

# AGRICULTURA DE PRECISÃO: MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE EM POMARES CÍTRICOS USANDO GEOESTATÍSTICA<sup>1</sup>

PAULO ROBERTO SILVA FARIAS<sup>2</sup>, LETICIA ANE SIZUKI NOCITI<sup>3</sup>, JOSÉ CARLOS BARBOSA<sup>4</sup>, DILERMANDO PERECIN<sup>4</sup>

**RESUMO** - A variabilidade espacial de produtividade e tamanho de frutos foi avaliada em pomares de laranja irrigados e não irrigados, localizados no município de Luiz Antônio – SP, utilizando-se de geoestatística. Através dos mapas de krigagem, podem-se determinar as áreas de alta e baixa produtividade dos talhões. Verificou-se maior variabilidade para produtividade e tamanho de frutos nas quadras irrigadas e não irrigadas. Portanto, a geoestatística mostrou-se uma ferramenta extremamente útil para auxiliar em Programas de Agricultura de Precisão.

**Termos para indexação:** GPS, semivariograma, krigagem, *Citrus sinensis*.

## PRECISION AGRICULTURE: MAPPING OF YIELD IN CITRUS GROVES USING GEOSTATISTICS

**ABSTRACT** - The yield variability of sweet orange groves located in Luiz Antonio country, Sao Paulo State, Brazil, was evaluated using geostatistics. Through the kriging maps, areas with higher and lower yields in the groves were determined. A great variability of yield and fruit size on irrigated and non-irrigated groves was verified. Thus, the geostatistic showed to be an extremely useful tool to enhance Precision Agriculture Programs.

**Index terms:** GPS, semivariograma, kriging, *Citrus sinensis*.

### INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, detendo 36% do total produzido; entretanto, essa produção distribui-se de forma desigual entre os Estados brasileiros. Essa extraordinária riqueza, base da economia de 320 municípios do Estado de São Paulo, está sendo ameaçada pelos altos custos dos insumos e pela rápida propagação de doenças e pragas que elevam o custo de produção para US\$ 1,74/caixa (média dos últimos 5 anos). O preço médio pago aos citricultores na safra de 2000/01 foi de US\$ 1,76/caixa (Agriannual, 2002). A erradicação de plantas também foi recorde no triênio compreendido entre 1999 e 2001. Estima-se que os pomares tenham sido reduzidos em aproximadamente 23 milhões de árvores. A maior parte dessa redução ocorreu por migração dos produtores para outras culturas mais rentáveis. Calcula-se que, somente entre 2000 e 2001, a cana-de-açúcar tenha invadido 80 mil hectares de antigos laranjais no Estado de São Paulo (Nehmi Filho et al., 2002).

Através dos avanços tecnológicos na agropecuária, especialistas têm notado, cada vez mais, que os diversos setores da agricultura não podem ser tratados de maneira homogênea no que diz respeito à medição de variáveis nas áreas agrícolas. Neste sentido, a variação espacial e temporal deve ser considerada para que se possa ter melhor aplicação e aproveitamento dos insumos, podendo assim melhorar a produtividade, reduzir o custo de produção e o impacto ambiental causado pelo excesso utilizado.

Para representar a dependência espacial nas amostragens, utiliza-se de um tipo de estatística chamada geoestatística, que surgiu na África do Sul, quando o Engenheiro de Minas D. G. Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentidos nas variâncias se não levasse em consideração a distância entre as amostras (Farias, 2002a). Matheron (1963), baseado nestas observações, desenvolveu uma teoria, a que chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas, que contém os fundamentos da geoestatística.

Segundo Tokeshi (2000), quando domesticamos a planta e a cultivamos em condições diferentes, em monocultura, com adubação química e utilizando agrotóxicos, estamos destruindo o ecossistema original, a microflora e a fauna benéfica que protegiam a planta. Esta destruição, principalmente da microflora epífita e da rizosfera, cria condições para o surgimento de grandes epidemias de doenças e pragas da atualidade. O mesmo autor

exemplifica sua afirmação com a Clorose Variegada dos Citros (*Xylella fastidiosa*) que, segundo ele, é um reflexo do aumento de suscetibilidade da planta pelo uso exagerado e inadequado de agroquímicos. Para tentar solucionar esse problema, Farias (2001) cita que a aplicação de agrotóxicos no sistema produtivo agrícola mundial é uma das operações mais dispendiosas de todo o processo produtivo agrícola. Sendo assim, a introdução da tecnologia chamada “Agricultura de Precisão” é muito bem-vinda, aproximando melhor as quantidades adequadas de agrotóxicos às necessidades reais do local, no campo produtivo.

No começo da década de 90, começaram a ser desenvolvidas tecnologias e princípios para manejar as variabilidades espacial e temporal associadas com os aspectos da produção agrícola. A produtividade das culturas varia espacialmente, e determinar as causas dessas variações é o desafio que enfrenta a Agricultura de Precisão. As variações espaciais podem ser estudadas através de técnicas geoestatísticas que permitem elaborar mapas e delimitar áreas de manejo diferenciadas (Farias 2002a).

A Agricultura de Precisão poderá ser a principal ferramenta para implantação da Produção Integrada de Cítrus (PIC) no Brasil. A PIC baseia-se em um sistema de diretrizes técnicas e de normas, definidas por consenso por meio de um comitê gestor voluntário, que permite a produção de alimentos e outros produtos de alta qualidade (ISO 9002), o uso racional dos recursos naturais e de mecanismos reguladores para controlar os insumos agrícolas e para assegurar uma produção sustentada (ISO 14001) (Silva et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi o de mostrar a variabilidade espacial e o potencial de produtividade em pomares de citros georreferenciados com um sistema de posicionamento global (GPS), usando como metodologia a geoestatística.

### MATERIALE MÉTODOS

#### Localização da área

A área experimental está compreendida nas coordenadas geográficas: 21° 29' 41,43" de latitude Sul, 47° 45' 47,11" de longitude Oeste de Greenwich e altitude de 590,36 m (sede da fazenda), localizada no município de Luiz Antônio-SP. O solo da área é um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico A moderado e textura argilosa. Nessa área, foram selecionadas duas quadras com plantas de laranjeira ‘Natal’ (*Citrus*

<sup>1</sup> (Trabalho 070/2002). Recebido:09/03/2002. Aceito para publicação: 11/07/2003.

<sup>2</sup> Prof. Adjunto do Depto. de Biologia Vegetal e Fitossanidade da Universidade Federal Rural de Amazônia - UFRA. Av. Pres. Tancredo Neves, 2501, 66077-530 Belém-PA. E-mail: paulo@ufra.edu.br

<sup>3</sup> Depto. Científico-FUNDECITRUS, Av. Dr. Adhemar Pereira de Barros, 201, CEP: 14807-040, Araraquara-SP. E-mail: lenociti@bol.com.br

<sup>4</sup> Depto. de Ciências Exatas, FCAV/UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n. 14870-000. Jaboticabal-SP. E-mail: jbarbosa@fcav.unesp.br; perecin@fcav.unesp.br

*sinensis* [L.] Osbeck) enxertada em tangerineira 'Cleópatra' (*Citrus reshni* hort. ex. Tanaka) que é um porta-enxerto exigente em água e responde bem à irrigação, com 14 anos de idade, espaçadas de 9m x 6 m. Uma quadra é irrigada por um sistema autopropelido, com canhão hidráulico e lâmina de irrigação aplicada de 45 mm, apresentando 3.560 plantas, e outra quadra não irrigada com 2.918 plantas.

As fotografias aéreas (Figura 1A e 1B) foram obtidas com uma câmara fotográfica Canon EOS com uma objetiva EF 50 mm Compact Macro. Os vãos foram contratados e as fotos foram tiradas por um fotógrafo profissional. Não houve controle rígido de altura de vôo, onde o parâmetro adotado foi a busca de enquadramento do talhão da área de estudo em uma única fotografia. As coordenadas utilizadas no trabalho foram transformadas para o sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), seguindo o sistema das coordenadas retangulares. Esse sistema de coordenadas estabelece a divisão da Terra em 60 fusos de 6° cada.

#### Georreferenciamento dos talhões

Para o georreferenciamento dos talhões, utilizou-se um Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) geodésico com pós-processamento, modelo Trimble 4600 LS, apresentando uma acurácia na horizontal (latitude e longitude) de  $\pm 1$  cm + 1ppm e na vertical (altimetria) de  $\pm 2$  cm + 2ppm. Neste sistema, um aparelho foi instalado em uma posição fixa (Base), cuja localização é conhecida. Como a posição dos satélites é conhecida, é possível determinar o erro na determinação da estação fixa. A diferença entre a distância exata da estação fixa até o satélite e a distância determinada com o sinal recebido pelo aparelho da estação fixa é denominada distância de correção diferencial. Se a correção diferencial é calculada para cada sinal de satélite que a estação fixa recebe, essa correção pode ser usada para melhorar a exatidão da posição determinada por aparelhos receptores móveis. Como os satélites

estão em constante movimento, os valores de correção devem ser constantemente armazenados pela estação fixa para depois serem usados no pós-processamento dos sinais dos receptores móveis.

#### Digitalização das fotografias aéreas e amostragem

A digitalização não é um processo de obtenção de bases cartográficas e, sim, a conversão de dados analógicos em dados digitais. Portanto, essa etapa pressupõe a existência de bases cartográficas convencionais (fotografias ou mapas impressos) que serão convertidas para meios digitais. As fotografias aéreas foram convertidas para formato digital através de um Scanner HP 6300C com uma resolução de 300 pontos por polegada (DPI) em formato JPEG (Figura 1A e 1B).

A digitalização das fotografias aéreas foi feita no programa SUFER 6.04 (Golden Software, 1996), o qual permite que seja construída uma base da imagem. Essa base toma como referência os pontos coletados pelo GPS nas quadras. Os pontos usados para a construção da base da imagem foi a maior e a menor coordenada (latitude e longitude) das quadras. As coordenadas utilizadas para a construção da base cartográfica da quadra irrigada, foram de 834327.06 e 834818.23 de longitude, 7616974.52 e 7617357.79 de latitude. Para quadra não irrigada, foram de 833365.98 e 833834.88 de longitude, 7617235.74 e 7617603.89 de latitude. Cada planta teve sua localização espacial conhecida e, conseqüentemente, todas as informações das amostragens com precisão e confiabilidade (Figura 1C e 1D).

A partir dessas informações, foram selecionadas 101 plantas, no mês de setembro do ano de 2000, destacadas com um círculo em cada quadra (Figura 1C e 1D), nas quais foi amostrado o tamanho médio dos frutos através da medição de 10 frutos por planta, medindo o seu diâmetro equatorial com um paquímetro.

A produtividade foi obtida pela colheita total das plantas

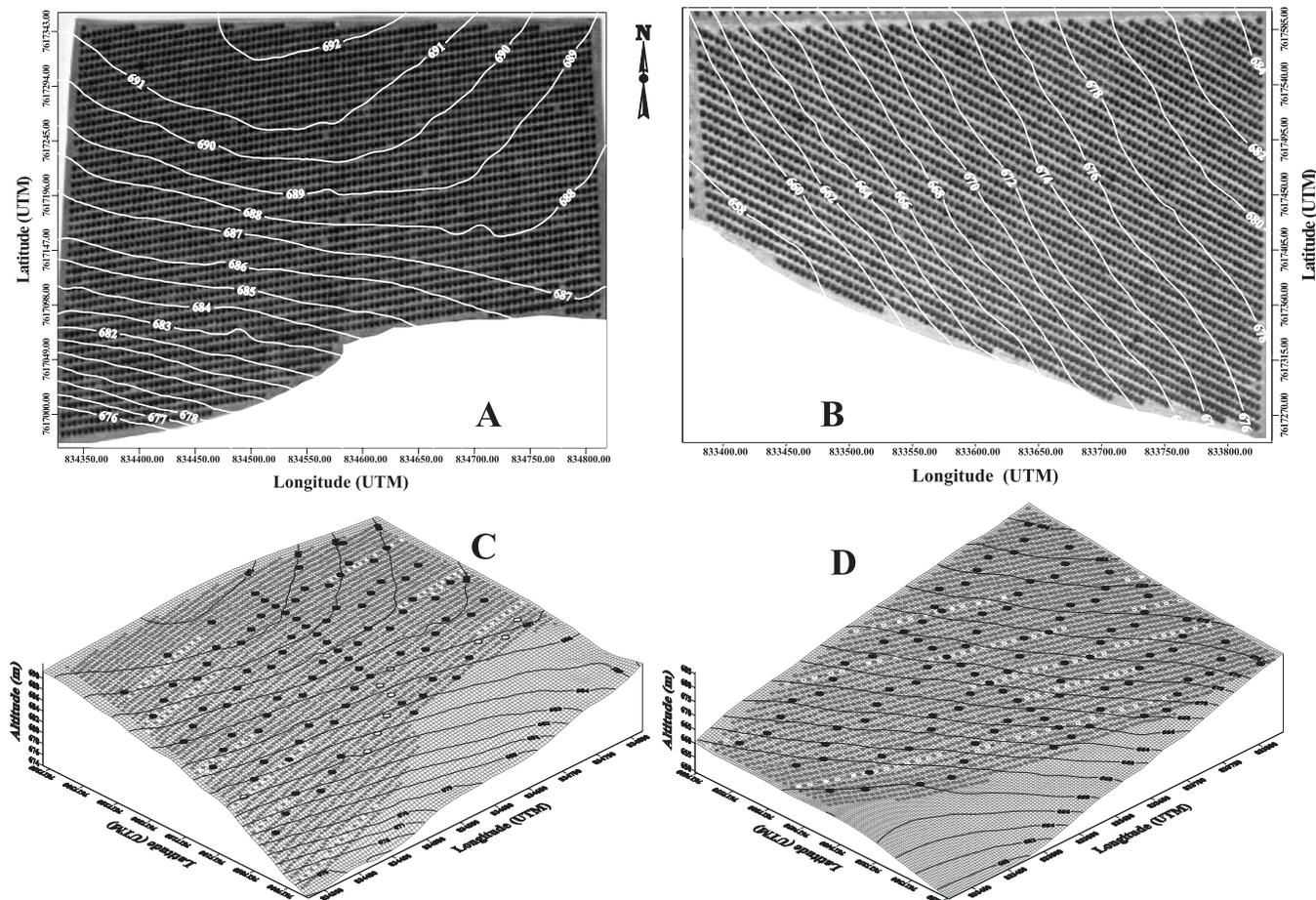


FIGURA 1 - Fotos aéreas georreferenciadas (A e B) e digitalizadas (C e D) com as localizações das plantas (latitude, longitude e altitude) da quadra irrigada (A e C) e não irrigada (B e D).

selecionadas. Essas plantas foram colhidas por apanhadores que depositavam os frutos de cada planta em caixas, as quais eram pesadas, para, posteriormente, serem transformadas em número de caixas de 40,8 kg/planta.

**Análise da dependência espacial (Geoestatística)**

Os procedimentos a serem descritos seguem a metodologia de Vieira et al. (1983) e utilizam-se da informação da posição da amostra e o valor que as variáveis (produtividade e tamanho do fruto) assumiram em cada ponto (planta). Desta forma, de cada ponto de amostragem tem-se o valor das variáveis e as coordenadas (latitude, longitude e altitude) do ponto onde foi realizada a amostragem.

**O semivariograma experimental**

Quando se calcula o semivariograma, obtêm-se pares de valores de semivariâncias [ $\gamma(h)$ ] e distâncias ( $h$ ), os quais deverão ser dispostos em um gráfico de dispersão, tendo como valores de y, as semivariâncias, e de x, as distâncias. A esses pontos, deverá ser ajustado um modelo. Para propriedades espacialmente dependentes, espera-se que a diferença entre valores [ $Z(x_i) - Z(x_i + h)$ ], em média, seja crescente com a distância até um determinado ponto, a partir do qual se estabiliza num valor, denominado patamar ( $C_i$ ) e aproximadamente igual a variância dos dados. Esta distância recebe o nome de alcance ( $a$ ) e representa o raio de um círculo, dentro do qual os valores são tão parecidos uns com os outros que são correlacionados. O valor da semivariância na interseção do eixo Y tem o nome de efeito pepita ( $C_0$ ) e representa a variabilidade da propriedade em espaçamentos menores do que o amostrado. Assim, quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial de um atributo (Vieira et al., 1983). O semivariograma é estimado por:

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

onde  $N(h)$  é o número de pares experimentais de valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$ , separados por um vetor  $h$ . O gráfico de  $\gamma^*(h)$  “versus” os valores correspondentes de  $h$ , chamado semivariograma, é uma função do vetor  $h$  e, portanto, depende da magnitude e direção de  $h$ .

**Krigagem**

Muitas vezes, o interesse da análise não se esgota em modelar a estrutura de variabilidade. Em diversas situações, o interesse está na estimação de valores em pontos não amostrados, seja por um interesse local, seja pela intenção de obter um detalhamento da área que vai além do permitido pela amostra. Nestes casos, é preciso lançar mão de algum interpolador (preditor) dentre os existentes na literatura (Farias et al., 2002b).

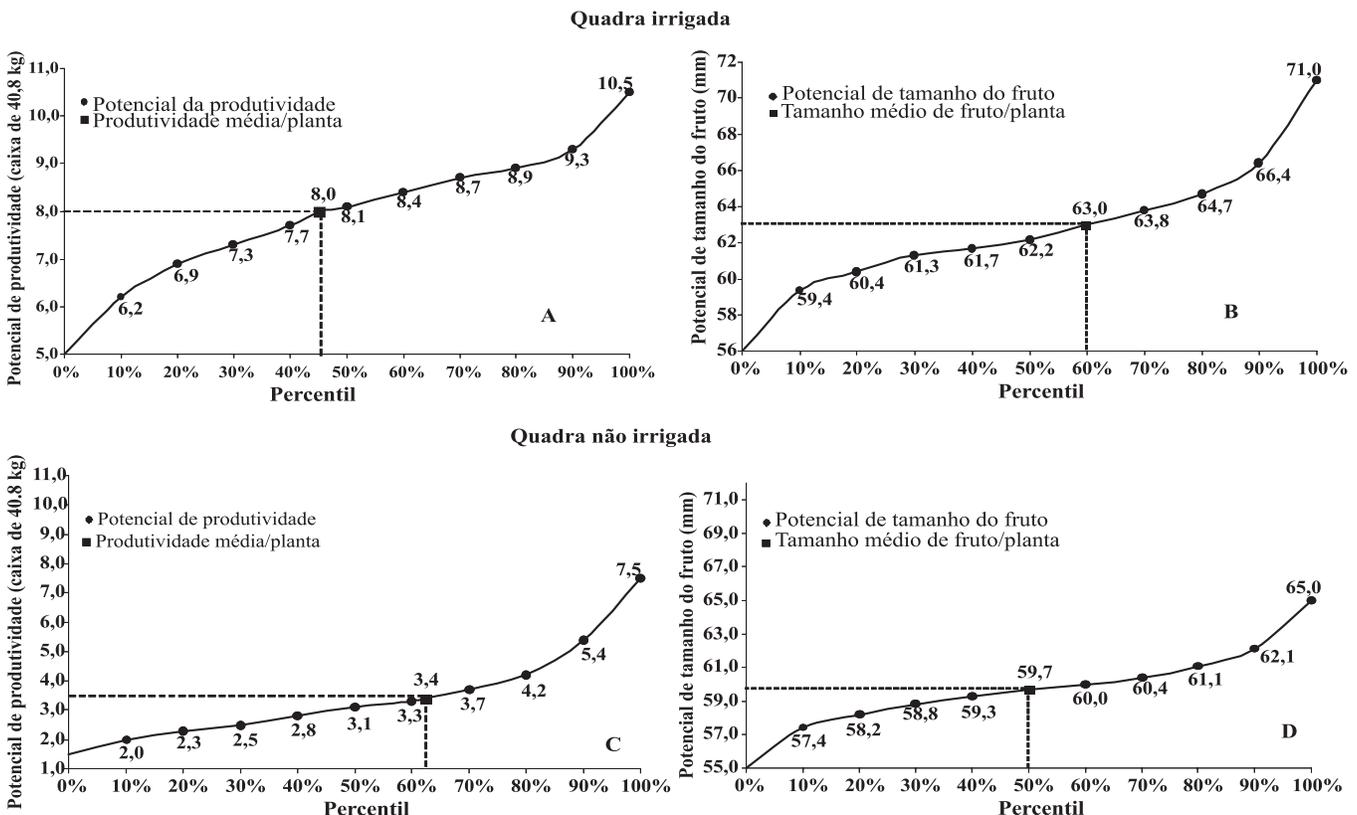
Supondo-se que se queira estimar valores  $z^*$ , para qualquer local,  $x_0$ , onde não se tem valores medidos, e que a estimativa deve ser uma combinação linear dos valores medidos, tem-se:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

onde  $N$  é o número de vizinhos medidos,  $Z(x_i)$ , utilizados na estimativa da propriedade e  $\lambda_i$  são os ponderadores aplicados a cada  $Z(x_i)$ , os quais são selecionados de forma que a estimativa obtida seja não tendenciosa.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nas amostragens de produtividade e de tamanho de fruto, observou-se uma alta variabilidade nas duas áreas estudadas (Figura 2). A quadra irrigada mostrou uma produção variando de 5,0 a 10,5 caixas de 40,8 kg/planta, sendo que a média de produtividade foi de 8,0 caixas. Da produtividade total, 55% é representado por plantas com mais de 8 caixas (Figura 2A). Na quadra não irrigada, a produtividade variou de 1,5 a 7,5 caixas, com uma média de produtividade de 3,4 caixas, sendo que 62,5% da produtividade total é representada por plantas com menos de 3,4 caixas (Figura 2C). Essas diferenças também foram observadas para o tamanho dos frutos que, na quadra irrigada, apresentou um tamanho médio de frutos variando de 56 a 71 mm, com uma média de 63 mm, sendo que 60% dos frutos apresentaram tamanho médio inferior a 63 mm (Figura 2B). Esses resultados foram superiores aos da quadra não irrigada, que teve uma variação de tamanho de fruto de 55 a 65 mm, com uma média de 59,7 mm, com 50% dos frutos menores que a média (Figura 2D).



**FIGURA 2 -** Distribuição da produtividade (A e C) e de tamanho do fruto (B e D) da quadra irrigada (A e B) e não irrigada (C e D).

A variabilidade dentro de um pomar de citros também foi verificada nos trabalhos de Whitney et al. (1998) e Schueller et al. (1999), que relatam que, sob desigualdade de produção, o aproveitamento dos insumos aplicados uniformemente torna-se ineficiente em algumas áreas. Além do desperdício desses produtos químicos, a contaminação do meio ambiente pode ser incrementada nessas condições.

Para determinar se o tamanho do fruto influenciou na produtividade, foram feitas correlações entre a produtividade e o tamanho do fruto para as duas áreas dos experimentos. Pelos resultados obtidos, observa-se que não houve correlação significativa para a área irrigada ( $r = 0,16$ ) e para a área não irrigada ( $r = -0,09$ ) (Figura 3). Portanto, a produtividade não foi influenciada pelo tamanho do fruto e, sim, pelo número de fruto por plantas.

Nas análises geoestatísticas, as variáveis regionalizadas utilizadas foram a produtividade e o tamanho do fruto. As análises da dependência espacial para a produtividade e tamanho de frutos por meio do semivariograma foram ajustadas considerando o modelo que proporcionou o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Figura 4). O modelo que melhor representou os valores observados nas amostragens de

campo para a quadra irrigada e não irrigada foi o esférico (Esf), tanto para produtividade como para tamanho de frutos.

Os semivariogramas da quadra irrigada apresentaram um alcance da dependência espacial para a produtividade (Figura 4A) e para o tamanho dos frutos (Figura 4B) de 65 m. A quadra não irrigada mostrou uma dependência espacial de 185 m para a produtividade (Figura 4C) e 60 m para o tamanho de frutos (Figura 4D). Esses alcances da dependência espacial estão indicando o raio de agregação da variável estudada.

Através dos modelos ajustados aos semivariogramas, foi possível realizar a estimação dos valores amostrados pelo método da krigagem para a construção dos mapas da produtividade e do tamanho do fruto das quadras irrigada (Figura 5) e não irrigada (Figura 6). Pelos mapas temáticos de produtividade e de tamanho de fruto, podem-se observar as variabilidades espaciais, caracterizando as áreas de risco existentes nas quadras irrigadas e não irrigadas. Na área não irrigada, as áreas de altas produtividades mostradas no mapa localizam-se próximas a um córrego onde existe maior umidade no solo, indicando a importância da irrigação na produtividade da cultura de citros, em especial para o porta-enxerto 'Cleópatra'.

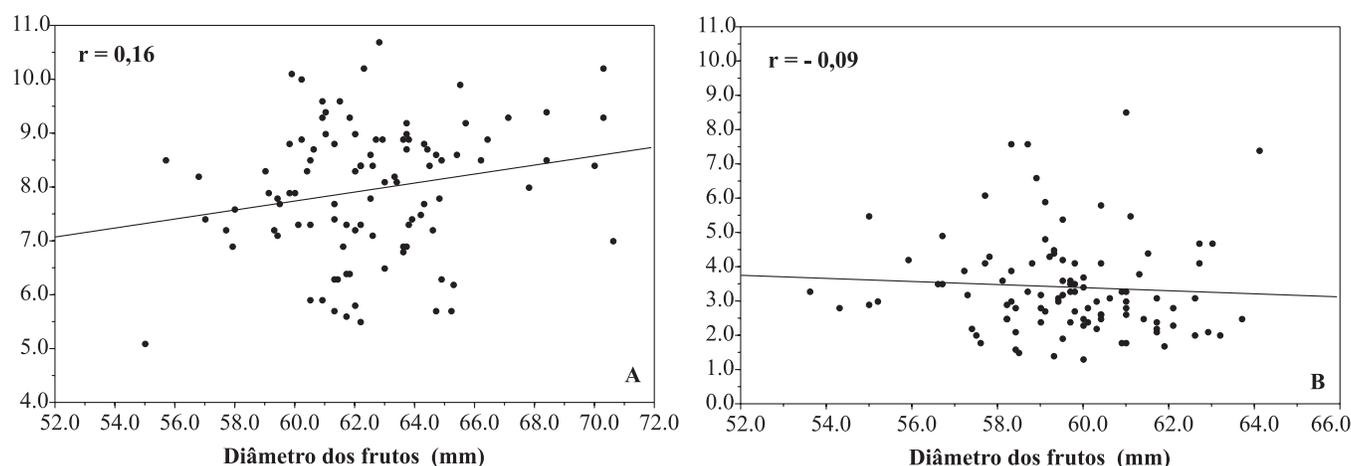


FIGURA 3 - Correlação entre a produtividade e o diâmetro do fruto da quadra irrigada (A) e não irrigada (B).

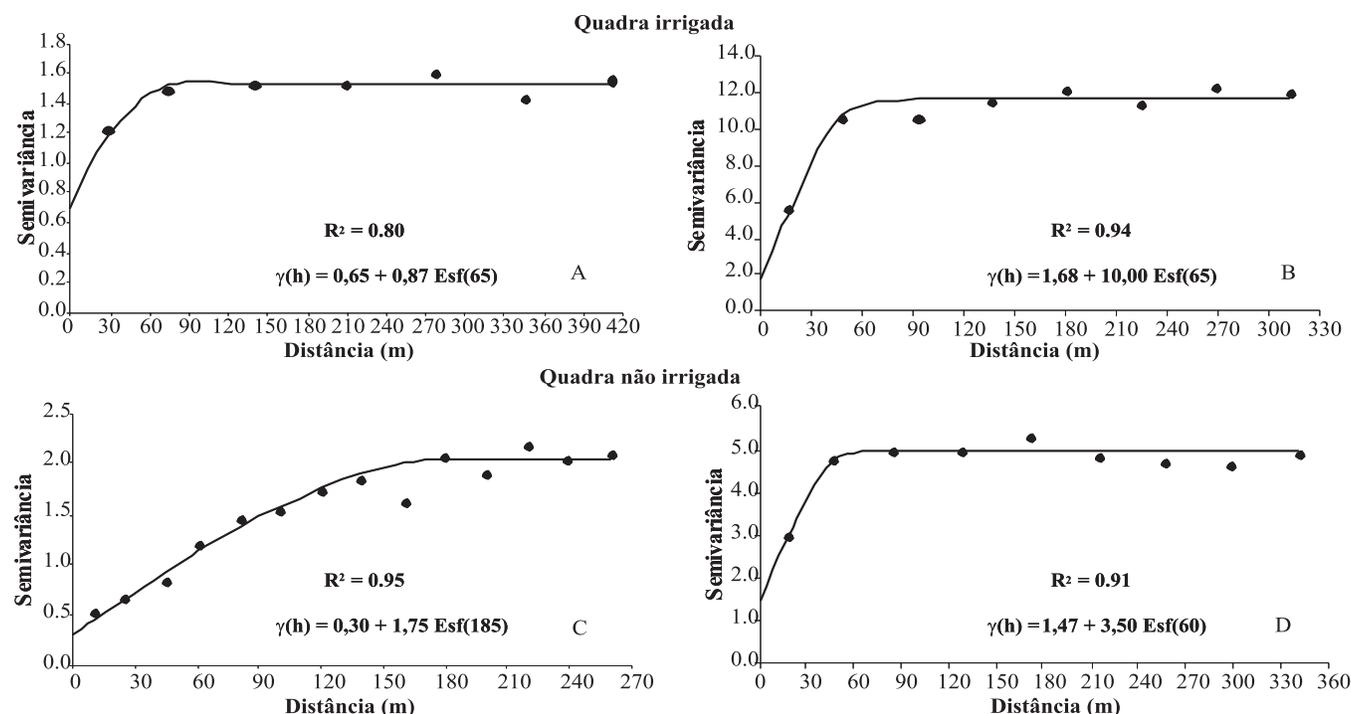


FIGURA 4 - Semivariograma da produtividade (A e C) e de tamanho do fruto (B e D) da quadra irrigada (A e B) e não irrigada (C e D).

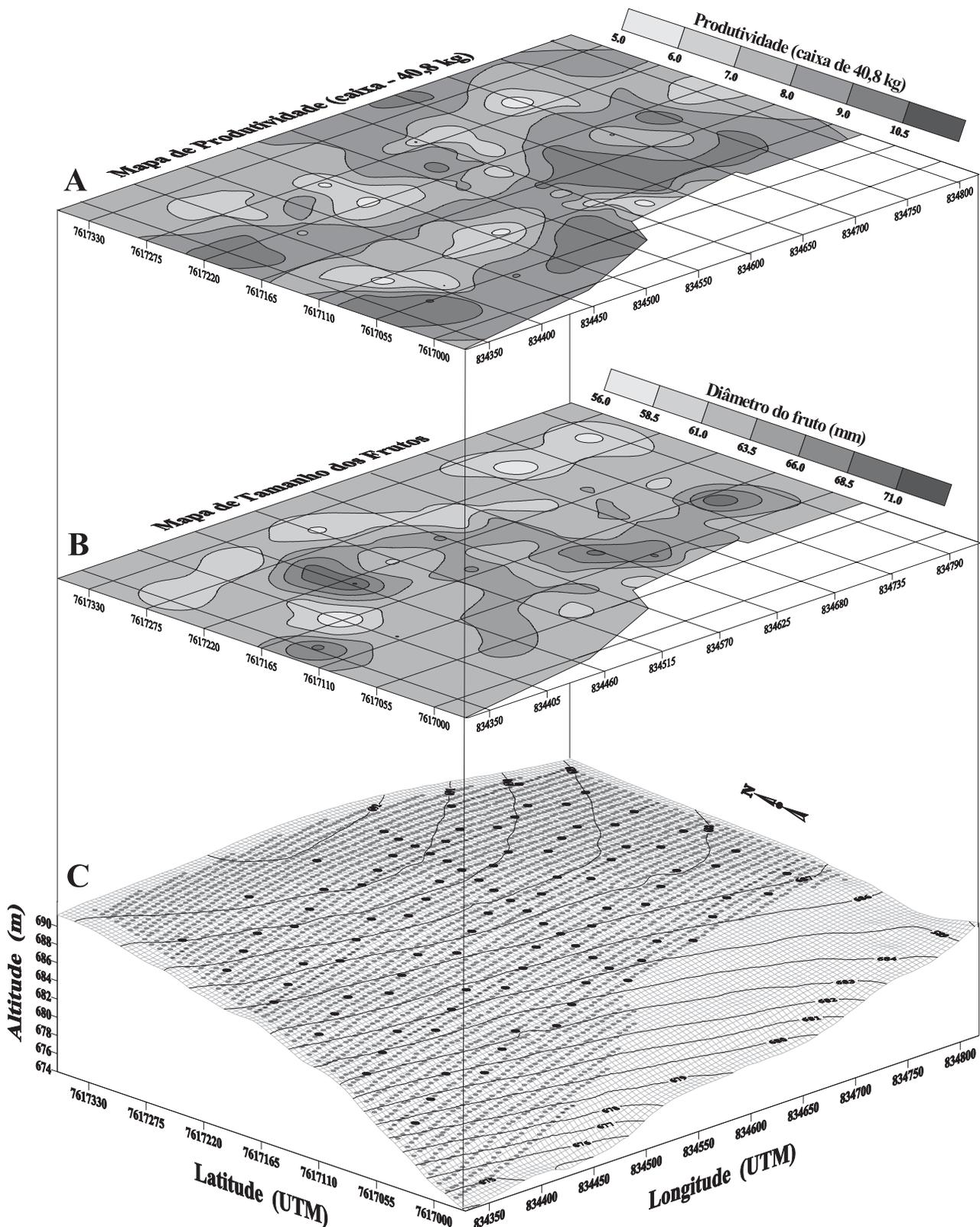


FIGURA 5 - Mapa de produtividade (A) de tamanho do fruto (B) e as localizações das plantas georreferenciadas (C) da quadra irrigada.

Pela Figura 5A, podemos visualizar que a irrigação, provavelmente, não foi o único fator responsável pela alta variabilidade de produção no pomar. Neste caso, se fosse somente o fator irrigação, o mapa apresentar-se-ia mais homogêneo quanto à produtividade. A representação gráfica mostra que outros fatores, como o tipo de solo, fertilidade,

pragas, etc, podem influenciar na produtividade.

Novos estudos estão sendo conduzidos na área, tais como: distribuição espacial de pragas, nematóides e fertilidade de solo, para que possamos manejar a variabilidade espacial da produtividade e de tamanho de fruto através de um programa de Agricultura de Precisão.

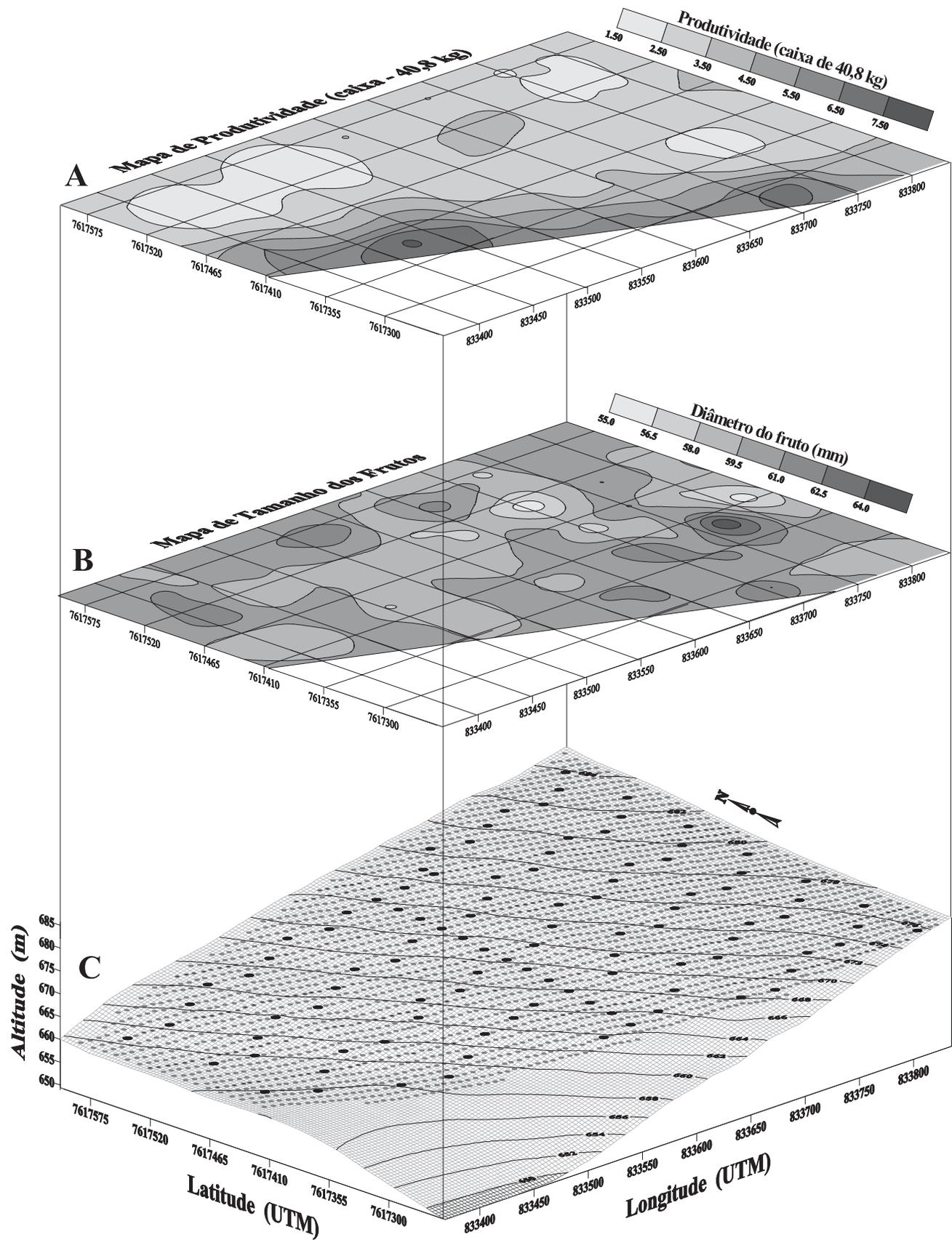


FIGURA 6 - Mapa de produtividade (A) de tamanho do fruto (B) e as localizações das plantas georreferenciadas (C) da quadra não irrigada.

### CONCLUSÕES

1) Os mapas de produtividade e de tamanho de fruto mostraram alta variabilidade espacial. A quadra irrigada apresentou uma produção variando de 5,0 a 10,5 caixas e tamanho médio dos frutos variando de 56 a 71 mm. Na quadra não irrigada, a produtividade variou de 1,5 a 7,5 caixas e tamanho de fruto de 55 a 65 mm.

2) Através dos dados amostrados, foi possível determinar o potencial de produtividade e de tamanho de fruto, principais características para comercialização de frutos “in natura”.

3) A produtividade não foi influenciada pelo tamanho do fruto e, sim, pelo número de frutos por planta.

4) A geoestatística foi utilizada com eficiência para mostrar a variabilidade, mapear e analisar as áreas de risco, mostrando-se ser uma ferramenta extremamente útil para auxiliar em Programa de Agricultura de Precisão para a citricultura.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao M.Sc. Antonio Juliano Ayres (Gerente Científico do FUNDECITRUS) e ao Eng. Agr. Luiz Fernando Giroto (CUTRALE), pelo apoio financeiro, sem o qual não seria possível realizar este trabalho.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL 2002: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2002. p.304-315.
- FARIAS, P.R.S. A geoestatística e a agricultura de precisão como ferramenta no controle de pragas e doenças. In: ROBERTO, S.R.; RALISCH, R (Eds.) **V Mostra acadêmica de trabalhos de agronomia**. Londrina: UEL, 2001. p.9-18.
- FARIAS, P.R.S.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L.C.C.B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Moscow, v.10, p.1-9, 2002a.
- FARIAS, P.R.S.; SÁNCHEZ-VILA, X.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; FERRAZ, L.C.C.B.; SOLIS-DELFIN, J. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchulus reniformis* in cotton crops in Brazil: economic implications. **Journal of Nematology**, Orlando. v.34, p.232-238, 2002b.
- GOLDEN SOFTWARE, Inc. **Surfer for windows 6.04**. Golden, CO. 1996.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v.58, p.1246-1266, 1963.
- NEHMI FILHO, V.A.; SILVA, M.L.M.; MARINHO, L.K. Laranja: produção se ajusta à demanda. In: **AGRIANUAL 2002: anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2002. p.285-288.
- SCHUELLER, J.K.; WHITNEY, J.D.; WHEATON, T.A.; MILLER, W.M.; TURNER, A.E. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.23, p.145-153, 1999.
- SILVA, A.S.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L.; SILVA, C.M.M.S. Bases e organização da produção integrada. In: DONADIO, L.C.; STUCHI, E.S (Ed.) **Seminário internacional de citros: Produção Integrada**. Bebedouro: Fundação Cargill, 2000. p.1-35.
- TOKESHI, H. Doenças e pragas agrícola geradas e multiplicadas pelos agrotóxicos. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.25, p.264-270, 2000.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, p.1-75, 1983.
- WHITNEY, J.D.; WHEATON, T.A.; MILLER, W.M.; SALYANI, M.; SCHUELLER, J.K. Precision farming applications in Florida Citrus. **Proceedings of Florida State Horticultural Society**, Orlando, v.111, p.148-150, 1998.