

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS EM ÁREAS CULTIVADAS COM CITROS POR TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOESTATÍSTICA¹

ALESSANDRA FAGIOLI DA SILVA²; CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK³ & PAULO MILTON BARBOSA LANDIM⁴

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi comparar a precisão de métodos de classificação de imagens orbitais na determinação de áreas cultivadas com citros, na Mesoregião de Bauru e Araraquara, através de métodos de sensoriamento remoto e geoestatísticos, para a discriminação e quantificação da área plantada. A área de estudo utilizada nesta pesquisa esta localizada na região central do Estado de São Paulo, com uma área de 56.146,78 ha. Foi utilizado o SIG-SPRING para o processamento dos dados. Foram utilizadas as bandas 2, 3 e 4 da imagem digital proveniente do satélite CBERS 2B, câmera CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução) da data de 16/04/2009, nas órbitas/ponto 157/124 e 157/125. No processo de classificação das imagens foram estudados dois métodos de classificação supervisionada, sendo o MAXVER (Máxima Verossimilhança) e a KI (Krigagem Indicativa), além da classificação em tela tida como verdade terrestre. As fidedignidades das classificações foram avaliadas pelo índice Kappa. Os classificadores obtiveram melhor qualidade de classificação para as áreas maiores com citros; a Krigagem Indicativa unificou as áreas pequenas de citros em uma única área; a Krigagem Indicativa foi o classificador que menos classificou área de mata ciliar como citros, já o MAXVER confundiu consideravelmente mata ciliar com citros; pela validação, a Krigagem Indicativa foi o classificador que obteve a menor qualidade de classificação em comparação com o MAXVER e o maior tempo de processamento; o MAXVER foi o que apresentou área total de citros mais próxima da verdade terrestre, enquanto que a Krigagem Indicativa foi o classificador que mais superestimou a área total de citros em 27,94 %.

Palavras-chave: Krigagem indicativa, satélite CBERS 2B, classificadores de imagens.

¹ Parte da dissertação da primeira autora.

² Doutoranda em agronomia, FCA/ UNESP, Rua Humberto Milanesi, 159, Residencial Primavera, 18.610-385, Botucatu, SP, alefagioli@hotmail.com

³ Prof. Adjunto do Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP – Fazenda Experimental Lageado. Rua José Barbosa de Barros, 1780 CEP: 18610-307 Botucatu, SP – Brasil. Caixa-Postal: 237 Telefone: (14) 3880 7169 e-mail: czimback@gmail.com

⁴ Prof. Emérito do Depart. de Geologia Aplicada. Instituto Geociências e Ciência Exatas – UNESP, Av. 24 A, 1515, Bairro Bela Vista - Rio Claro - SP. E-mail: plandim@rc.unesp.br

IMAGE CLASSIFICATION IN AREAS CULTIVATED WITH CITRUS BY REMOTE SENSING AND GEOSTATISTICAL TECHNIQUES

SUMMARY: *The objective of this study was to compare the accuracy for methods of classifying satellite images to determine areas planted with citrus in Bauru and the Araraquara mesoregion, through methods of geostatistical analysis and remote sensing for the breakdown and qualification of the area planted. The area used for the research in this study is located in the central region of the state of São Paulo, with an area of 56,146.78 hectares. We used the GIS-SPRING for processing the data. We used the digital image bands 2, 3 and 4 from the CBERS 2B satellite, CCD camera (High Resolution Imagery Camera) on the date of 04/16/2009, at orbit sections 157/124 and 157/125. Two classification methods were supervised in the process of classifying images with the GML (Maximum Likelihood) and KI (Kriging Indicative), in addition to the classification screen taken as ground truth. The Trusts classifications were evaluated by Kappa. The classifiers obtained are better for classification in larger areas of citrus. The Kriging Indicative unified the small areas of citrus in a single area; the kriging was the classifier that less classified citrus riparian area; already pretty substantially MAXVER kills ciliary with citrus validating the Kriging was indicative that the classifier obtained the lowest quality rating compared to MAXVER and a longer processing time, the MAXVER showed the total citrus area closest to the ground truth, while Kriging was indicative that the classifier overestimated the total citrus area in 27.94%.*

Keywords: *Application technology, drift, average volumetric diameter (VMD).*

1 INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira é uma das mais eficientes e dinâmicas do mundo, respondendo rapidamente às alterações do ambiente internacional. O Brasil é o maior produtor de citros e lidera o mercado mundial de suco de laranja. O cinturão citrícola paulista é responsável por cerca de 80% da produção brasileira de laranjas, 53% da produção mundial de suco e 80% do comércio internacional desse produto (ANUÁRIOS, 2010).

Devido a grande dimensão das áreas cultivadas com citros, técnicas automáticas de estudo de áreas plantadas devem ser implementadas, sendo que as mais eficientes são as técnicas de sensoriamento remoto. As imagens do sensor digital dos satélites possibilitaram a classificação digital do uso da terra de forma rápida, confiável e atual, tendo em vista a deficiência de informações (BECKER & BRAUN, 1999).

A incorporação de procedimentos geoestatísticos em estudos ambientais baseados em técnicas de Krigagem tem sido utilizada por um grande número de profissionais das mais diversas áreas da ciência. E, muito recentemente os profissionais da área de sensoriamento remoto vem aplicando esses procedimentos, principalmente quando se trata de mapeamentos de uso do solo e classificação de imagens digital. Assim, incorporado aos SIGs, deu-se início a uma nova fase nos métodos conceituais de representação cartográfica. Esta incorporação se deve ao fato de que, essa associação melhora os procedimentos tradicionais de tais sistemas devido à qualidade do estimador.

As técnicas de geoestatística que utilizam a informação espacial na classificação de imagens podem ser divididas em dois grupos distintos. Primeiro, a informação espacial é utilizada para fornecer dados sobre a textura. Está implícito em tais abordagens que a textura varia espacialmente através da imagem e, em especial entre as classes de interesse, de modo que os dados sobre a textura podem ser usados para informar a classificação. No segundo grupo, a informação espacial é utilizada para suavizar a imagem classificada. A justificativa para a suavização é que imprecisões que surgem a partir de classificação espectral simples aplicada sobre um *pixel-por-pixel* pode ser reduzido utilizando a dependência espacial entre os *pixels* vizinhos. *Pixels* próximos são susceptíveis de serem semelhantes (em que a resolução espacial é boa em relação à escala de variação) e esta dependência pode ser formalizada, em um modelo de variograma, e utilizada para aumentar a precisão da classificação (ATKINSON & LEWIS, 2000).

A modelagem da incerteza de atributos espaciais pode ser feita por krigagem indicativa que constitui uma forma de Krigagem não-paramétrica, na qual a distribuição de probabilidade associada ao atributo é estimada experimentalmente, sem uma suposição de normalidade da distribuição (GOOVAERTS, 1997). O procedimento de modelagem por krigagem indicativa tem vantagens sobre a modelagem estocástica linear (ou krigagem tradicional): (a) a modelagem é não-paramétrica; (b) a modelagem da incerteza é independente de um estimador; (c) é possível modelar dados de natureza categórica, além de dados de natureza numérica (FELGUEIRAS, 1999). Ela tem a vantagem de não sofrer efeitos de valores discrepantes (*outliers*) e, segundo Smith et al. (1993), é útil para conjuntos de dados assimétricos. Essa técnica também possibilita a modelagem de dados com grande variabilidade espacial.

O MAXVER (Máxima Verossimilhança) é um classificador estatístico que utiliza os valores dos níveis de cinza de cada classe previamente definidas a partir das amostras de treinamento, avaliando a probabilidade que cada *pixel* da imagem tem de pertencer a cada uma das classes identificadas e o designa

àquela cuja probabilidade é maior (DUTRA et al., 1981). É a técnica de classificação supervisionada mais popular para tratamento de dados satélites.

O objetivo deste trabalho foi comparar a precisão de métodos de classificação de imagens orbitais na determinação de áreas cultivadas com citros, na Mesoregião de Bauru e Araraquara, por meio dos classificadores MAXVER e Krigagem Indicativa, para a discriminação e quantificação da área plantada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo utilizada nesta pesquisa está localizada na região central do Estado de São Paulo, com uma área de 56146,78 ha. Situa-se entre as coordenadas geográficas 22° 2' 56" e 21° 50' 9" de latitude Sul e 48° 48' 32" e 48° 31' 3" de longitude Oeste de Greenwich, com altitude variando de 447 a 580 metros.

O solo predominante na região foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006). O relevo é do tipo suavemente ondulado (BRASIL, 1960) e o clima predominante na região é o tropical e subtropical Cwa, segundo a classificação de Köppen, temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C. A precipitação média anual está entre 1.100 e 1.700mm.

Esta área foi escolhida por ser de grande importância citrícola, onde estão localizadas as principais fazendas e indústrias de suco concentrado de laranja do Brasil.

Foram utilizadas imagens no formato digital provenientes do satélite CBERS 2B, câmera CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução) que fornece imagens com uma resolução espacial de 20 metros. As bandas 2, 3 e 4 correspondentes ao azul (banda 2: 0,45 - 0,52 µm), verde (banda 3: 0,52 - 0,59 µm) e vermelho (banda 4: 0,63 - 0,69 µm) foram utilizadas neste estudo.

A escolha da imagem de satélite usou basicamente os critérios de cobertura de nuvens, e visibilidade do local de estudo. Assim sendo, buscou-se uma imagem proveniente de um período seco em 16/04/2009, nas órbitas/ponto 157/124 e 157/125 do satélite CBERS 2B.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) 5.1.6 foi utilizado para a criação do banco de dados e processamento das imagens (importação das imagens, o georreferenciamento, realce de imagens, mosaico da imagem e a segmentação, classificação das imagens, consultas e cálculo da área mapeada).

No processo de classificação das imagens foram estudados dois métodos de classificação supervisionados, além da classificação em tela tida como verdade terrestre.

Os classificadores supervisionados utilizados foram: a KI (Krigagem Indicativa) e o MAXVER (Máxima Verossimilhança).

Para a classificação pela KI, foi realizada a amostragem no mosaico da imagem para a obtenção de pontos contendo coordenadas UTM e o valor de reflectância da banda 4 do CBERS 2B. Os pontos foram amostrados de 300 m em 300 m, com adensamento na área de citros, gerando 7074 pontos na área de 56146,78 ha.

A geoestatística foi utilizada para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial da reflectância da banda 4 da imagem do CBERS 2B, definindo com auxílio do programa SPRING 5.1.6, os parâmetros necessários para o ajuste dos modelos teóricos aos variogramas experimentais. Também foi realizada a validação cruzada para escolha do melhor ajuste e, em seguida a interpolação por Krigagem para locais não medidos.

Para realizar a análise geoestatística, os valores da reflectância foram transformados em valores binários, ou seja, foram codificados em 0 e 1 para analisá-los utilizando o variograma indicativo. Os valores de reflectância que representa a classe de citros foram codificados para o valor 1 e os demais para valor 0.

As operações seguidas para executar a classificação por KI foram: análise exploratória; geração do variograma; ajuste de um modelo teórico ao variograma; validação do modelo do ajuste e interpolação por KI.

O ajuste dos variogramas, com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca, foi estimado, conforme descrito por Rossi et al. (1994), utilizando-se do variograma clássico de Matheron, ajustado para número digital (ND) de uma imagem digital, exposto na equação.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [ND(x_i) - ND(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

onde: $\gamma(h)$ representa metade da esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores dos pares de *pixel* separados pelo vetor de distância h , isto é, a variância; $\gamma(h)$ é uma função que depende do ângulo e da distância do vetor h entre os número de pares de valores de *pixels* $x_i + h$ e x_i .

Após a geração do mapa da Krigagem, foi realizado o mapeamento das probabilidades para obter as áreas de citros e de não citros.

Na classificação pelo MAXVER foi utilizada a sequência de operações: criação do arquivo de contexto contendo as bandas (faz parte do processo de classificação) utilizando o método de *pixel* e as amostras da classificação *pixel a pixel*; execução do treinamento por amostragens sobre a imagem na área de desenho; análise das amostras para verificar a validade das amostras coletadas, procurando obter uma matriz de confusão com a diagonal principal próxima a 100%; execução da classificação com base nas

amostras, utilizando o MAXVER com um limiar de aceitação de 100%; e execução do mapeamento para classes.

Após o mapeamento das classes temáticas, foi realizada a edição matricial, para corrigir alguns erros de classificação decorrente de similaridade de respostas espectrais entre alvos diferentes.

Os índices de acerto das classificações automáticas derivadas da imagem CBERS 2B foram obtidos considerando-se a interpretação visual de mesma data como verdade terrestre. As fidedignidades das classificações foram avaliadas pelos índices Kappa, para posterior comparação do desempenho dos diferentes índices em cada tipo de classificação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises das imagens da mesoregião de Bauru e Araraquara para as classificações da cultura de citros foram executadas com parte de duas cenas do satélite CBERS 2B, bandas 2, 3 e 4.

O mosaico da composição das bandas 432 (vermelho, verde e azul) da câmara CCD da imagem do satélite CBERS-2B foi reduzido para se obter apenas a área de estudo, como mostra a Figura 1.

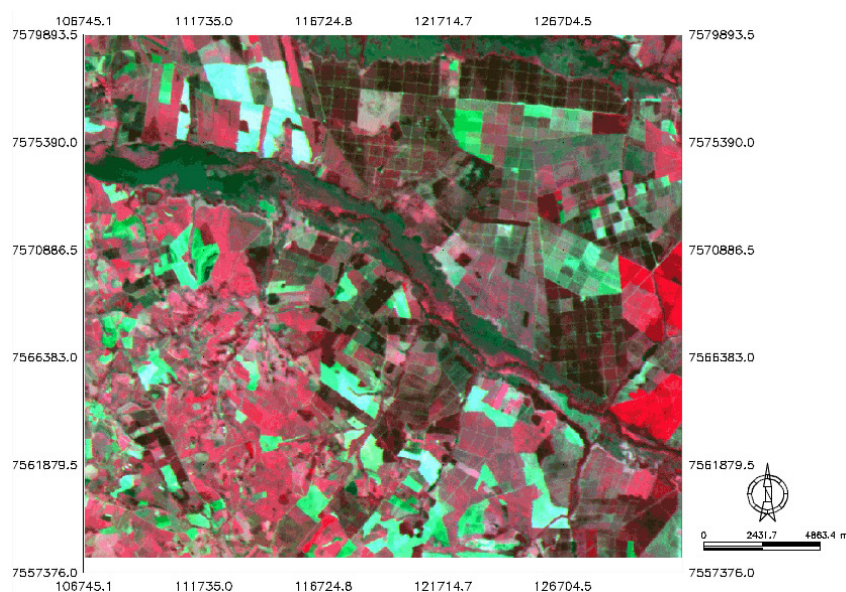


Figura 1 - Mapa resultante do mosaico da composição das bandas 2, 3 e 4 da câmara CCD do CBERS 2B, de parte da mesoregião de Bauru e Araraquara.

A classificação visual foi realizada para ser utilizada como um mapa de referência na avaliação do desempenho dos classificadores digitais de imagens. O mapa de referência foi realizado pela classificação em tela da área de estudo, que como é um método de classificação trabalhoso e demorado, outras classifi-

cações devem ser estudadas para discriminação de áreas cultivadas. Como o objetivo é conhecer a área cultivada com citros, foram determinadas duas (2) classes de uso: citros e não citros (composta por todas as áreas de uso que não são citros).

Os classificadores digitais de imagens foram analisados com base nos resultados obtidos através do mapa de interpretação visual, representando a verdade terrestre (Figura 2).

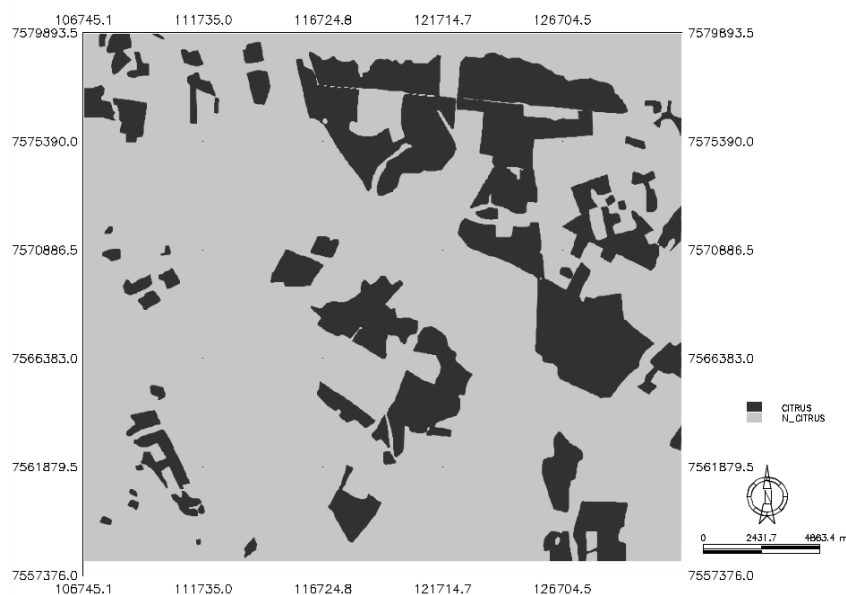


Figura 2 - Mapas resultantes da interpretação visual.

A análise geostatística parte do princípio que os dados são relacionados espacialmente, sendo que pontos próximos são mais parecidos que pontos distantes, com isso é preciso conhecer a localização no espaço do atributo que está sendo estudado. No estudo da dependência espacial da reflectância foi gerada uma malha amostral (Figura 3) com os pontos distanciados entre si por 300 metros. Nesta malha amostral foi realizado um adensamento nas áreas cultivadas com citros para verificar o valor da reflectância do citros na banda 4 (infravermelha próximo) para que este valor fosse utilizado como ponto de corte na aplicação da KI. Os valores de reflectância para a cultura do citros encontram-se dentro do intervalo de 73 a 96, sendo os valores menores do que 73 e os maiores a 96 representam outros tipos de cobertura do solo, aqui denominados como não citros.

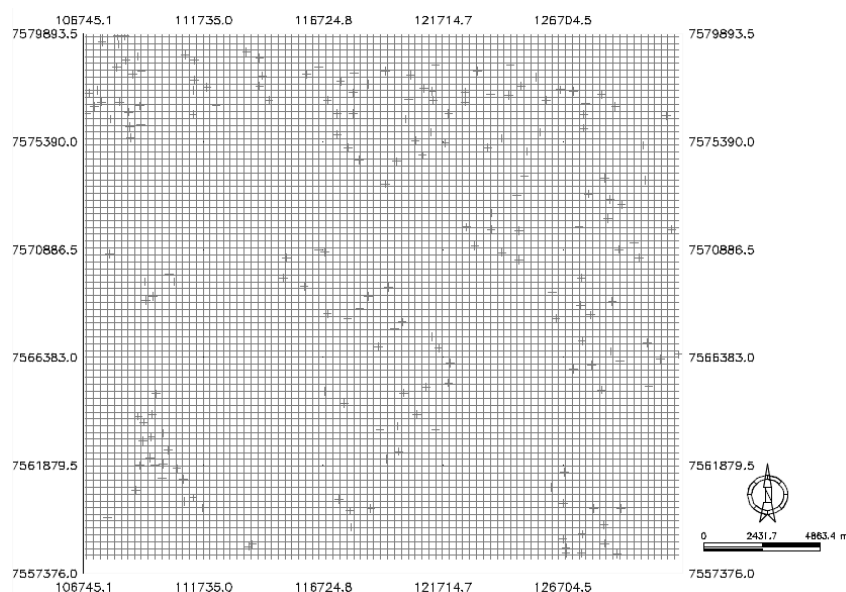


Figura 3 - Mapas de pontos amostrais da Banda 4 (infravermelha) da câmara CCD do CBERS 2B.

A reflectância da banda 4 (infravermelha) ajustou-se melhor ao modelo exponencial (Tabela 1 e Figura 4), pois este modelo apresentou o menor valor de akaike com relação aos modelos esférico, potência e gaussiano. Em um raio de 4751,102 m os valores de reflectância são dependentes espacialmente, e este alcance deve ser considerado no processo de interpolação para obter um mapa final com valores confiáveis.

Tabela 1 - Modelo e parâmetros do ajuste do variograma da Banda 4 (infravermelha) da câmara CCD do CBERS 2B

Atributo	N	Modelo	A (m)	C ₀	C	IDE (%)	CCP
B4	7074	Exponencial	4751,102	0,076	0,124	62	0,742

B4: banda 4 (infravermelha) da câmara CCD do CBERS-2B; N: número de pontos; A (m): alcance em m; C₀: efeito pepita; C: componente estrutural; IDE: índice de dependência espacial em porcentagem (%); CCP: coeficiente de correlação de Pearson.

O índice de dependência espacial (IDE) da reflectância foi considerada moderada ($25 < IDE < 75$), segundo a classificação proposta por Zimback (2001). Pode-se dizer que 62% da variância dos dados tem relação espacial, e não são ao acaso, devendo ser considerada na interpolação dos dados.

O ajuste do variograma foi verificado pela validação cruzada obtendo um coeficiente de correlação de Pearson de 0,742 entre os valores observados e estimados, considerando assim que o modelo teórico ajustado ao modelo experimental é utilizado no processo de interpolação por KI.

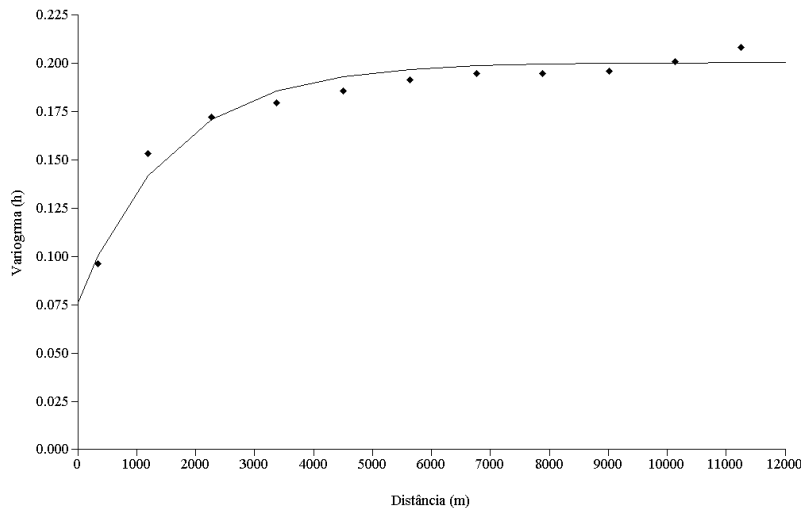


Figura 4 - Variograma da Banda 4 (infravermelha) da câmara CCD do CBERS-2B.

O modelo ajustado, o alcance, o efeito pepita e o patamar foram utilizados na interpolação por krigagem indiativa, gerando o mapa de probabilidade de ocorrência de citros na área. Na Figura 5 observou-se que os tons mais claros são de maior probabilidade de ocorrência de citros, enquanto que os tons mais escuros têm menor probabilidade de ser citros.

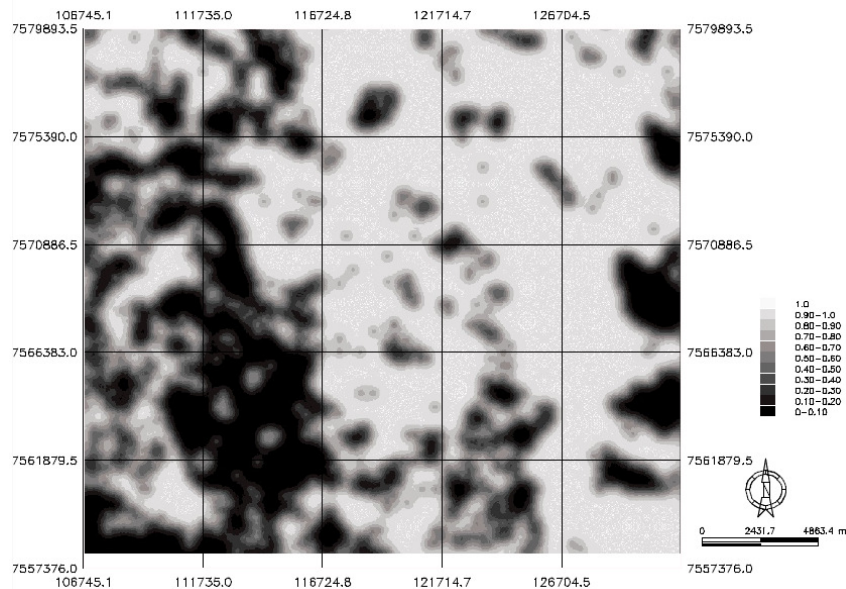


Figura 5 - Mapa de probabilidade da Banda 4 (infravermelha) da câmara CCD do CBERS 2B.

Depois de gerado o mapa de probabilidade de ocorrência de citros, foi realizado o fatiamento do mapa de probabilidade, considerando que o valor de 0 a 95 % de probabilidade como não citros e acima de 95 % de probabilidade como citros (Figura 6).

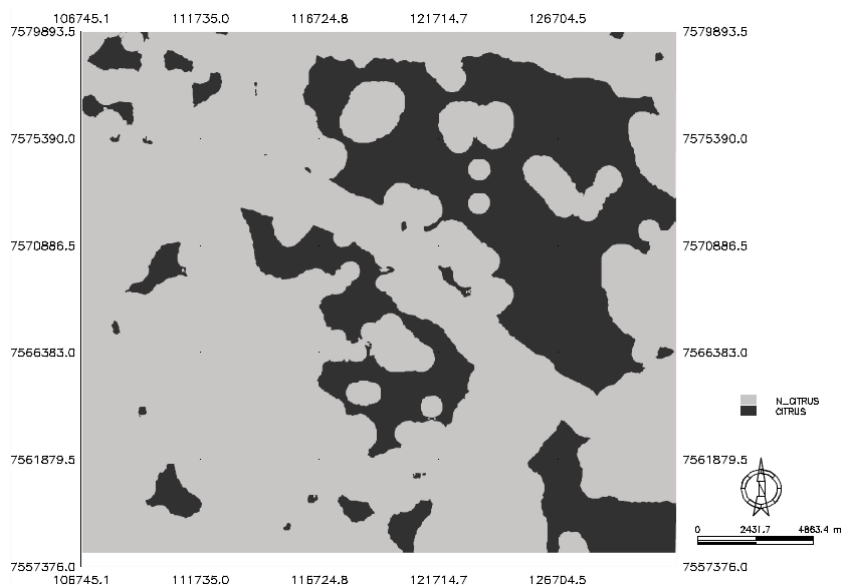


Figura 6 - Mapa da classificação por KI da Banda 4 (infravermelha) da câmara CCD do CBERS 2B.

Ao relacionar o mapa da KI com o mapa de verdade terrestre verificou-se que as áreas maiores de citros foram melhor representadas na classificação por KI. Como a krigagem tem a característica de suavização, e como um dos principais parâmetros do variograma é o alcance que representa um raio de influência, o mapa gerado pela KI apresenta os limites das áreas de citros suavizados e de forma circular, ao contrário dos outros métodos que apresentam limites de áreas angulares e finalização brusca.

As áreas fragmentadas de citros que estavam próximas foram unidas em uma única área pela KI.

O classificador supervisionado MAXVER é o método mais utilizado por ser eficiente na classificação de imagens digitais e, por isso, está contido nos principais programas de processamento de dados digitais.

Como o MAXVER é um classificador que precisa de amostras de treinamentos, as quais são definidas pelo analista para agrupar as diferentes classes espectrais, este método conseguiu determinar satisfatoriamente as áreas de citros (Figura 7). Observou-se que, assim como a KI, o MAXVER definiu melhor as áreas maiores de citros.

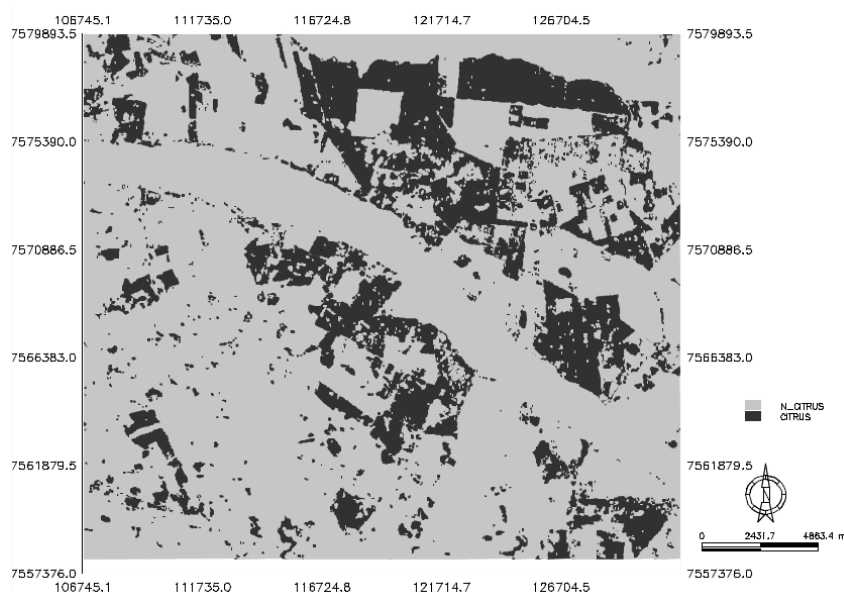


Figura 7 - Mapas resultantes da classificação MAXVER para citros e não citros.

No processo de análise das amostras de treinamento, o MAXVER teve um bom desempenho com uma confusão média de 12,11%, o que justifica as pequenas áreas que foram erroneamente classificadas como citros, sendo estas áreas próximas aos pequenos canais de drenagem não excluídos pela máscara.

Observando-se os mapas gerados pelos dois classificadores digitais detectou-se que a KI é a que não apresenta áreas fragmentadas e é a que menos classificou pequenas áreas de mata ciliar como citros.

O Índice Kappa considera todos os elementos presentes no mapa classificado, ao invés de utilizar apenas os elementos da diagonal ou de alguns pontos. Os acertos e índices calculados para os classificadores estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação dos classificadores pelo Índice Kappa

Método	Acertos (%)	Kappa	Qualidade de classificação
KI	82	0,5218	Moderada
MAXVER	86	0,6059	Forte

Na validação pelo Índice Kappa foram verificados todos os pixels das imagens. Observou-se que a KI obteve um acerto de 82%, ou seja, 567201 pixels do total de 691250 dos pixels da imagem foram classificados corretamente pela KI.

O classificador MAXVER obteve 86% de acertos.

Verificou-se que o resultado na avaliação da qualidade da classificação foi moderado para a KI com um índice de 0,5218.

O MAXVER apresentou qualidade de classificação forte, com índices de 0,6059. Sanches et al. (2008), estudando a discriminação de variedades de citros em imagens CCD CBERS 2, utilizando o SIG SPRING, encontrou valores de Índice Kappa inferior ao encontrado neste trabalho para o classificador MAXVER.

Nestas condições de estudos, a KI foi a classificação que teve menor qualidade em comparação com o MAXVER. No entanto como classificador supervisionado ela tem a vantagem em relação ao MAXVER no treinamento ou amostragens, pois para o MAXVER é necessário fazer amostras de treinamento em todas as áreas de citros e de outros usos da imagem. Já na KI é preciso conhecer apenas o valor da reflectância do citros em uma área, e com base nestes valores aplica-se o corte para a transformação binária dos dados.

Na Tabela 3 esta apresentada a quantificação de área plantada com citros pelos diferentes classificadores. O classificador MAXVER foi o que apresentou área total de citros mais próxima da interpretação visual (verdade terrestre), com uma diferença em porcentagem de área de 3,85 %, ou seja, ele classificou como citros 471,51 ha a mais do que realmente tem na área de estudo. A KI foi o classificador que mais superestimou a área total de citros (27,94 %).

Tabela 3 - Quantificação de área de citros pelos classificadores e diferença de área

Classificador	citros (ha)	Dife- rença (ha)	Diferença em %
Visual	12235,90		
KI	15654,25	- 3418,35	27,94
MAXVER	12707,41	-471,51	3,85

Diferença: área de citros da classificação visual com os outros classificadores.

Dois fatores importantes na detecção de plantas no campo não foram levados em consideração nas classificações devido à complexidade dos dados e análises. O primeiro fator refere-se ao estado fenológico das plantas, e o segundo as diferentes variedades de citros na área de estudo.

Na construção do mapa de verdade terrestre foi verificado que os talhões de citros apresentavam diferentes estágios fenológicos e de sanidade, e estes fatores devem ter influenciado no resultado das clas-

sificações, principalmente da KI, que foi baseada nos valores da reflectância para realizar o corte para a transformação binária.

Um outro fator que influencia no resultado final da classificação é as diferentes variedades de citros cultivadas, uma vez que cada variedade possui características diferentes quanto a cor e arquitetura foliar, que promove valores de reflectância diferentes nas imagens.

Como a distância entre amostras é fundamental para a qualidade da classificação por KI e a dependência espacial variável, seria interessante estudos futuros sobre este procedimento.

4 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos nas classificações de imagem para a discriminação e quantificação de áreas cultivadas com citros na mesoregião de Bauru e Araraquara pode-se concluir:

- os classificadores obtiveram melhor qualidade de classificação para as áreas maiores com citros;
- a Krigagem Indicativa unificou as áreas pequenas de citros em uma única área;
- a Krigagem Indicativa foi o classificador que menos classificou área de mata ciliar como citros, já o MAXVER confundiu consideravelmente mata ciliar com citros;
- pela validação, a Krigagem Indicativa foi o classificador que obteve a menor qualidade de classificação em comparação com o MAXVER e o maior tempo de processamento;
- o MAXVER foi o que apresentou área total de citros mais próxima da verdade terrestre, enquanto que a Krigagem Indicativa foi o classificador que mais superestimou a área total de citros em 27,94 %.

5 AGRADECIMENTOS

Ao GEPAG – Grupo de Pesquisas Agrárias Georreferenciadas, ao Departamento de Recursos Naturais – Ciências do Solo e ao programa de pós-graduação (Energia na Agricultura) da FCA/UNESP Botucatu, pelo apoio e infra-estrutural e a Capes pelo concedimento de bolsa ao primeiro autor.

6 REFERÊNCIAS

ANUÁRIOS. **Vitamine-se**. Disponível em:< <http://www.anuarios.com.br/>>. Acesso em: 14 mai. 2010.

ATKINSON, P. M.; LEWIS, P. Geostatistical classification for remote sensing: an introduction. **Computers & Geosciences**, New York, v. 26, p. 361-371, 2000.

BECKER, A.; BRAUN, P. Disaggregation, aggregation and spatial scaling in hydrological modeling. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 217, p. 239-52, 1999.

BRASIL. Serviço Nacional de Pesquisa Agrônômica. Comissão de Solos. **Levantamento dos solos do Estado de São Paulo**. Serviço Nacional de Pesquisa Agrônômica, Ministério da Agricultura, 1960. 605 p. (Boletim, 12).

DUTRA, L. V., et al. **Análise automática de imagens multiespectrais**. São José dos Campos: INPE, 1981. 161 f.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 374 p.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informações geográficas**: paradigma geoestatístico por indicação. São José dos Campos. 181 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University. Press, 1997. 650 p.

ROSSI, R. E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.49, p. 32-40, 1994.

SANCHES, I. D.; GÜRTLER, S.; FORMAGGIO, A. R. Discriminação de variedades de citros em imagens CCD CBERS-2. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p.103-108, jan-fev, 2008.

SMITH, J.L.; HALVORSON, J. J.; PAPENDICK, R. I. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. **Soil Science Society of America Journal**, Madison v. 57, p. 743-749, 1993.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade.** 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.