



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
BR 060 - Km 09 - Brasília/Anápolis - Caixa Postal 218
CEP 70359-970 - Brasília-DF - Fone: (061) 385-9000
E-mail: cnph@cnph.embrapa.br*

Pesquisa em Andamento Embrapa Hortaliças

Nº 19, dezembro 1998, p.1-6

ISSN 1415-0352

ESTIMATIVA DO RENDIMENTO DO TOMATEIRO USANDO MODELOS ESTATÍSTICOS COM TEORES INICIAIS DE FÓSFORO NO SOLO E NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA

Osmar Alves Carrijo¹
George Hochmuth²

Termos para indexação: Adubação, modelagem, tomate, *Lycopersicon esculentum* (Mill)
Index Terms: Fertilization, modeling, tomato, *Lycopersicon esculentum* (Mill)

RESUMO

O ajuste de algum tipo de modelo (estatístico ou matemático) aos dados de produção é necessário para se estabelecer as ótimas taxas de fertilização das culturas. O objetivo desse trabalho de pesquisa foi comparar e avaliar vários modelos estatísticos (exponencial, quadrático, raiz quadrada, linear com platô e quadrático com platô) na previsão do rendimento do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* (Mill.)) à fertilização fosfatada em solos com diferentes teores iniciais de fósforo.

Oito experimentos de campo foram estabelecidos em solos arenosos do estado da Flórida, USA. Os rendimentos relativos máximos foram 81, 86, 85, 80 e 81% para os modelos exponencial, quadrático, raiz quadrada, linear com platô, e quadrático com platô, respectivamente. No entanto, a taxa efetiva de fósforo no solo, que é a quantidade de fósforo disponível para as plantas, foi 147, 500, 284, 157 e 133 kg·ha⁻¹ respectivamente para cada modelo.

O modelo exponencial seguido do modelo quadrático com platô (QPlat) e linear com platô (LinP) proporcionaram os melhores ajustes da curva de resposta. O efeito do teor inicial de fósforo no solo foi subestimado pelos modelos exponencial, quadrático e raiz quadrada. Para as condições de baixo teor de P no solo, a recomendação de adubação atualmente usado pela Universidade da Flórida para o tomateiro é similar a quantidade prevista pelo modelo LinP, enquanto o modelo QPlat proporcionou uma previsão mais próximo das quantidades atualmente usadas pelos tomaticultores da Flórida.

¹ - Pesquisador da Embrapa Hortaliças - Cx. Postal 218. 70359-970 Brasília-DF. email: carrijo@cnph.embrapa.br

² - Professor, Horticultural Sciences Department. University of Florida, IFAS. Gainesville, FL. 32611-0690

RESUMOS PROVISÓRIOS, SUJEITOS A CONFIRMAÇÃO

INTRODUÇÃO

O rendimento das culturas e sua relação com outros fatores de produção como energia solar, nutrientes e microorganismos do solo têm sido estudados desde tempos remotos. Modelos matemáticos são usados para relacionar o rendimento das culturas com níveis de adubação, mas um fator que não tem tido a importância devida é o nível inicial dos nutrientes no solo. Para uma racional recomendação de adubação é desejável que o nível inicial de nutriente seja incluído no modelo matemático e que seja aditivo as taxas de adubação (Mombiela et al., 1981). Tal metodologia já tinha sido sugerida por Mitscherlich em 1909 e Bray em 1944.

Nutrientes considerados imóveis no solo como P, K, Ca, e Mg se movem a uma velocidade menor que o crescimento das radículas. Estes nutrientes estão normalmente relacionados com o rendimento das culturas por uma expressão exponencial ou quadrática (Melsted e Peck, 1977). Nutrientes móveis, como os nitratos se movem no solo a velocidades maiores que o avanço das radículas, e são relacionados com o rendimento das culturas por uma função linear.

Um dos primeiros autores a usar um modelo matemático para relacionar o rendimento das culturas com recomendações de fertilização em solos com diferentes níveis de fertilidade foi Mitscherlich (1909) que usou um modelo exponencial: Essa equação foi modificada por Bray em 1944 para simplificar o seu uso. Outros modelos matemáticos como os polinomiais (linear, quadrática, ou raiz quadrada) tem sido usados para ajuste de curvas de resposta das culturas aos nutrientes. (Anderson & Nelson, 1971; Bullock & Bullock, 1994; Danhke, 1993; Hochmuth et al., 1993; Mombiela et al., 1981). Recentemente, funções lineares com platô e quadrática com platô foram usadas para nutrientes imóveis no solo (Cerrato & Blackmer, 1990; Dahnke & Olson, 1990; Fageria et al., 1997).

O objetivo deste trabalho foi comparar e avaliar vários modelos para estimar a resposta do tomateiro a diferentes níveis de adubação fosfatada em solos com teores iniciais de P variáveis. Os modelos usados incluem níveis de adubação fosfatada e teores iniciais desse nutriente no solo

MATERIAL E MÉTODOS

Oito experimentos de campo foram estabelecidos para avaliar o efeito do P na cultura do tomateiro. Todos os solos usados eram solos arenosos. Cinco modelos (exponencial, quadrático, raiz quadrada, linear com platô, e quadrático com platô) foram ajustados aos dados de produção do tomateiro para os oito locais, usando o procedimento para regressão não linear (NLIN) descrito em SAS INSTITUTE (1995).

A equação exponencial usada foi a de Mitscherlich-Bray, com a seguinte configuração,

$$Y = A * (1 - e^{-c * (d + P)})$$

onde: Y é o rendimento relativo estimado para cada local usando a relação ($Y/Y_{max} * 100$). A é o máximo rendimento quando os outros fatores de produção não são deficientes. P é a adubação fosfatada em $kg \cdot ha^{-1}$; c é um coeficiente exponencial; e d é função do teor de P no solo (T) medido pela análise do solo em $mg \cdot kg^{-1}$ definido por: $d = f(T) = b_0 + b_1 * T$; as variáveis b_0 e b_1 são coeficientes de regressão lineares.

Modificações das equações quadráticas e raiz quadrada sugeridas por Anderson e Nelson (1971) e Mombiola et al. (1981) foram usadas para incluir o fator d , e são:

$$Y = A_1 \cdot (X + d) + A_2 \cdot (P + d)^2, \text{ e}$$

$$Y = A_1 \cdot (X + d) + A_3 \cdot (P + d)^{1/2},$$

onde A_1 , A_2 e A_3 são coeficientes de regressão linear, quadrático, e raiz quadrada, respectivamente. O modelo linear com platô:

$$Y = A_1 \cdot (P + d) \quad \text{se } (P + d) \leq X_0, \text{ e}$$

$$Y = A_1 \cdot (X_0) \quad \text{se } (P + d) > X_0.$$

O modelo quadrático com platô:

$$Y = A_1 \cdot (P + d) + A_2 \cdot (P + d)^2 \quad \text{se } (P + d) \leq X_0, \text{ e}$$

$$Y = A_1 \cdot (X_0) + A_2 \cdot (X_0)^2 \quad \text{se } (P + d) > X_0.$$

A variável X_0 é o nível crítico de P total efetivamente disponível para as plantas, na interseção da linha reta do platô com as funções linear e quadrática respectivamente.

Rendimentos máximos no modelo exponencial só são encontrados quando a taxa de P efetivo no solo ($P + d$) está no infinito (Barreto & Westerman, 1987; Cerrato & Blackmer, 1990), portanto foi considerado neste trabalho que o rendimento máximo seria 99% do máximo potencial. O rendimento máximo nos modelos quadráticos e raiz quadrada foram obtidos calculando a primeira derivada, igualando a zero e solucionando para $(P + d)$. O valor encontrado foi então substituído nas respectivas equações de resposta e solucionado para Y . Os rendimentos no platô foram considerados os máximos para os modelos linear com platô e quadrático com platô.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total de P efetivo (TEP) é uma função do resultado da análise do solo e do nível de adubação [$TEP = f(T) + P$], e pode ser definido como sendo o total de P disponível para as plantas oriundos do teor original de P no solo e do P adicionado pela adubação. Como $f(T) = d$, então a fórmula para estimar TEP é $TEP = b_0 + b_1 \cdot T + P$.

Os resíduos em todos os modelos tiveram uma distribuição normal e houve um melhor ajuste dos dados pelo modelo exponencial (Mitscherlich-Bray) seguido pelos modelos quadrático com platô e linear com platô, como mostrou o menor erro padrão dos resíduos e conseqüentemente pelo menor intervalo de confiança (Tabela 1). Baseado no coeficiente de determinação (R^2) nenhum dos modelos explicou mais que 27% da variação total, mas segundo Cerrato & Blackmer (1990) o R^2 não é um bom critério para selecionar um modelo para estimar a ótima taxa de fertilização com nitrogênio. Portanto outros critérios devem ser procurados para escolher o modelo para otimização da aplicação de fertilizantes.

Rendimento relativo máximo de 80,9% foi previsto com o modelo exponencial com 147 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P efetivo total (TEP) no solo. O modelo quadrático previu um rendimento máximo de 85,6% com uma TEP de 500 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. O modelo raiz quadrada previu um rendimento máximo de 84,5% com uma TEP 284 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. O modelo linear com platô previu um rendimento máximo de 80,4% como uma TEP de 157 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e o modelo quadrático com platô 80,8% e uma TEP de 133 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. A diferença (5,2%) entre os rendimentos relativos previstos pelos cinco modelos não é muito grande, no entanto as TEPs diferem bastante entre si. Estes resultados sugerem que a previsão da TEP é altamente variável com o modelo usado, o que concorda com os resultados

obtidos por Anderson e Nelson (1971). Portanto a TEP por si só, não é de muito valor nos estudo de nutrição de plantas, mas ela deve ser considerada juntamente com o teor original de P no solo e o nível de adubação.

Tab. 1. Análise de Resíduos da taxa de aplicação e o teor inicial de P no solo sobre o rendimento relativo do tomateiro.

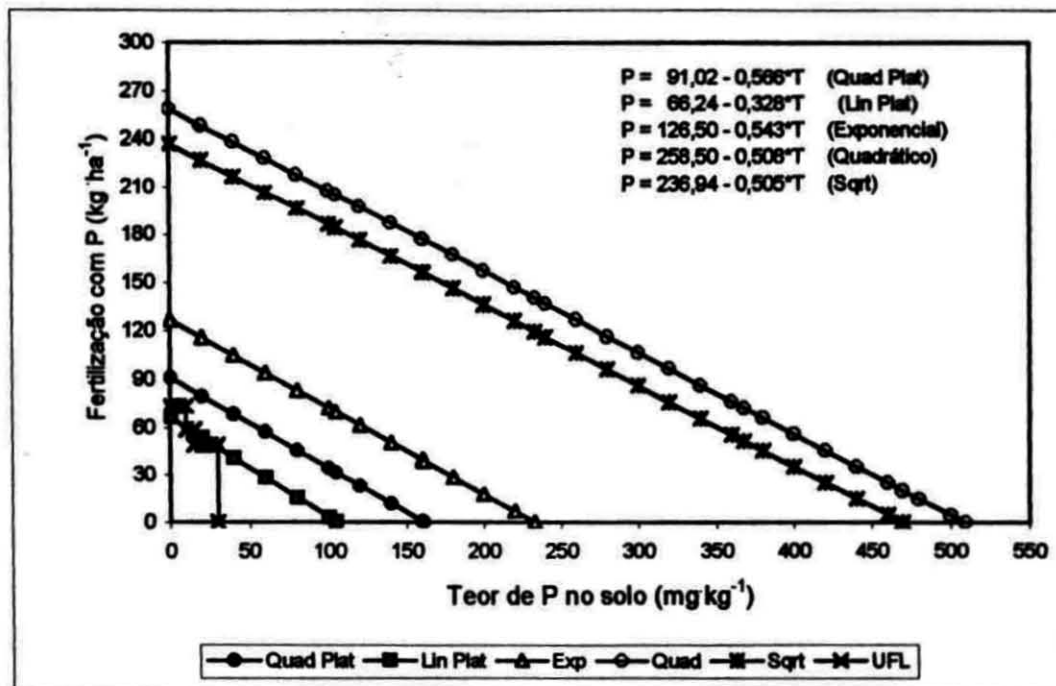
Parâmetro Estatístico	Modelos Estatísticos Usados				
	Quadrát.	Exponenc.	Raiz quadrada	Linear Platô	Quadrát. Platô
Média	-0,089	-0,079	-0,067	-0,086	-0,088
Erro Padrão	0,772	0,742	0,761	0,760	0,752
Variância	130,111	120,241	126,081	125,839	123,383
Kurtosis	-0,176	-0,495	-0,425	-0,540	-0,520
Skewness	-0,370	-0,281	-0,304	-0,231	-0,258
Valor Mínimo	-37,644	-26,795	-30,971	-26,811	-27,136
Valor Máximo	26,534	22,495	25,783	19,572	20,289
R ²	0,201	0,262	0,227	0,226	0,242

A quantidade de adubação com fósforo (P) baseado no teor original desse elemento no solo (T) pode ser calculada para cada modelo usando as equações que definem esses modelos, a equação que estima a TEP e os coeficientes obtidos por uma regressão não linear (NLIN). Ao se usar este procedimento, foram encontradas as seguintes equações:

$$\begin{aligned}
 P_e &= 126,5 - 0,543 * T && \text{(modelo exponencial)} \\
 P_q &= 258,6 - 0,508 * T && \text{(modelo quadrático)} \\
 P_{rq} &= 236,9 - 0,505 * T && \text{(modelo raiz quadrada)} \\
 P_{LP} &= 66,2 - 0,633 * T && \text{(modelo linear com platô)} \\
 P_{QP} &= 91,0 - 0,566 * T && \text{(modelo quadrático com platô)}
 \end{aligned}$$

As equações encontradas foram utilizadas para calcular a quantidade de adubação fosfatada necessária em função do teor inicial de P no solo medidos pela análise do solo usando o método Mehlich-1 (Fig. 1). O modelo exponencial subestimou o efeito do teor inicial de P no solo comparado ao modelo linear com platô, quadrático com platô e a recomendação de adubação da Universidade da Flórida.

Figura 1. Relação entre níveis de fertilização com P (kg ha^{-1}) e teores iniciais de P no solo estimado pelo teste Mehlich-1 (mg kg^{-1}) para maximizar o rendimento do tomateiro.



Os resultados preliminares mostraram que os modelos com platô, linear e quadrático proporcionaram os melhores ajustes da curva de resposta e que são mais sensíveis às variações no teor inicial de P no solo do que os outros modelos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, R.L.; NELSON, L.A. Some problems in the estimation of single nutrient response functions. *Bulletin International Statistical Institute*, v.44, v.1, p.203-226, 1971.
- BARRETO, H.J.; WESTERMAN, R.L. YIELDFIT: a computer program for determining economic fertilization rates. *Journal of Agronomic Education*, v.16, p.11-14, 1987.
- BRAY, R.H. Soil-plant relations. I. The quantitative relation of exchangeable potassium to crop yields and to crop response to potash additions. *Soil and Science*, v.58, p.305-324, 1944.
- BULLOCK, D.G.; BULLOCK D.S. Quadratic and quadratic-plus-plateau models for predicting optimal nitrogen rate of corn: a comparison. *Agronomy Journal*, v.86, p.191-195, 1994.
- CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. Comparison of models for describing corn yields response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, v.82, p.138-143, 1990.
- DAHNIKE, W.C. Soil test interpretation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.24, n.1/2, p.11-17, 1993.
- DAHNIKE, W.C.; OLSON R.A. Soil test correlation, calibration, and recommendation. In: WESTERMAN, R.L., ed. *Soil testing and plant analysis*. 3.ed. Madison: SSSA, 1990. p.45-71.
- FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; BALIGAR C. Phosphorus soil test calibration for lowland rice on an inceptsol. *Agronomy Journal*, v.89, p.737-742, 1997.

HOCHMUTH, G.J.; HANLON, E.; HOCHMUTH, B.; KIDDER, G.; HENSEL, D. Field fertility research with P and K for vegetable-interpretations and recommendations. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, v.52, p.95-101, 1993.

MELSTED, S.W; PECK T.R. **Soil testing: correlating and interpreting the analytical results**. Madison: ASA, 1977. p.1-18. (ASA. Special Publication, 29).

MITSCHERLICH, E.A. Das gesetz des minimus und das gesetz des abnehmenden bodenertrages. **Landwirtschaftliche Jahrbuecher**, v.38, p.537-552, 1909.

MOMBIELA, F.; NICHOLAIDES, J.J. III; NELSON, L.A. A method to determine the appropriate mathematical form for incorporating soil test levels in fertilizer response models for recommendation purposes. **Agronomy Journal**, v.73, p.937-941, 1981.

SAS INSTITUTE (Cary, N.C.). **SAS user's guide: statistics**. 5.ed. Cary, 1985. 956p.

Tiragem: 70 exemplares

Produção editorial:

ACE - Área de Comunicação Empresarial

Impressão:

SSA - Setor de Serviços Auxiliares
