

	CANAIS DO TM					
	1	2	3	4	5	7
	10,12					
	13,96	21,70				
	19,20	29,56	73,88			
	-6,93	-34,55	-142,71	1083,06		
	17,10	10,84	-44,73	599,01	582,10	
	8,88	13,47	6,10	64,36	141,48	86,10
MÉDIA	68,05	30,80	27,24	115,30	85,19	20,60

TABELA 3

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO

	CANAIS DO TM				
	1	2	3	4	5
2	0,94				
3	0,70	0,74			
4	-0,07	-0,23	-0,50		
5	0,22	0,10	-0,22	0,75	
7	0,30	0,31	0,08	0,21	0,63

TABELA 4

VALORES FIO PARA TODAS AS POSSÍVEIS COMBINAÇÕES
DE TRÊS BANDAS DO TM

COMBINAÇÕES	VALORES FIO
1,4,7	78,22
3,4,7	64,28
2,4,7	62,47
1,4,5	57,89
2,4,5	57,12
3,5,7	45,15
3,4,5	44,64
4,5,7	41,70
2,5,7	36,59
2,3,5	35,25
1,3,4	35,18
1,2,4	32,86
1,5,7	31,81
1,3,5	31,48
2,3,4	28,00
1,2,5	25,36
2,3,7	19,94
1,3,7	19,49
1,2,3	6,90
1,2,7	4,97

TABELA 5

COMPONENTES PRINCIPAIS SELETIVAS OBTIDAS UTILIZANDO
OS VÁRIOS CANAIS DO TM

canais Autovetores	1	2	3	4	5	7	% de informação
1	0,002	-0,016	-0,099	0,823	0,551	0,091	81
2	0,111	0,172	0,267	-0,472	0,685	0,440	13
3	0,287	0,386	0,802	0,232	-0,155	-0,219	3
4	0,024	0,094	0,034	0,211	-0,449	0,862	1
5	0,442	0,724	-0,524	-0,027	-0,021	-0,075	0
6	0,842	-0,537	-0,034	-0,010	-0,015	0,032	0

TABELA 6

COMPONENTES PRINCIPAIS SELETIVAS OBTIDAS UTILIZANDO
OS CANAIS 2,4,5 e 7 DO TM

canais Autovetores	2	4	5	7	% de informação
1	0,014	-0,812	-0,573	-0,110	88,2
2	0,177	-0,557	0,724	0,336	10,6
3	0,962	0,137	-0,196	0,131	0,8
4	-0,207	0,106	-0,330	0,915	0,4

Se as composições coloridas falsa cor obtidas pela Entropia ou pelo F10 forem utilizadas para a discriminação de culturas, será necessário um treinamento adicional dos intérpretes para que os mesmos possam associar cores às diferentes culturas. Para o caso das composições coloridas produzidas utilizando as Componentes Principais, também haverá necessidade de treinamento pois em uma imagem CP não há relação entre a cor e o alvo em estudo. Assim sendo, a interpretação torna-se mais difícil. A composição colorida normal falsa cor não constou nas seis primeiras combinações selecionadas pela Entropia e foi a 15ª de acordo com seus valores F10.

Trabalhos anteriores realizados por Chen et alii (1986) mostraram que os canais 4,5 e 7 foram as mais adequados para a discriminação de culturas através da análise digital, mas a contribuição destes canais na obtenção das composições coloridas falsa cor para a análise visual não foi significativa.

Os resultados deste trabalho mostraram que, para a discriminação de culturas as composições coloridas falsa cor obtidas pelos critérios mencionados não foram melhores que as composições coloridas normais falsa cor e, como a análise de uma composição normal falsa cor é mais fácil e rápida porque o intérprete pode, através de seus conhecimentos anteriores da relação cor-vegetação (i.e, tonalidade vermelha relacionada com a biomassa), fazer a discriminação das culturas da soja, do milho e da cana-de-açúcar, conclui-se que tal composição mostra-se superior.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANAS, A.A.D., BARNETT M.E. The generation and interpretation of false-colour composite principal component images. *International Journal of Remote Sensing*, 6(6):867-881, 1985.
- CHAVEZ JR., P.S. Digital processing techniques for image mapping with LANDSAT TM and SPOT simulator data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 18., Paris, October 1-5, 1984. *Proceedings*. Paris, ERIM, 1984, v.1, p. 101-116.
- CHEN, S.C.; DALLEMAND, J.F., ROSENTHAL, D. A. Comportamento espectral de culturas a partir da análise de dados do LANDSAT/TM. Aceito para ser apresentado no *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 4., Gramado, 10-15 agosto., 1976.
- DUTRA, L.V.; II, F.A.M.; MASCARENHAS, N.D.A. Evaluation of entropy and J-M distance criteria as features selection methods using spectral and spatial features derived from LANDSAT images. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING CONGRESS, Rio de Janeiro, June 18-29. *Proceedings*. Rio de Janeiro, 1984.
- SHEFFIELD, C. Selecting band combinations from multispectral data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(6):883-896, 1985.

SINGH, A.; HARRISON, A. Standardized principal components. *International Journal of Remote Sensing*, 6(6):883-896, 1985.

TAYLOR, M.M. Principal components colour display of ERTS imagery. IN: THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, Dec., 1973. *Proceedings*. NASA-351, p.1877-1898.