

ESTUDO COMPARATIVO DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE TRIGO
OBTIDA POR VÁRIOS CLASSIFICADORES

S. C. Chen, A. M. de Lima, M. A. Moreira

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP. Brasil

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo comparar os resultados da classificação automática de trigo, obtida usando-se os seguintes classificadores: Single-cell, Multi-cell, Média K e MAXVER, implementados no Sistema I-100 do INPE; cada um deles foi utilizado na distinção da classe *trigo* da *não trigo*. Como área de estudo, selecionou-se a região de Cruz Alta, no Estado do Rio Grande do sul. Para a classificação foram usadas pequenas áreas de treinamento e áreas testes (aproximadamente 20 "pixels"). A fim de dar uma visão mais realista do desempenho dos classificadores, tomou-se também uma área piloto de aproximadamente 40 Km², com vários tipos de cobertura, para a realização de estudos mais detalhados. Fez-se uma comparação ponto a ponto dos "printouts", obtidos a partir dos diferentes classificadores, com o mosaico confeccionado com fotografias aéreas infravermelho falsa cor. Assim, calcularam-se as percentagens de classificação correta e do erro de inclusão. Os resultados desse estudo mostraram que com pequenas áreas testes com um único tipo de cobertura pode-se obter uma percentagem de classificação correta superestimada. Concluiu-se também que a percentagem de classificação correta não deve ser o único fator usado numa avaliação, o erro de inclusão também exerce um importante papel na estimativa de área. Dentre os classificadores estudados, o melhor desempenho foi obtido pelo MAXVER com quatro subclasses espectrais de trigo. Este classificador forneceu 87,26% de classificação correta, um erro de inclusão de 12,90% e uma superestimativa de área de 0,2%, a qual foi obtida comparando-se a área estimada pelo I-100 com a área estimada por fotografia aérea.

ABSTRACT

This paper compared wheat classification results using Single-cell and Multi-cell Signature Acquisition Options, a point-by-point Gaussian maximum likelihood classifier, and K-means clustering of the INPE'S Image-100 system. Each classifier was used to distinguish wheat from non-wheat in Cruz Alta, Rio Grande do Sul State, Brazil. Independent training and test areas (each area of approximately 20 pixels) were used in the classification procedures. In order to get a more realistic view of the classification performance, a test area of approximately 40 Km², with a variety of land cover types was also selected. The rescaled alphanumeric theme printout of each classifier was overlaid on CIR aerial photographs. A point-by-point comparison of the theme printout to its corresponding aerial photographs provided the percentages of correct classification and error of commission. The study results show that using small test areas of one cover type to evaluate classification performance may lead to an optimistically high percent correct classification. In addition, percent correct classification should not be the only factor used for evaluation. The error of commission plays an important role in the estimation of area. Among the examined classifiers, the point-by-point Gaussian maximum-likelihood classifier, using four spectral subclasses of wheat showed the best performance. This classifier gave an 87,3% correct classification, a 12,9% commission error and an overestimate of 0.2% in wheat area when compared to that obtained from aerial photographs.

1 - INTRODUÇÃO

Para uma correta classificação de culturas, utilizando-se dados do LANDSAT e análise automática, distintas respostas espectrais dos alvos estudados devem ser definidas. Tem-se muitos classificadores disponíveis no Sistema I-100 e um dos problemas comumente encontrados pelo analista de dados é decidir qual é o melhor classificador. Na maioria dos estudos já realizados, somente as porcentagens de classificação correta foram utilizadas para avaliar os desempenhos dos classificadores (Hixson et alii, 1980).

Neste trabalho foram comparados os desempenhos obtidos por três classificadores supervisionados e por um não-supervisionado. Com base nos resultados, foi selecionado o que apresentou melhor desempenho.

Além da análise qualitativa dos resultados da classificação da área total de estudo (aproximadamente 400 Km²), foi feita também uma análise quantitativa detalhada da classificação da área piloto (aproximadamente 40Km²) comparando-se ponto-a-ponto os resultados obtidos com a verdade terrestre.

2 - ÁREA DE ESTUDO E AQUISIÇÃO DOS DADOS

2.1 - ÁREA DE ESTUDO

Cruz Alta é um dos maiores municípios produtores de trigo do Estado do Rio Grande do Sul. Sua localização geográfica é 28°35'S e 53°45'W. Uma área de estudo de aproximadamente 400 Km², representativa do total cultivado com trigo, foi selecionada neste município. Nesta região, dependendo das condições climáticas, o trigo é plantado em abril/maio e colhido em outubro/novembro. No ano agrícola 1979, a área de trigo plantada diminuiu 60% em comparação com a área plantada no mesmo mês do ano anterior. Este decréscimo foi devido a um período seco ocorrido em abril e também a algumas mudanças no sistema de financiamento, os quais desestimularam os agricultores. O plantio intensivo só foi iniciado no fim de maio, quando essas mudanças foram alteradas (São Paulo, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1980):

2.2 - AQUISIÇÃO DE DADOS

a) Aeronave

No dia 2 de setembro de 1979, a aeronave Bandeirante sobrevoou a área de estudo e foram obtidas fotografias aéreas infravermelho coloridas com escala média de 1:20.000, usando-se a câmara RC-10. Essas fotos foram interpretadas visualmente e serviram como verdade terrestre para a interpretação automática dos dados LANDSAT.

b) LANDSAT

No ano agrícola 1979, dados do LANDSAT adquiridos no final de setembro ou início de outubro seriam ideais para a discriminação de trigo. Isto deve-se ao fato de que em setembro/outubro o trigo entra na fase de maturação e adquire uma coloração amarelo-ouro, diferenciando das outras culturas ao redor (pastagem, predominantemente), as quais ainda estão verdes. Contudo a passagem de 22 de setembro estava com 100% de cobertura de nuvem e não pôde ser utilizada. Para esse estudo foram utilizados dados digitais adquiridos no dia 4 de setembro correspondentes à órbita 220, ponto 32.

3 - METODOLOGIA

Têm-se vários classificadores disponíveis no Sistema I-100. Para este estudo foram selecionados os seguintes classificadores:

1 - "*Single-cell*" - É um algoritmo supervisionado não-paramétrico. Uma vez selecionadas as áreas de treinamento, as suas respostas espectrais são utilizadas para criar um paralelepípedo de 4 dimensões, sendo que cada lado deste corresponde à banda de cada canal. Um "pixel" desconhecido é classificado como pertencente a uma classe conhecida se as respostas espectrais desse pixel, nos 4 canais, estão contidas no paralelepípedo criado pelos "pixels" das áreas de treinamento da classe conhecida.

2 - "*Multi-cell*" - É um algoritmo supervisionado não-paramétrico. Neste procedimento o paralelepípedo do "Single-cell" é subdividido em muitas celas unitárias. Cada "pixel" das áreas de treinamento pode formar uma cela única que ocupa uma discreta e conhecida região no espaço espectral.

Nesse estudo, o limiar escolhido para esse classificador foi zero, isto é, somente celas vazias foram descartadas.

3 - *MAXVER* - é um algoritmo supervisionado paramétrico que usa a máxima verossimilhança como regra de decisão. Foi implementado no INPE para o Sistema I-100. Este algoritmo tem capacidade de analisar 32 classes com um máximo de 160 áreas de treinamento. Detalhes sobre este algoritmo podem ser encontrados no trabalho de Velasco et alii(1978).

4 - *Média K* - (*Clustering*) - é um algoritmo não-supervisionado; o analista tem pouco controle no estabelecimento da região de decisão. As informações espectrais da área de estudo são agrupadas em várias classes espectrais homogêneas que passam a se chamar classes informativas quando ocorre a identificação pelo analista dos tipos de cobertura correspondentes a cada uma delas.

Para a classificação supervisionada, áreas de treinamento representativas de cada classe foram selecionadas usando-se o cursor. Assim, quatorze áreas de treinamento de trigo, três de pastagem e duas de solo preparado foram adquiridas.

Para análises com o "Single-cell" ou com o "Multi-cell", somente as áreas de treinamento de trigo foram necessárias. Para o "MAXVER", dois métodos de treinamento foram utilizados:

a) As 14 áreas de treinamento de trigo formaram estatísticas de treinamento para uma (1) classe de trigo

b) As 14 áreas de treinamento de trigo foram divididas em quatro subclasses, de acordo com as diferenças de tonalidades apresentadas nas fotos. Então, foram obtidas estatísticas de treinamento para cada subclasse de trigo.

Estes dois métodos de obtenção de estatísticas de treinamento foram utilizados para testar seus efeitos sobre a exatidão da classificação, usando-se o MAXVER.

A resposta espectral de uma cultura em uma área heterogênea e de grande extensão pode variar, consideravelmente, de acordo com as diferenças de variedades, de estágios fisiológicos, de tipos de solo, de conteúdo de umidade do solo, de práticas agrícolas, etc. As respostas espectrais heterogêneas não satisfazem o critério requerido pelo MAXVER, de que os dados de cada classe apresentem distribuição normal. Por isso, o média K também foi utilizado.

Para a classificação não-supervisionada (Média K), foi selecionado um segmento dentro da área de estudo e o número 12 foi designado como número de centros iniciais para "Clustering". Contudo, resultados com o uso de 12 centros iniciais foram complexos para a associação com as classes informativas. Depois de várias iterações, 8 centros foram utilizados para a análise. Para comparar esse classificador com os outros, empregou-se outro método de treinamento com as mesmas áreas utilizadas na classificação supervisionada.

As abordagens para a classificação, usando-se o MAXVER com uma única classe de trigo, o MAXVER com 4 subclasses de trigo, o Média K com as áreas de treinamento ao acaso e o Média K com as mesmas áreas de treinamento da classificação supervisionada, serão chamadas respectivamente: MAXVER-a, MAXVER-b, Média K (a) e Média K (b).

Uma vez adquiridas as estatísticas de treinamento, a exatidão da classificação ob

tida pelos classificadores foi verificada, usando-se áreas testes (aproximadamente 20 "pixels" cada) que não foram utilizadas no treinamento e que continham "pixels" puros. Este método, que usa "pixels" puros para treinamento e teste, foi muito empregado na avaliação dos resultados de classificação (Hixson et alii, 1980).

Porém, os autores deste trabalho acham que, testando-se o classificador em áreas pequenas com um único tipo de cobertura, pode-se chegar a uma porcentagem de classificação correta superestimada. Assim, para dar uma visão mais real da exatidão da classificação foi também classificada uma área piloto de aproximadamente 40 Km², com vários tipos de cobertura vegetal e representativa da área total de estudo, para uma análise quantitativa detalhada. Os "printouts" (1:20.000) da área piloto, obtidos usando-se cada classificador, foram sobrepostos aos mosaicos confeccionados com fotos áreas de mesma escala. Os limites dos talhões de cada tipo de cobertura foram ajustados nos "printouts", usando-se talhões de solo preparado como pontos de controle. Após a delimitação dos talhões, foram contados os pontos de trigo e os de outros tipos de cobertura (não-trigo) classificados corretamente. Também, foram contados os pontos de outros tipos de cobertura classificados como trigo. As porcentagens de classificação correta (CC) e do erro de inclusão (EI) foram assim calculados:

$$CC (\%) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de pontos da classe } X \text{ classificados corretamente}}{\text{n}^\circ \text{ de pontos da classe } X \text{ obtidos por foto aérea}}$$

$$EI (\%) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de pontos de outra classe, classificados como pertencentes à classe } X}{\text{n}^\circ \text{ total de pontos classificados pelo I-100 como pertencentes à classe } X}$$

As áreas de trigo estimadas, usando-se cada classificador, foram comparadas às estimadas por fotos aéreas, obtendo-se assim as diferenças relativas (DR).

Feita a comparação dos resultados da classificação da área piloto, as estatísticas de treinamento obtidas para esta área foram utilizadas para a classificação da área total de estudo, cujos resultados foram mostrados na tela do I-100. Diapositivos foram tirados e comparações visuais foram feitas, avaliando-se diferenças da classificação da área de estudo ao utilizar cada classificador.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os vários classificadores, o "Multi-cell" forneceu a mais baixa porcentagem de CC, pois do número total de "pixels"

utilizados para treinamento (324), somente 192 "pixels" eram de trigo. (Tabela 1).

TABELA 1

NÚMERO E TAMANHO DAS ÁREAS DE TREINAMENTO UTILIZADAS PARA A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

TIPO DE COBERTURA	Nº DE ÁREAS DE TREINAMENTO	Nº DE "PIXELS"
Trigo	14	192
Pastagem	3	108
Solo preparado	2	24
Total	19	324

O número relativamente baixo de "pixels" de trigo utilizados no treinamento fez com que celas unitárias ficassem espalhadas no espaço espectral, onde muitas celas vazias pertencentes à classe trigo não continham "pixels" das áreas de treinamento e por isso muitos deles não foram identificados. Os resultados obtidos ao utilizar o "Multi-cell", não foram apresentados devido ao mau desempenho deste classificador.

Os desempenhos dos classificadores foram avaliados com base nos resultados mostrados pela matriz de classificação gerada pelo Sistema I-100. A Tabela 2 mostra as percentagens de CC obtidas, utilizando-se, para cada classe, áreas testes com aproximadamente 60 "pixels" puros cada uma (Tabela 2).

TABELA 2

CLASSIFICAÇÃO CORRETA OBTIDA UTILIZANDO-SE ÁREAS TESTES COM "PIXELS" PUROS

CLASSIFICADOR	CLASSIFICAÇÃO CORRETA (CC%)		
	TRIGO	PASTAGEM	SOLO PREPARADO
"Single-cell"	98,3	-	-
MAXVER-a	100,0	100,0	100,0
MAXVER-b	99,0	100,0	100,0
Média K(a)	85,7	97,2	100,0
Média K(b)	83,2	98,0	100,0

A comparação ponto-a-ponto dos resultados da classificação da área piloto, que con

tinha vários tipos de cobertura, revelou percentagens de CC mais baixas (Tabela 3)

TABELA 3

CLASSIFICAÇÃO CORRETA DA ÁREA PILOTO

CLASSIFICADOR	CLASSIFICAÇÃO CORRETA (CC%)		
	TRIGO	OUTROS	MÉDIA PONDERADA*
"Single-cell"	88,1	81,6	85,0
MAXVER-a	84,6	82,5	83,6
MAXVER-b	87,3	85,3	84,5
Média K(a)	88,7	79,4	84,5
Média K(b)	75,3	89,8	81,9

* Utilizou-se a densidade de cultura como peso para calcular a média ponderada.

Todos os classificadores, exceto o Média K(b), têm boa capacidade para identificar trigo (CC ≥ 85%). A mais baixa percentagem de CC foi observada quando utilizou-se o média K(b), indicando que algumas respostas espectrais de trigo não foram definidas pelo agrupamento, pois 324 pixels foram insuficientes para o agrupamento, utilizando-se 8 centros iniciais. Por isso 1/4 dos "pixels" de trigo da área piloto não foi classificado como trigo. Os dados da CC mostrados na Tabela 3 foram transformados (transformação arco seno) e submetidos à análise de variância.

Não foi encontrada diferença significativa ($\alpha = 0,05$) entre os classificadores. Contudo, o erro de inclusão também é muito importante para a avaliação do desempenho do classificador. Havendo uma alta percentagem de CC e um alto erro de inclusão, a estimativa de área pode ser tão imprecisa como quando há baixa percentagem de CC e baixo EI.

Os desempenhos dos classificadores estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4

RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DE TRIGO DA ÁREA PILOTO

CLASSIFICADOR	CC (%)	EI (%)	DR* (%)
"Single-cell"	88,1	15,8	-4,5
MAXVER-a	84,6	14,8	-0,7
MAXVER-b	84,3	12,9	+0,2
Média K(a)	88,7	16,0	+5,6
Média K(b)	75,3	10,7	-15,7

*DR (%) = $\left(\frac{\text{área estimada pelo Sistema I-100}}{\text{área estimada utilizando-se foto aérea}} - 1 \right) \times 100$

A amplitude total do EI foi de 10,7 a 16,0%, para todos os classificadores testados. A grandeza desse erro indica que houve certa confusão entre as respostas espectrais do trigo e de pastagem. Isto ocorreu porque o trigo estava na fase do emborrachamento/floração em setembro e apresentou resposta similar a algumas pastagens bem formadas.

Comparando-se os diapositivos da área de estudo, os quais mostram o mapa temático pelos classificadores e analisando-se os resultados da CC, do EI e da DR da área piloto, conclui-se que o MAXVER-b teve o melhor desempenho, pois forneceu 87,3% de CC, 12,9% de EI e + 0,2% de DR.

5 - CONCLUSÕES

Como áreas testes com "pixels" puros forneceram percentagens de classificação correta superestimadas, conclui-se que, para a avaliação do desempenho dos classificadores, deve-se utilizar áreas testes com vários tipos de cobertura.

A exatidão da classificação deve ser avaliada considerando-se não só a percentagem de CC, mas também o EI, pois só a percentagem de CC não é suficiente para indicar o desempenho do classificador. Isso pode ser explicado pelo fato de que uma alta percentagem de CC aliada a uma alta percentagem de EI pode indicar uma superestimativa de área, o que não é desejável.

Usando-se as mesmas áreas de treinamento, o MAXVER forneceu melhores resultados que o Média-K.

O MAXVER apresentou melhores resultados que o "Single-cell" e o "Multi-cell".

Para obter maior exatidão da estimativa de uma área cultivada, grande e heterogênea, utilizando-se o MAXVER, devem ser adquiridas as estatísticas de treinamento para as subclasses espectrais.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. *Prognóstico 80/81*. São Paulo, 1980.. p. (87-198).
- VELASCO, F.R.D., PRADO, L.D.C., SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER: Manual do Usuário*. São José dos Campos, INPE, Jul. 1978. (INPE-1315 - NTI/110)

HIKSON, M.; SHOLZ, D.; FUHS, N.; AKIYAMA, T. *Evaluation of Several Schemes For Classification of Remotely Sensed Data*. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 46(12): 1547-1553, December, 1980.