

ANÁLISE DE DADOS DE PRODUÇÃO EM UM POMAR JOVEM DE LARANJEIRAS HAMLIN: II. CLASSIFICAÇÃO DE DADOS ESPAÇO-TEMPORAIS¹

FRANCISCO JOSÉ DE OLIVEIRA PARISE² & CARLOS ALBERTO VETTORAZZI³

RESUMO - Em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin, não-irrigado, foi realizado um estudo que procurou investigar a potencialidade da utilização de dados espaço-temporais de produção por árvore para o gerenciamento localizado. A produção de 1.471 árvores georreferenciadas foi levantada em dois ciclos sucessivos, 2000-2001 e 2001-2002, e classificada por meio de uma análise de agrupamentos via lógica fuzzy. Ainda, foi realizada uma análise de correlação intraclasse com dados de resposta espectral de 52 árvores, extraída de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução espacial. Os resultados mostraram que foi possível a formação de classes distintas de comportamento produtivo, em função dos padrões de variabilidade espacial e temporal da produção. No entanto, as classes apresentaram baixa coerência espacial, o que dificulta o gerenciamento localizado da produção em nível de árvores individuais. A despeito disso, a resposta espectral esteve significativamente relacionada às classes formadas.

Termos para indexação: mapeamento da produtividade, análise de agrupamentos via lógica fuzzy, citros.

YIELD DATA ANALYSIS IN A COMMERCIAL ORCHARD OF YOUNG HAMLIN TREES: CLASSIFICATION OF SPATIAL-TEMPORAL YIELD DATA

ABSTRACT - Yield data of 1471 young Hamlin trees in a commercial orchard were collected in two seasons, 2000/2001 and 2001/2002, to identify the patterns of spatial and temporal yield variability. Fuzzy cluster analysis was used for interpreting the temporal and spatial variation. 52 trees were also selected for calculating the intra-class correlation of the spectral response extracted from high resolution multispectral digital aerial images. The results showed that some general patterns of season-to-season variation could be identified and related to spectral response of the trees. But, these patterns correspond to regions poorly spatially coherent.

Index terms: yield mapping, fuzzy cluster analysis, citrus.

INTRODUÇÃO

Desde Balastreire et al. (1999), já se pensa em agricultura de precisão aplicada à citricultura no Brasil. Em geral, a produção é levantada em nível de grupos de árvores e georreferenciada por meio da utilização do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Após a interpolação dos dados de produção, são produzidos os mapas de produtividade. Tal procedimento permite dividir o pomar em zonas, que, segundo Lark & Stafford (1997), dão indicativo das condições sob as quais as plantas cresceram e produziram. No entanto, os mapas de produtividade, por apresentarem um caráter retrospectivo, só seriam úteis ao gerenciamento localizado, caso atendessem a duas condições. Primeiramente, que grande parte da variabilidade de produção esteja associada a algum fator intrínseco ao terreno. Em segundo lugar, que esse fator seja identificável. Em citricultura, em comparação ao que ocorre com as culturas anuais, ainda o fator planta deve ser destacado; afinal, o número de plantas por área é bem menor e sua longevidade bem maior.

Lark & Stafford (1997) observaram em culturas anuais que, a despeito de a variabilidade espacial de produção entre ciclos sucessivos ser alta, ela ocorre em padrões e está associada a fatores intrínsecos que acompanham as flutuações de clima e manejo.

Para identificar esses padrões, Lark & Stafford (1997) utilizaram um método de classificação baseado em lógica fuzzy, também conhecida como lógica nebulosa, difusa ou imprecisa. A função primordial da lógica fuzzy é auxiliar a tomada de decisão onde há incerteza. No trabalho de Lark & Stafford (1997) e nesse, a tomada de decisão é sobre a escolha da classe de comportamento produtivo a que cada indivíduo ou indivíduos pertenciam. Conforme os princípios básicos da classificação ou análise de agrupamentos via lógica fuzzy, um indivíduo não pertenceria mais a uma classe apenas, mas pertenceria em maior ou menor grau a várias classes, daí o significado de classificação nebulosa, difusa, imprecisa. Para que seja válida, a classificação tem de ter um caráter permanente. Assim, é preciso verificar

se as classes formadas estão associadas a algum fator que pareça manter-se ao longo do tempo.

Em citricultura, o fator planta poderia ter um caráter permanente no sentido de que plantas com tamanho e vigor semelhantes, sob as mesmas condições edafoclimáticas, hipoteticamente tenderiam a produzir semelhantemente ao longo do tempo. Mataa & Tominaga (1998), ao estudarem as inter-relações entre o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em árvores jovens de tangerina Poncã, constataram que as árvores mantiveram suas capacidades de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ao longo dos dois primeiros ciclos de produção. Atualmente, um método disponível para o levantamento de variáveis biofísicas das plantas é recorrer às técnicas do sensoriamento remoto.

Outro aspecto importante do gerenciamento localizado da produção é a escala de levantamento dos dados. Em citricultura, o levantamento dos dados de produção em nível de árvores individuais pode ser vantajoso ao processo de estimativa de produção, caso a variabilidade de produção ocorra em padrões que tendam a se repetir ao longo do tempo.

Dentre as cultivares de laranja, a Hamlin enxertada sobre a citrumelo Swingle é uma cultivar precoce, com menor tendência à alternância de produção e mais sensível à seca (Mourão Filho*). A despeito de não estar entre as cultivares mais plantadas no Brasil, apresenta características apropriadas ao tipo de estudo investigativo proposto neste trabalho. Além disso, em um pomar jovem, espera-se que a diferença de produção entre as árvores seja maior, afinal as árvores ainda estão em formação, ou seja, não atingiram a maturidade fisiológica.

Nesse contexto, os objetivos desse trabalho são:

- Verificar se é possível dividir o pomar em classes distintas de comportamento produtivo por meio da análise de agrupamentos via lógica fuzzy, visando ao gerenciamento localizado da produção;
- Verificar se há coerência espacial entre as classes formadas;
- Verificar se o fator planta, representado por sua resposta espectral, está associado às classes de comportamento produtivo.

* MOURÃO FILHO, F. de A. A. Comunicação pessoal, 2003.

¹ (Trabalho 016/2004). Recebido: 12/02/2004. Aceito para publicação: 21/02/2005.

² Aluno do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo - Av. Pádua Dias, 11 - C.P. 9 - 13418-900 - Piracicaba-SP - bolsista da CAPES. E-mail: fjoparis@esalq.usp.br

³ Prof. Doutor do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo - Av. Pádua Dias, 11 - C.P. 9 - 13418-900 - Piracicaba-SP. E-mail: cavettor@esalq.usp.br.

MATERIALE MÉTODOS

Os dados de produção foram levantados em um pomar comercial de laranja-doce (*Citrus sinensis* L. Osbeck) da cultivar Hamlin, localizado na fazenda Morro Grande (22°21'49" S e 47°16'20" W, altitude aproximada de 655 m), município de Araras, Estado de São Paulo. As árvores enxertadas sobre citrumelo Swingle (*Citrus paradisi* x *Poncirus trifoliata*) foram plantadas em julho de 1996, com espaçamento de 8,5 m x 4,5 m, totalizando 1.471 árvores. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico e o clima, segundo o sistema de Köppen, é do tipo Cwa. Tratando-se de um pomar comercial, ele vem sendo bem conduzido, apesar de não ser irrigado.

Para facilitar o levantamento dos dados, inicialmente, as árvores foram identificadas por meio de etiquetas metálicas. Acompanhou-se a colheita manual, em junho de 2001 e junho de 2002, contabilizando-se o número de sacos-caixa (aproximadamente 27,5 kg de frutos) por árvore. Posteriormente, a produção em sacos-caixa.árvore⁻¹ foi convertida em kg.árvore⁻¹.

Foram demarcados 10 pontos de controle, para o georreferenciamento, distribuídos ao longo do terreno, dos quais foram coletados dados de coordenadas geográficas por meio da utilização de um receptor GPS da marca Trimble (submétrico). A seguir, os dados armazenados no aparelho foram transferidos para um programa de computador, onde foram corrigidos por diferença em relação aos dados de uma estação-base localizada no Câmpus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, em Piracicaba.

Após a transformação de suas coordenadas para o sistema de projeção UTM, esses pontos foram demarcados com placas brancas. Foram capturadas imagens aéreas do pomar que, posteriormente, foram corrigidas geometricamente por meio da utilização dos pontos de controle, no software Idrisi v.32.11 (Clark University, 2000). A seguir, foi digitalizado no software Idrisi um ponto sobre a imagem de cada uma das árvores, e o arquivo de pontos gerado foi convertido em arquivo compatível com o software Surfer v. 6.01 (Golden Software Inc., 1995), onde os dados de produção foram inseridos.

As imagens aéreas ainda foram utilizadas para se calcular a resposta espectral de 52 árvores distribuídas ao longo de duas transeções cruzadas no pomar. Foram realizados três vôos: durante a fase de repouso vegetativo da cultura (9 de agosto de 2001, vôo 1), no início da maturação de frutos (16 de abril de 2002, vôo 2) e após o florescimento do ciclo seguinte (30 de setembro de 2002, vôo 3). O pomar foi representado por duas imagens no vôo 1, denominadas vôo 1a e vôo 1b; uma imagem no vôo 2, denominada vôo 2 e uma imagem no vôo 3, denominada vôo 3. Para cada árvore, foram calculados o somatório dos valores de NDVI, SAVI e de nível de cinza nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo e a média dos 10 maiores valores de nível de cinza, no caso da faixa do infravermelho próximo, e de índice, no caso do NDVI e SAVI, e dos 10 menores valores de nível de cinza, no caso da faixa do vermelho.

Quanto à classificação dos dados ou análise de agrupamentos via lógica fuzzy, utilizou-se o software FuzMe v. 3.5 (Minasny & McBratney, 2002). Inicialmente, os dados de produção em 2001 e 2002 foram transformados em produção relativa, cuja distribuição apresentava média zero e variância um. Foi condição necessária para processar os dados, prefixar um número de classes e um expoente de imprecisão, de tal forma que, na apresentação dos resultados, fosse possível avaliar o desempenho da classificação. Várias combinações de números de classes e expoentes de imprecisão foram testadas e a que produziu valores mais baixos de MPE (*Modified Partition Entropy*) e S (*Separate Distance*) e mais altos da curva formada entre os expoentes de imprecisão e a derivada da função objetiva em relação ao expoente de imprecisão multiplicada pela raiz do número de classes, conforme McBratney & Moore (1985) e Triantafyllis et al. (2003), foi selecionada. Após a seleção do número de classes e do valor do expoente de imprecisão, que, no presente estudo, foram, respectivamente, 10 classes e 1,66, foi possível especificar, finalmente, a que classe de produção cada árvore pertencia. Para incluir

uma árvore numa determinada classe, foi adotado como critério para defuzzificação o valor de grau de pertinência de, pelo menos, 0,5. A seguir, os dados de graus de pertinência a cada classe, maiores que 0,5, foram interpolados via krigagem por meio do software Surfer. Desse modo, obteve-se um mapa de grau de pertinência para cada classe de comportamento produtivo.

Com o intuito de se verificar o quanto a resposta espectral das árvores estava associada às classes de comportamento produtivo, foi feita uma análise de correlação intraclasse (Ching, 1995). Inicialmente, as 52 árvores foram identificadas quanto à classificação obtida por meio da análise de agrupamentos conjunta via lógica fuzzy. Posteriormente, as árvores foram distribuídas pelas 10 classes, cada árvore com seus valores de resposta espectral. Para se determinar os coeficientes de correlação intraclasse para resposta espectral, foi realizada primeiramente uma análise de variância com dados não-balanceados por meio da utilização de uma planilha eletrônica. A seguir, calculou-se o coeficiente de correlação intraclasse (Ching, 1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela observação da Figura 1 e Tabela 1, verifica-se que as 10 classes de comportamento produtivo apresentaram combinações de produções médias relativas em 2001 e 2002 bem distintas. Fica claro, portanto, que, por meio da análise de agrupamentos via lógica fuzzy, foi possível criar classes bem distintas de comportamento produtivo. Também foi possível levantar as flutuações de produção das classes entre os ciclos 2001 e 2002.

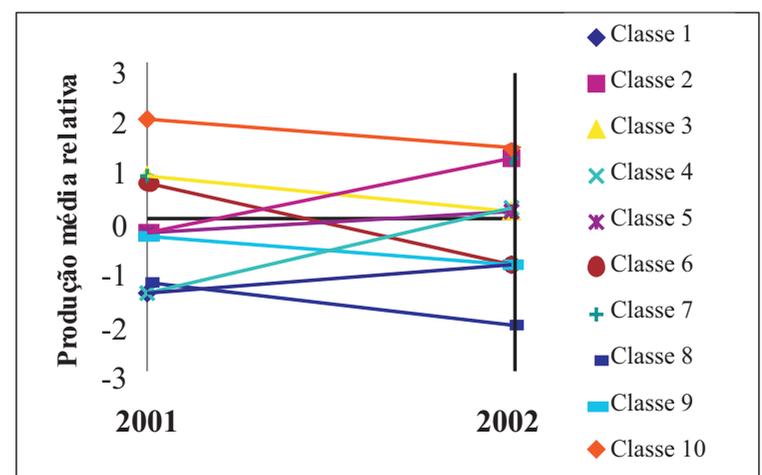


FIGURA 1 – Esquema gráfico das combinações de produção média relativa em 2001 e 2002 de cada classe de comportamento produtivo.

TABELA 1 - Produção média relativa em 2001 e 2002 de cada classe de comportamento produtivo.

Classes de comportamento produtivo	Produção média relativa	
	2001	2002
1	-1,47	-0,93
2	-0,32	1,13
3	0,79	0,11
4	-1,44	0,16
5	-0,32	0,10
6	0,70	-0,92
7	0,79	1,12
8	-1,25	-2,09
9	-0,35	-0,93
10	1,92	1,34

As Figuras 2 e 3 representam os mapas das duas classes de comportamento produtivo mais expressivas entre as 10. Pela observação dessas Figuras, fica evidenciada a tendência de que árvores pertencentes à mesma classe, ou seja, com graus de pertinência entre 0,5 e 1,0, tenderam a se agrupar no espaço. Os resultados apresentados por Lark & Stafford

TABELA 2 - Valores de coeficiente de correlação intraclassa para resposta espectral.

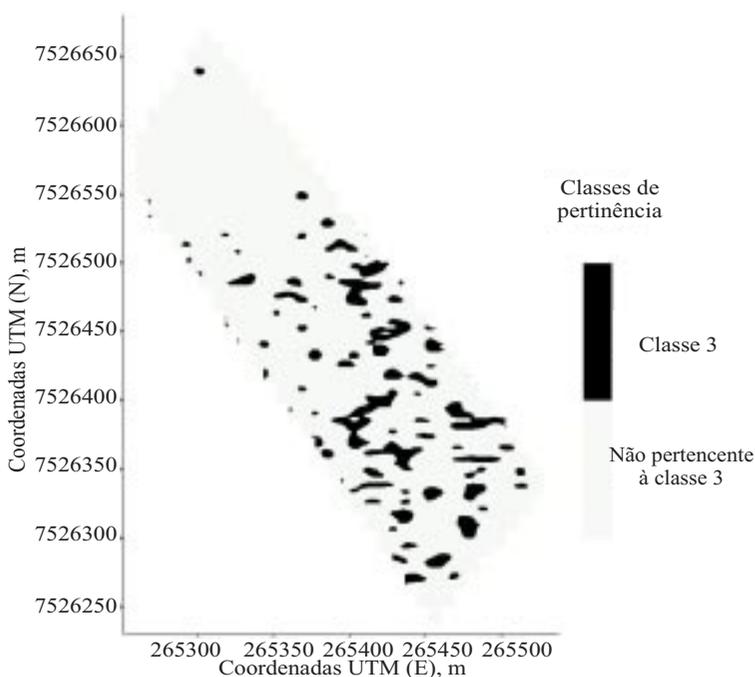
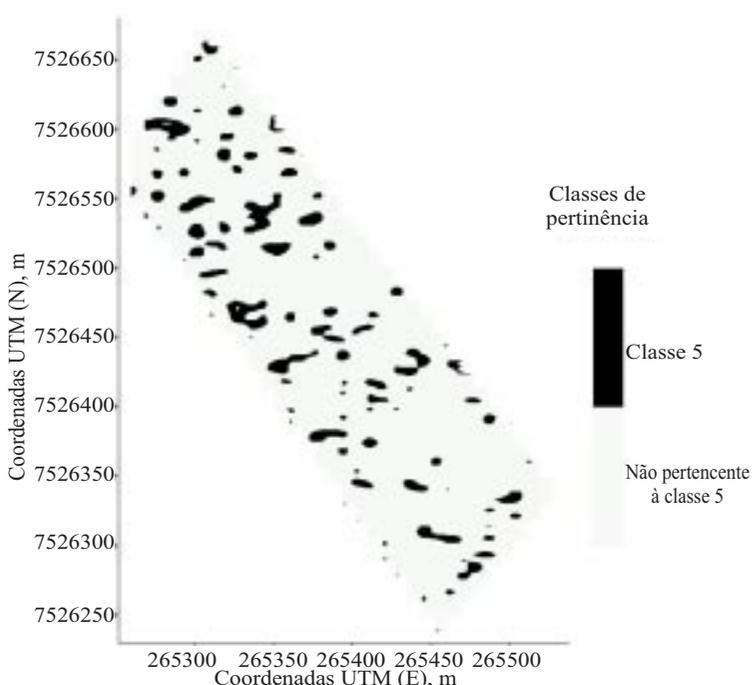
Tipo de imagem	Vôo 1a		Vôo 2		Vôo 3	
	Somatório	Média dos 10	Somatório	Média dos 10	Somatório	Média dos 10
infravermelho	0,19*	0,42**	0,31**	0,31**	0,06 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
NDVI	0,15*	-0,06 ^{ns}	0,32**	0,48**	0,19*	0,04 ^{ns}
SAVI	0,14*	-0,13 ^{ns}	0,13*	0,24*	0,17*	0,05 ^{ns}
vermelho	0,19*	-0,07 ^{ns}	0,19*	-0,08 ^{ns}	0,25*	0 ^{ns}

** significativo a 1% de probabilidade

* significativo a 5% de probabilidade

ns não significativo

(1997) também mostraram essa tendência em culturas anuais. No entanto, as classes de comportamento produtivo apresentaram baixa coerência espacial, muito menor que a encontrada por Lark & Stafford (1997). Afinal, o número elevado de classes formadas e sua fragmentação não

**FIGURA 2** - Mapa de graus de pertinência à classe de comportamento produtivo 3, formada pela análise de agrupamentos via lógica fuzzy.**FIGURA 3** - Mapa de graus de pertinência à classe de comportamento produtivo 5, formada pela análise de agrupamentos via lógica fuzzy.

permitiriam resultado melhor. Por se tratar de uma cultura permanente, em que o fator planta adquire importância, e de um pomar jovem, em que a variabilidade entre as plantas é maior, a variabilidade espacial tende a ser maior. No entanto, Whitney et al. (2000) têm observado que, de forma geral, a variabilidade de produção em pomares cítricos no Estado da Flórida - EUA, é considerável. Por exemplo, em seu estudo, as classes de produção formadas também apresentaram menor coerência espacial do que em Lark & Stafford (1997), considerando-se apenas um único ciclo de produção. Whitney et al. (2000), face à considerável variabilidade encontrada nos mapas de produtividade, concluíram que ainda não existia uma solução óbvia para lidar com essa variabilidade.

A despeito da baixa coerência espacial observada, existe a possibilidade de que as classes de comportamento produtivo obtidas no presente estudo permaneçam no tempo. Há duas razões para se acreditar nisso. Primeiramente, o fator planta, representado por sua resposta espectral como quantidade de vegetação sadia, explicou em boa parte a variação entre as classes de comportamento produtivo, com alta significância, pelo menos em um tipo de imagem tomada em um dos vôos, como é possível constatar na Tabela 2. Whitney et al. (1999), ao investigar as potencialidades do gerenciamento localizado da produção em pomares cítricos, concluíram que os primeiros mapas de produtividade obtidos em sua linha de pesquisa mostraram que a variação da produtividade tendia a estar correlacionada ao tamanho de copa das árvores, estimado a partir de sua resposta espectral em fotografias aéreas.

Em Lark & Stafford (1997), foi a capacidade de armazenamento de água no solo que explicou, em boa parte, a formação das classes de comportamento produtivo. Esses autores encontraram coeficientes de correlação intraclassa para capacidade de armazenamento de água no solo de 0,35 em uma profundidade de solo e de 0,36 em outra. Provavelmente, a maior coerência espacial encontrada em Lark & Stafford (1997) poderia ter sido atribuída à relação significativa entre as classes de comportamento produtivo e a capacidade de armazenamento de água no solo, cuja distribuição tende a ser mais coerente no espaço.

Em segundo lugar, as plantas mantiveram, até certo ponto, sua capacidade de desenvolvimento vegetativo de um ciclo para o outro. Afinal, a resposta espectral das plantas antes da fase de desenvolvimento vegetativo (vôo 1a e vôo 1b) apresentou alta correlação ($r=0,73$ para as imagens NDVI) com a resposta após essa fase fenológica (vôo 2). Vale lembrar que a resposta espectral, especialmente na forma de índices de vegetação, dá uma idéia da quantidade de vegetação sadia. Ao manterem a capacidade de desenvolvimento vegetativo, as plantas apresentam um caráter permanente. Com relação à capacidade de desenvolvimento vegetativo, Mataa & Tominaga (1998) constataram que árvores jovens de tangerina Poncã mantiveram sua capacidade de desenvolvimento vegetativo do primeiro para o segundo ciclo produtivo.

É importante destacar que a permanência das classes de comportamento produtivo, ao longo do tempo, pelo menos em parte, permitiria utilizá-las para prever aproximadamente o comportamento produtivo das árvores em ciclos de produção futuros, auxiliando o processo de estimativa de produção e o manejo.

CONCLUSÕES

1. Em pomares jovens de laranjeiras Hamlin, em nível de árvores individuais, é possível criar classes distintas de comportamento

produtivo por meio da análise de agrupamentos via lógica fuzzy.

2. Em pomares jovens de laranjeiras Hamlin, em nível de árvores individuais, o gerenciamento localizado da produção, seja na forma de estimativa de produção, seja na de manejo, é dificultado pela alta variabilidade espaço-temporal da produção e baixa coerência espacial das classes de comportamento produtivo.

3. No pomar estudado, o fator planta, representado por sua resposta espectral, está significativamente relacionado às classes de comportamento produtivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao engenheiro agrônomo Márcio Frascino Müller de Almeida, gerente da Fazenda Morro Grande, pela possibilidade de realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BALASTREIRE L.A.; AMARAL, J.R.; ESQUERDO, J.C.D.M.; RODRIGUES, A. **Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja**. Disponível em: <<http://www.ciagri.usp.br/~leia/laranja.htm>>. Acesso em: 02 fev. 2004.
- CHING, T.H. **Coefficiente de correlação intraclasse: planejamento com alocação ótima e aplicação no estudo de confiabilidade de medidas**, 1995. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995
- CLARK UNIVERSITY. Clark Labs, The Idrisi Project. **IDRISI32**: version I32.11 (software). Worcester: Clark Labs, The Idrisi Project/Clark University, 2000.
- GOLDEN SOFTWARE INC. **SURFER(WIN32)**: version 6.01 (software). Golden: Golden Software, 1995.
- LARK, R.M.; STAFFORD, J.V. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v.130, p.111-121, 1997.
- MATAA, M.; TOMINAGA, S. Reproductive-vegetative shoot growth interactions and relationship to non-structural carbohydrates in immature ponkan mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). **The Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Rent, v.73, n.2, p.189-194, Mar., 1998.
- MCBRATNEY, A.B.; MOORE, A.W. Application of fuzzy sets to climatic classification. **Agricultural and Forest Meteorology**, Goettingen, v.35, p.165-185, 1985.
- MINASNY B.; MCBRATNEY, A.B. **FuzME**: version 3.5 (software). Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture/The University of Sydney, 2002. Disponível em: <<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>>. Acesso em: 5 dec. 2003.
- TRIANTAFILIS, J.; ODEH, I.O.A.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B. Elucidation of physiographic and hydrogeological features of the lower Namoi valley using fuzzy k-means classification of EM34 data. **Environmental Modelling & Software**, v.18, p.667-680, 2003.
- WHITNEY, J.D.; WHEATON, T.A.; MILLER, W.M. Citrus geospatial information gathering. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., 2000, Lake Buona Vista. **Proceedings...** Ann Arbor: Veridian Erim International, 2000. v.2, p.167-173.
- WHITNEY, J.D.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A.; SALYANI, M.; SCHUELLER, J.K. Precision farming applications in Florida citrus. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v.15, n.5, p.399-403, 1999.