ANÁLISE DE DADOS DE PRODUÇÃO EM UM POMAR JOVEM DE LARANJEIRAS HAMLIN: I. RELAÇÕES COM A RESPOSTA ESPECTRAL[1]

FRANCISCO JOSÉ DE OLIVEIRA PARISE[2] & CARLOS ALBERTO VETTORAZZI[3]

RESUMO - Em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin, não-irrigado, foi realizado um estudo que procurou investigar a potencialidade do uso de dados espectrais de árvores, visando ao gerenciamento localizado da produção de 52 árvores, distribuídas ao longo de duas transeções cruzadas, selecionadas para o levantamento da produção em dois ciclos sucessivos, 2000-2001 e 2001-2002. Imagens aéreas multiespectrais de alta resolução espacial foram tomadas de um pomar, em duas fases fenológicas distintas: antes e após a fase de desenvolvimento vegetativo. Os índices de vegetação NDVI e SAVI e os níveis de cinza nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho foram relacionados com a produção por meio de regressões. Os resultados mostraram que a resposta espectral apresentou relação significativa com a produção, embora os valores de r^2 tenham sido baixos. A tomada de imagens multiespectrais voltadas ao gerenciamento localizado da produção, tanto na época anterior, como posterior à fase de desenvolvimento vegetativo, apresentou desempenho semelhante quanto às relações entre resposta espectral e produção.
Termos para indexação: videografia aérea, resposta espectral, produção, citros.

YIELD DATA ANALYSIS IN A COMMERCIAL ORCHARD OF YOUNG HAMLIN TREES: RELATIONSHIPS WITH SPECTRAL RESPONSE

ABSTRACT - Yield data of 52 young Hamlin trees in a commercial orchard were collected in two seasons, 2000/2001 and 2001/2002, along with spectral response data extracted from multispectral digital aerial images. The images were collected by a high resolution video camera in two distinct phenological stages: before and after the period of vegetative growth. NDVI, SAVI, red and infrared raw digital numbers data were selected for describing the relations. Regression analyses showed significant relationships between yield and spectral response, however the values of r^2 were low. Taken multispectral digital images before or after the vegetative growth period were similar performed.
Index terms: aerial videography, spectral response, yield, citrus.

INTRODUÇÃO

Em citricultura, técnicas de sensoriamento remoto já vêm sendo utilizadas para o levantamento de variáveis como o número de pés e o espaçamento entre árvores, visando ao planejamento do setor. No entanto, a utilização dessas técnicas voltadas à estimativa de produção ainda vem sendo avaliada. Reconhece-se que há grande dificuldade em se estabelecerem relações entre variáveis biofísicas e produção, particularmente em culturas permanentes.

Blazquez et al. (1998) e Weepener et al. (2000) já haviam chamado a atenção para a potencialidade da utilização das técnicas de sensoriamento remoto, entre as quais, a videografia aérea, para a estimativa de produção em citricultura. Na verdade, Blazquez et al. (1984) conseguiram estimar a produção de um pomar citrícola por meio da utilização de fotografias aéreas infravermelhas. No entanto, sua estimativa não passou por uma análise de exatidão, e a avaliação do potencial produtivo foi visual. Blazquez et al. (1979) já haviam constatado a superioridade do método de se levantarem as condições gerais das árvores com auxílio de fotografias aéreas infravermelhas. Posteriormente, Blazquez (1993) conseguiu classificar o vigor de árvores citrícolas também por meio da utilização de fotografias aéreas infravermelhas.

De acordo com Vettorazzi et al. (2000), videografia aérea é o conjunto de técnicas utilizadas para o registro de imagens aéreas capturadas por câmaras de vídeo. Com o advento da videografia aérea, o registro digital da resposta espectral do alvo observado na forma de imageamento tornou-se uma atividade menos complexa, principalmente em função de os dados já estarem no formato digital. Além do mais, o equipamento é portátil, versátil e simples de operar. Apresenta ainda como vantagens: um custo operacional menor que os de sistemas fotográficos convencionais; uma elevada velocidade de captura dos quadros; sua pronta compatibilidade com sistemas como o GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global); sistemas de informações geográficas, e sistemas de processamento digital das imagens. Além disso, permite observar em um monitor a imagem em tempo real, simultaneamente à aquisição.

Quando a resposta espectral do alvo observado à energia radiante proveniente do Sol atinge um sensor do tipo CCD (*Charge Coupled Device*), que é constituído por milhares de pequenos sensores, os fótons a ela associados batem na superfície de cada um daqueles sensores e são convertidos numa carga elétrica proporcional à intensidade da radiação. A carga registrada em cada pequeno sensor é, então, transformada num valor numérico digital, freqüentemente conhecido como número digital, valor de intensidade de brilho, contagem digital, ou como é mais empregado, nível de cinza.

A estimativa de variáveis biofísicas das plantas a partir de sua resposta espectral baseia-se no princípio de que a resposta espectral de determinadas faixas do espectro eletromagnético é relacionada com a estrutura do dossel. Segundo Myers (1983), a resposta espectral nas faixas do vermelho (VER) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético é a mais indicada para a estimativa de biomassa foliar verde e outras variáveis biofísicas relacionadas. Na faixa do vermelho, as plantas absorvem mais energia graças à presença dos pigmentos, e, na faixa do infravermelho próximo, as plantas refletem mais energia graças à estrutura interna das folhas.

Quando uma planta é imageada, a resposta espectral de outros componentes das plantas, que não as folhas, também é capturada pelo sensor. Com o propósito de minimizar a contribuição desses outros elementos, que não folhas, dentre os principais estão o solo, a irradiância solar, o ângulo solar, a vegetação senescente e a atmosfera, foram desenvolvidos índices de vegetação, que são a razão, a diferenciação, ou outro tipo de combinação, ou a transformação de dados espectrais para produzir um único valor. Geralmente, são utilizados os dados espectrais das faixas do vermelho e do infravermelho próximo, graças à relação inversa entre a reflectância da vegetação nessas duas faixas, ou seja, baixa reflectância na faixa do vermelho e alta na do infravermelho próximo. Quanto maior o contraste entre as reflectâncias naquelas duas faixas, maior o índice e mais vegetação sadia está presente. Um dos índices mais utilizados, por apresentar melhores resultados do ponto de

[1] (Trabalho 017/2004). 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

vista estatístico, é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVP–VER)/(IVP+VER), ou mais conhecido como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). No entanto, em áreas onde há considerável variação de brilho, devida a diferenças de umidade, variações de rugosidade, sombra ou diferentes teores de matéria orgânica no solo, podem ocorrer mudanças no NDVI. Com o intuito de minimizar a influência desses fatores, Huete (1988) propôs uma modificação do NDVI, o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), ou seja, Índice de Vegetação Ajustado para Influência do Solo (1+L)*(IVP-VER)/(IVP+VER+L), sendo L o fator de ajuste para influência do solo. Segundo Huete (1988), L é uma constante que varia com a quantidade de vegetação, todavia, L=0,5 seria um valor ótimo para um grande intervalo de condições da vegetação.

Atualmente, já se estuda a aplicação da agricultura de precisão em citricultura (Whitney et al., 1999). Em agricultura de precisão, a escala de gerenciamento da produção é muito maior, conseqüentemente, a escala de levantamento de dados também é. Nesse aspecto, a videografia aérea leva vantagem porque permite levantar dados de todas as plantas do terreno. No entanto, em nível de árvores individuais, a estimativa torna-se ainda mais difícil, afinal a população de plantas é muito menor. Por outro lado, espera-se que as condições de solo e clima não sejam tão diferentes, pois o tamanho da área também é menor.

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[4]). 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, as copas das árvores podem ser individualizadas, e espera-se que o estudo das relações entre resposta espectral e produção seja mais abrangente, afinal a diferença de produção entre as árvores é maior, pois as árvores ainda estão em formação, ou seja, não atingiram a maturidade fisiológica.

Assim, os objetivos deste trabalho são:

- Estudar as relações entre produção e resposta espectral, na forma de níveis de cinza nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo e dos índices de vegetação NDVI e SAVI;
- Avaliar épocas de tomada de imagens aéreas multiespectrais, visando ao gerenciamento localizado da produção.

MATERIAL E 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. 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. Recebe três aplicações de fertilizantes ao ano, coincidindo com as épocas de maior crescimento vegetativo da cultura e vem sendo submetido a rígido monitoramento e controle de pragas e doenças. O pomar apresentava-se gramado nas entrelinhas, com controle das plantas daninhas nas linhas de plantio. 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, das 52 árvores. Posteriormente, a produção em sacos-caixa.árvore^{-1} foi convertida em kg.árvore^{-1}.

Imagens aéreas do pomar foram capturadas por meio da utilização de uma câmara de vídeo digital do tipo 3 CCD RGB/CIR de alta resolução (1392 x 1040 pixels), da empresa Duncan Technologies, Inc. (1999b), modelo MS 3100, com lente de 17 mm. Os sensores apresentavam sensibilidade espectral entre 400 nm a 1.000 nm, sendo que, no presente estudo, foram utilizados os filtros que operavam nas seguintes faixas: vermelho, centro da faixa 660 nm (intervalo de 40 nm) e infravermelho próximo, centro da faixa 800 nm (intervalo de 65 nm). A configuração da câmara foi realizada por meio de um programa desenvolvido pela própria Duncan Technologies, Inc. (1999a).

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). Durante o vôo 3, foi escolhida uma configuração da câmara inadequada, e a imagem obtida apresentou valores de nível de cinza que não representaram completamente as diferenças de resposta espectral entre as árvores, conseqüentemente a imagem do vôo 3 foi descartada das análises. O pomar foi representado por duas imagens no vôo 1, denominadas vôo 1a e vôo 1b, e 1 imagem no vôo 2, denominada vôo 2. A finalidade do primeiro vôo foi levantar a resposta espectral das árvores antes da fase de desenvolvimento vegetativo, e a do segundo, levantá-la após essa fase.

As imagens originais nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo, com resolução espacial aproximada de 0,30 m, foram transformadas em imagens NDVI e SAVI, no software Idrisi v.32.11 (Clark University, 2000). Adotou-se como fator de ajuste do solo para a transformação em imagens SAVI o valor de 0,5. Para cada árvore, foram criadas janelas, ou seja, recortes das imagens originais com tamanhos entre 7x7 pixels e 12x12 pixels, das imagens NDVI, SAVI e nível de cinza nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo originais por meio da utilização do software Idrisi. A seguir, foram obtidos arquivos com os valores de NDVI, SAVI e nível de cinza nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo de todos os pixels contidos em cada janela. Cada arquivo foi exportado para uma planilha eletrônica, onde foi calculado o somatório dos valores de NDVI, SAVI e de nível de cinza nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo. Os limites para separar, na imagem, a copa da árvore do resto dentro de cada arquivo foram definidos com base na visualização dos padrões de cor e valores associados dos pixels dentro de cada janela. Ainda foi calculada 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.

As análises de regressão entre a resposta espectral e a produção foram determinadas por meio da utilização de uma planilha eletrônica. A ferramenta de análise de regressão da planilha eletrônica executa uma análise de regressão linear, usando-se o método dos "mínimos quadrados" para ajustar uma linha através de um conjunto de observações. As equações das regressões foram selecionadas em função dos maiores valores de r^2 encontrados entre as opções disponíveis na planilha eletrônica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1; 2 e 3 e os gráficos da Figura 1 indicam que as melhores relações ocorreram entre os dados de resposta espectral extraídos de todas as imagens e a produção levantada em 2002, correspondente ao ciclo 2001-2002. Pela observação da Tabela 4, verifica-se que a precipitação no ciclo 2001-2002 foi menor que no ciclo 2000-2001 durante boa parte da fase fenológica do pré-florescimento (os três decênios de julho e dois em agosto de 2001) e no florescimento (1º decênio de setembro). Já no início da frutificação (2º decênio de setembro) a precipitação no ciclo 2001-2002 foi maior. Segundo Martins (2000) e Iaffe (1996), condições de precipitação, como as levantadas no presente estudo, favorecem a produção, propiciando às árvores expressarem mais plenamente seu potencial produtivo. Conseqüentemente, a resposta espectral, ao permitir estimar o vigor das árvores (Blazquez, 1993; Blazquez et al., 1979, 1984 e 1998) e mesmo o potencial produtivo (Blazquez et al., 1984 e Weepener et al., 2000), aumenta sua relação com a produção. Nesse estudo, portanto, foi possível comprovar que, quando a precipitação foi mais favorável à produção, a resposta espectral tendeu

[4] MOURÃO FILHO, F. de A. A., Comunicação pessoal, 2003,

TABELA 1 - Resumo das regressões entre dados de resposta espectral extraída da imagem a do vôo 1 e produção em 2001.

			Produção em 2001				
Imagem	Tipo de imagem	Função	Equação	G.l.	r^2	Erro-padrão	Valor de p
			Somatório				
Vôo 1a	infravermelho	potencial	$y = 0,4911x^{0,4948}$	32	0,068	0,389	0,14268
	NDVI	potencial	$y = 7,8827x^{0,6951}$	32	0,154	0,371	0,02371
	SAVI	potencial	$y = 5,9067x^{0,6925}$	32	0,146	0,373	0,02798
	vermelho	potencial	$y = 0,0237x^{0,902}1$	32	0,167	0,368	0,01811
Vôo 1b	infravermelho	exponencial	$y = 50,994e^{3E-05x}$	18	0,061	0,307	0,30724
	NDVI	-	-	-	-	-	
	SAVI	-	-	-	-	-	
	vermelho	potencial	$y = 33,211x^{0,0812}$	18	0,004	0,784	0,78400
			Média dos 10 maiores (infravermelho, NDVI e SAVI) e menores (vermelho) valores de pixel				
Vôo 1a	infravermelho	potencial	$y = 9E-07x^{3,306}$	32	0,213	0,007	0,00680
	NDVI	potencial	$y = 111,75x^{0,7391}$	32	0,019	0,437	0,43736
	SAVI	potencial	$y = 89,447x^{0,89}$	32	0,024	0,385	0,38482
	vermelho	potencial	$y = 18,69x^{0,2663}$	32	0,001	0,828	0,82843
Vôo 1b	infravermelho	potencial	$y = 0,0341x^{1,4029}$	18	0,024	0,525	0,52471
	NDVI	-	-	-	-	-	-
	SAVI	-	-	-	-	-	-
	vermelho	potencial	$y = 520,81x^{-0,4671}$	18	0,025	0,516	0,51633

TABELA 2 - Resumo das regressões entre dados de resposta espectral extraída das imagens a e b do vôo 1 e produção em 2002.

			Produção em 2002				
Imagem	Tipo de imagem	Função	Equação	G.l.	r^2	Erro-padrão	Valor de p
			Somatório				
Vôo 1a	infravermelho	potencial	$y = 0,1977x^{0,6656}$	31	0,330	0,200	0,00050
	NDVI	potencial	$y = 17,138x^{0,6823}$	31	0,410	0,190	0,00010
	SAVI	potencial	$y = 11,717x^{0,7091}$	31	0,420	0,190	0,00010
	vermelho	exponencial	$y = 53669e^{0,0001}$	31	0,320	0,200	0,00070
Vôo 1b	infravermelho	potencial	$y = 7,3824x^{0,3079}$	18	0,210	0,180	0,04980
	NDVI	exponencial	$y = 84,996e^{0,0289}$	18	0,370	0,160	0,00570
	SAVI	potencial	$y = 29,836x^{0,4645}$	18	0,390	0,160	0,00420
	vermelho	potencial	$y = 10,504x^{0,2859}$	18	0,159	0,187	0,09049
			Média dos 10 maiores (infravermelho, NDVI e SAVI) e menores (vermelho) valores de pixel				
Vôo 1a	infravermelho	potencial	$y = 5E-05x^{2,7107}$	31	0,390	0,190	0,00010
	NDVI	potencial	$y = 273,91x^{0,9153}$	31	0,082	0,237	0,11181
	SAVI	linear	$y = 168,94x + 20,887$	31	0,093	0,042	0,16553
	vermelho	potencial	$y = 1177,4x^{-0,5347}$	31	0,017	0,246	0,47784
Vôo 1b	infravermelho	potencial	$y = 3E-06x^{3,2227}$	18	0,360	0,160	0,00650
	NDVI	exponencial	$y = 49,618e^{2,4781x}$	18	0,217	0,180	0,04469
	SAVI	exponencial	$y = 49,918e^{1,6444x}$	18	0,215	0,180	0,04578
	vermelho	potencial	$y = 3269,5x^{-0,743}$	18	0,180	0,184	0,07003

a estar mais relacionada ao vigor das árvores citrícolas jovens da cultivar Hamlin e ao seu potencial produtivo. Whitney et al. (1999) também encontraram relação significativa entre o tamanho de copa das árvores, estimado a partir de sua resposta espectral em fotografias aéreas, e a produtividade ($r = 0,45$; $p = 0,0001$).

No entanto, é importante também considerar que a diferença entre as condições fenológicas das árvores para a produção em 2001 e as condições fenológicas das árvores na época de obtenção das imagens vôo 1a e vôo 1b tenha comprometido melhores relações entre os dados de resposta espectral e a produção levantada em 2001. Afinal, tais imagens foram tomadas após o levantamento da produção em 2001.

Com relação às diferenças existentes entre as relações obtidas com os dados espectrais extraídos das imagens do vôo 1 (a e b) e vôo 2, é possível afirmar que essas diferenças ocorreram devido ao número diferente de graus de liberdade e às diferentes fases fenológicas em que se encontravam as árvores. A despeito dessas diferenças, o maior valor de r^2 das relações obtidas a partir das imagens do vôo 1 (r^2=0,42) foi semelhante ao maior valor de r^2 das relações obtidas a partir da imagem do vôo 2 (r^2=0,46). A diferença foi de 9,52%.

Em geral, os valores de r^2 das relações obtidas a partir dos níveis de cinza na faixa do infravermelho próximo e dos índices de vegetação NDVI e SAVI foram os maiores, como é possível observar-se

TABELA 3 - Resumo das regressões entre dados de resposta espectral extraída da imagem do vôo 2 e produção em 2002.

			Produção em 2002				
Imagem	Tipo de imagem	Função	Equação	G.l.	r^2	Erro-padrão	Valor de p
			Somatório				
Vôo 2	infravermelho	exponencial	$y = 82{,}648e^{6E-0{,}5x}$	50	0,300	0,190	0,00003
	NDVI	potencial	$y = 14{,}909x^{0{,}6372}$	50	0,460	0,170	0,00010
	SAVI	potencial	$y = 9{,}0473x^{0{,}6438}$	50	0,270	0,200	0,94E-08
	vermelho	exponencial	$y = 91{,}972e^{0{,}0003x}$	50	0,202	0,204	0,00093
			Média dos 10 maiores (infravermelho, NDVI e SAVI) e menores (vermelho) valores de pixel				
Vôo 2	infravermelho	potencial	$y = 0{,}0158x^{1{,}7439}$	50	0,210	0,200	0,00063
	NDVI	potencial	$y = 352{,}51x^{2{,}5559}$	50	0,320	0,190	0,00001
	SAVI	potencial	$y = 128{,}83x^{3{,}9032}$	50	0,336	0,186	8,43E-06
	vermelho	potencial	$y = 381{,}93x^{-0{,}3299}$	50	0,022	0,226	0,29822

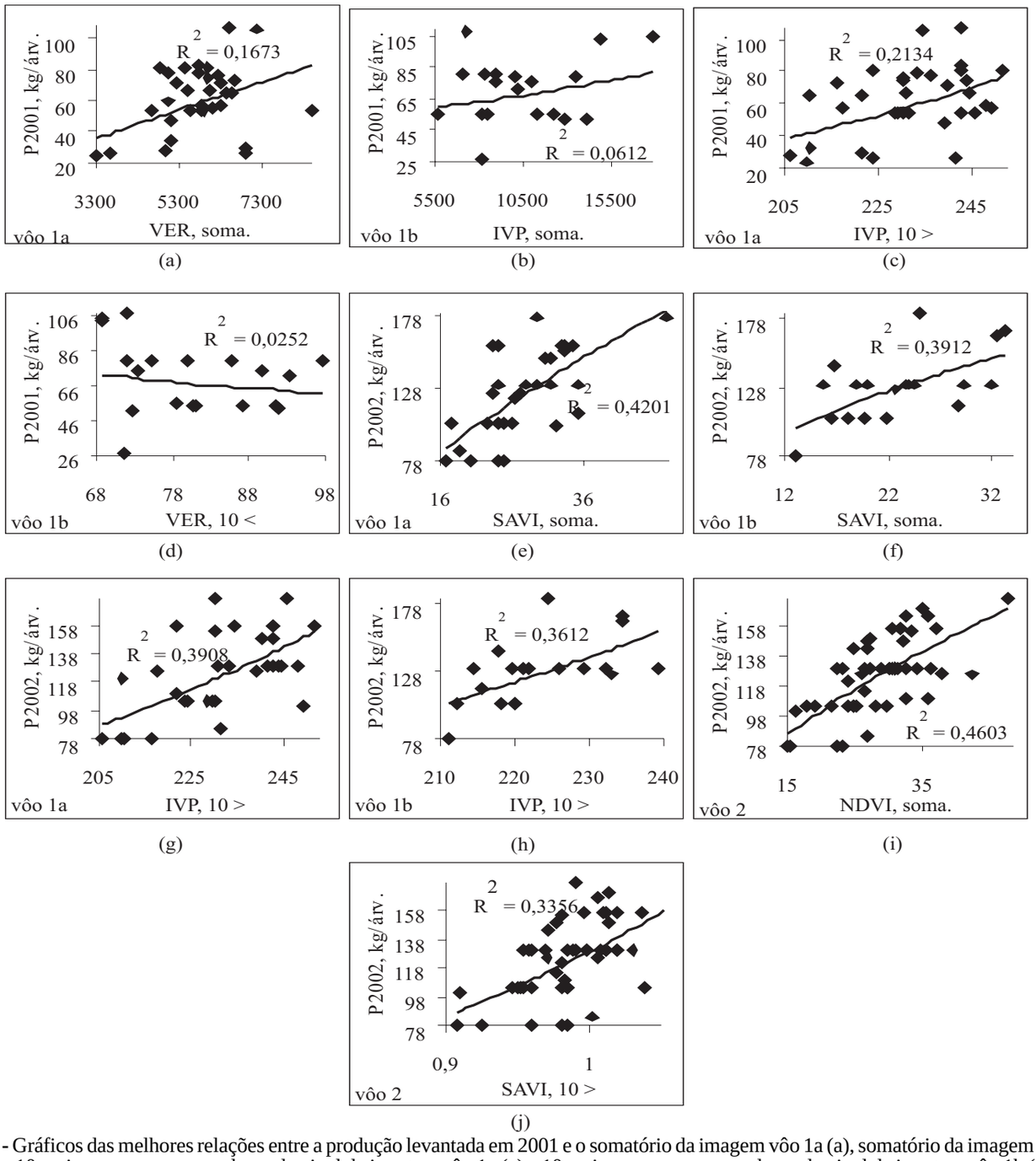

FIGURA 1 - Gráficos das melhores relações entre a produção levantada em 2001 e o somatório da imagem vôo 1a (a), somatório da imagem vôo 1b (b), 10 maiores ou menores valores de pixel da imagem vôo 1a (c) e 10 maiores ou menores valores de pixel da imagem vôo 1b (d) e entre a produção levantada em 2002 e o somatório da imagem vôo 1a (e), somatório da imagem vôo 1b (f), 10 maiores ou menores valores de pixel da imagem vôo 1a (g), 10 maiores ou menores valores de pixel da imagem vôo 1b (h), somatório da imagem vôo 2 (i) e 10 maiores ou menores valores de pixel da imagem vôo 2 (j).

TABELA 4 - Precipitação decenial no período correspondente às fases fenológicas meio do para o final do pré-florescimento, florescimento e início da fixação dos frutos nos ciclos 2000-2001 e 2001-2002.

	Julho			Agosto			Setembro			Outubro		
Ciclo	1º Dec.	2º Dec.	3º Dec.	1º Dec.	2º Dec.	3º Dec.	1º Dec.	2º Dec.	3º Dec.	1º Dec.	2º Dec.	3º Dec.
2000-2001	0	27	25,8	15,4	23,6	41,6	65,6	36,8	0	35,8	33,8	145,2
2001-2002	0	0	2	0	0	69,8	0	82,2	4,8	92,2	14,2	45,6

na Figura 1. Entre os três, o índice de vegetação NDVI foi o que apresentou o maior r^2 (r^2=0,46).

Ao se compararem os valores de r^2 das relações entre a resposta espectral na forma de somatório e a produção com os das relações entre a resposta espectral na forma de média dos 10 maiores valores, no caso da faixa do infravermelho próximo, NDVI e SAVI, e menores, no caso do vermelho, e a produção, observaram-se, em geral, valores maiores de r^2 entre a resposta espectral na forma de somatório e a produção. No entanto, na faixa do infravermelho próximo das imagens vôo 1a e vôo 1b e SAVI da imagem vôo 2, os valores de r^2 entre a resposta espectral na forma de média dos 10 maiores valores e a produção foram superiores. No caso de NDVI da imagem vôo 2, os valores de r^2 foram próximos. A vantagem de se trabalhar com a resposta espectral na forma de média dos 10 maiores ou menores valores, é não precisar identificar todos os pixels que fazem parte da copa da árvore.

Quanto ao tipo de função matemática que melhor se ajustou aos dados de resposta espectral e produção, constatou-se que a função potencial tendeu a expressar melhor a relação entre a resposta espectral e a produção, afinal apresentou, em geral, os melhores resultados de r^2.

Já quanto à explicação dos baixos valores de r^2 encontrados, é possível inferir que tanto problemas espectrais, como aqueles relacionados à própria produção podem ter comprometido melhores resultados. Por exemplo, no caso de problemas espectrais, é possível destacar a variabilidade de iluminação das copas, em função da inclinação solar, e a contribuição variável de sombras, substrato e casca do tronco e dos galhos. No caso de problemas relacionados à própria produção, diferenças hídricas, nutricionais, sanitárias e fisiológicas entre as árvores podem ser destacadas. É pertinente comentar que, nas faixas do espectro eletromagnético avaliadas no presente estudo, dificilmente as diferenças hídricas seriam captadas por completo pelos sensores. Afinal, segundo Guyot (1990), em condições naturais, as plantas precisam sofrer um estresse hídrico extremamente severo para alterar sua resposta nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo. Com relação às diferenças nutricionais e sanitárias, não se pôde inferir se os sensores captaram por completo essas diferenças, assim como as fisiológicas, por exemplo, a alternância de produção.

Os resultados obtidos por Blazquez (1993) e Blazquez et al. (1979 e 1984) indicaram que a resposta espectral na faixa do infravermelho próximo permitiu levantar as condições gerais das árvores (Blazquez, 1993) e o nível de estresse das plantas (Blazquez et al., 1979 e 1984), muito provavelmente, graças mais às diferenças nutricionais e sanitárias, que causam impactos mais permanentes do que hídricas, que tendem a ser mais provisórias em culturas permanentes.

CONCLUSÕES

1. A resposta espectral, na forma de níveis de cinza nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo e dos índices de vegetação NDVI e SAVI, em imagens de alta resolução espacial, apresenta relação significativa com a produção e os valores baixos de r^2 em pomares jovens de laranjeiras Hamlin.
2. O índice de vegetação NDVI é o que melhor expressa a relação entre resposta espectral e produção em pomares jovens de laranjeiras Hamlin baseado em valores de r^2.
3. Para estudos relacionados ao gerenciamento localizado da produção em pomares jovens de laranjeiras Hamlin, a tomada de imagens aéreas multiespectrais, tanto na época anterior como posterior à fase de desenvolvimento vegetativo, apresenta desempenho semelhante quanto às relações entre resposta espectral e produção.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

BLAZQUEZ, C.H. Correlation of densitometric measurements of aerial color infrared photography with visual grades of citrus groves. **Plant Disease**, v.77, n.5, p.477-479, May 1993.

BLAZQUEZ, C.H.; EDWARDS, G.J.; HORN JR., F.W. Aerial color infrared photography – a management tool. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.92, p.13-15, 1979.

BLAZQUEZ, C.H.; EDWARDS, G.J.; MURARO, R.P. The role of maps, aerial photography, and image analysis in citrus grove surveillance and appraisal. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.97, p.69-73, 1984.

BLAZQUEZ, C.H.; ADAIR, R.C.; DENNIS, G.D.; BUTTS, J.; BRADY, D.; WHITTAKER, H.M. Application of aerial photography and videography to citrus tree inventory. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.111, p.173-177, 1998.

CLARK UNIVERSITY. Clark Labs, The Idrisi Project. **IDRISI32**: version I32.11 (software). Worcester: Clark Labs, The Idrisi Project/Clark University, 2000.

DUNCAN TECHNOLOGIES INC. **CameraLink camera control software user's manual** (software). Auburn: Duncan Technologies Inc., 1999a. 33p.

DUNCAN TECHNOLOGIES INC. **MS2100, MS2150 & MS3100 digital multispectral camera user's manual**. Auburn: Duncan Technologies Inc., 1999b. 32p.

GUYOT, G. Optical properties of vegetation canopies. In: STEVEN, M.D.; CLARK, J.A. (Ed.). **Applications of Remote Sensing in Agriculture**. London: Butterworths, 1990. cap.2, p.19-43.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.3, p.295-309, Aug. 1988.

IAFFE, A. **Avaliação da disponibilidade hídrica no solo na produção de laranjas Baianinha e Hamlin em Pindorama, SP**, 1996. 98p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

MARTINS, A.N. **Avaliação de fatores hídricos e térmicos na produção de laranjeiras (*Citrus sinensis* L. Osbeck) "Valência" e "Hamlin"**, 2000. 115p. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

MYERS, V.I. (Ed.) Remote sensing applications in agriculture. In: COLWELL, R.N. (Ed.); ESTES, J.E.; THORLEY, G.A. **Manual of remote sensing:** interpretation and applications. v.2. 2.ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1983. cap.33, p.2111-2228.

VETTORAZZI, C.A.; COUTO, H.T.Z. do; FERRAZ, S.F.B.; POMPERMAYER NETO, P. Videografia aérea como fonte de dados para a tomada de decisões em agricultura. In: BALASTREIRE, L.A. **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil.** Piracicaba: L.A. Balestreire, 2000. p.197-200.

WEEPENER, H.L.; NARCISO, G.; LYON, T. Monitoring citrus plantations with airborne imagery. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., Lake Buona Vista, 2000. **Proceedings**. Ann Arbor: Veridian Erim International, 2000. v.2. p.132-139.

WHITNEY, J.D.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A.; SALYANI, M.; SCHUELLER, J.K. Precision farming applications in Florida citrus. **Applied Engineering in Agriculture**, v.15, n.5, p.399-403, 1999.