

# MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR E NÃO-LINEAR PARA DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DO PLANO EM SISTEMATIZAÇÃO DE TERRAS<sup>1</sup>

João Carlos Cury SAAD<sup>2</sup>

**RESUMO:** Esta pesquisa teve por objetivo comparar o desempenho, em termos de volume de terra movimentada, de modelos de Programação Linear e Não-Linear que fornecem a equação do plano para sistematização de áreas irregulares, tomando como referência o Método dos Quadrados Mínimos Generalizado (Scaloppi & Willardson, 1986).

**PALAVRAS-CHAVE:** sistematização, programação não-linear, programação linear

**ABSTRACT:** The purpose of this paper was evaluate the volume of earth work using least square method (Scaloppi & Willardson, 1986), linear and nonlinear programming models. The results showed that least square method and nonlinear programming model provided the same values of cut volume. This volume was 4% higher in linear programming model.

**KEYWORDS:** Land grading, nonlinear programming, linear programming

**INTRODUÇÃO:** A sistematização de terras é uma prática fundamental para a obtenção de sistemas eficientes de irrigação e drenagem superficiais. A modificação da microtopografia original para aquela determinada pela sistematização é feita por meio de cortes e de aterros, utilizando-se máquinas de grande porte. Quanto maior a movimentação de terra, maior o custo da operação de sistematização. Portanto, a definição do plano que resulta em menor movimentação de terra é uma forma de diminuir o custo desta técnica e, conseqüentemente, dos sistemas de irrigação e de drenagem superficiais que dela necessitam.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Todos os modelos avaliados neste trabalho fornecem a equação do plano, cuja forma geral é dada por  $h(x,y) = a + b \cdot x + c \cdot y$ , sendo  $h(x,y)$  = cota calculada do ponto identificado pelas coordenadas  $x$  e  $y$ , em m ;  $a$  = cota do ponto de origem do plano, em m ;  $b$ ,  $c$  = inclinação do plano nas direções coordenadas  $x$  e  $y$ , respectivamente, em m/estaca. O método dos quadrados mínimos generalizado foi desenvolvido por Scaloppi & Willardson (1986), tendo por base o procedimento de ajustamento de retas de mesmo nome. O modelo de Programação Linear segue, basicamente, a formulação proposta por Sowell (1973), sendo que a função-objetivo visa a minimização do somatório das alturas de corte. Por sua vez, o modelo de programação não-linear visa a minimização do somatório dos volumes de corte,

---

<sup>1</sup> Parte de projeto de pesquisa financiado pela FAPESP.

<sup>2</sup> Prof. Assistente Doutor, Departamento de Engenharia Rural, FCA - Câmpus de Botucatu - UNESP, Caixa Postal 237, CEP: 18603-970, Botucatu, SP, Fone: (014) 8213883, Fax (014) 8213438.

calculados pelo método dos quatro pontos (Estados Unidos, 1959). Para ilustrar a aplicação dos métodos citados, utilizou-se uma área de formato irregular, medindo 1,8ha , extraída de Scaloppi & Willardson (1986). Os modelos de pesquisa operacional foram resolvidos utilizando o programa computacional “GAMS”.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A equação do plano gerada pelo método dos quadrados mínimos generalizado foi  $h(x,y) = 2,2276 - 0,0032.x - 0,2433.y$  , com  $h(x,y)$  em m e demais coeficientes em m/estaca. O modelo de programação linear resultou na equação  $h(x,y) = 2,253 - 0,251 . y$  , ou seja, a superfície está em nível na direção coordenada x. Por último, o modelo de programação não-linear gerou  $h(x,y) = 2,218 - 0,003.x - 0,2431.y$ . Em todos os casos, as equações correspondem a uma relação corte/aterro igual a 1,3, com base no método dos quatro pontos. Os valores de volume total de corte e de aterro obtidos para cada um dos métodos avaliados encontram-se na Tabela 1. Verifica-se que os valores de volume de corte e de aterro foram os mesmos para o método dos quadrados mínimos generalizado e para o modelo de programação não-linear de minimização dos volumes de corte. Por sua vez, o modelo de programação linear gerou uma maior movimentação de terras em relação aos outros dois métodos, da ordem de 4% para o volume total de corte e de 3% para o volume total de aterro. O método dos quadrados mínimos tem como principal vantagem a praticidade de execução, podendo ser implementado até mesmo em calculadoras científicas. Porém, para que se obtenha as alturas de corte e de aterro correspondentes à relação corte/aterro desejada, utilizando o método dos quatro pontos para estimativa dos volumes, há necessidade de um processo por tentativas. No modelo de programação não-linear, este procedimento por tentativas é dispensado uma vez que o sistema de equações trabalha com volumes de corte estimados pelo método dos quatro pontos, permitindo a obtenção direta das alturas de corte e aterro para a relação corte/aterro recomendada. Porém, os recursos necessários para sua utilização são mais restritivos pois envolvem microcomputador e um “software” com capacidade de resolução de sistemas de equações não-lineares.

**CONCLUSÕES:** Adotando como referencial o método dos quadrados mínimos, verificou-se que o modelo de programação não-linear para minimização dos volumes de corte apresentou resultados semelhantes e que o modelo de programação linear gerou valores superiores de volumes totais de corte e de aterro. Recomenda-se, para uso mais generalizado, o método dos quadrados mínimos para a obtenção da equação do plano, em função de sua praticidade e precisão. Em condições mais específicas, havendo os recursos computacionais necessários, pode-se utilizar o modelo de programação não-linear para minimização do somatório dos volumes de corte.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Land leveling**. Washington, USDA/Soil Conservation Service, 1959. 59p. (National Engineering Handbook. Section 15: Irrigation, 12).

SCALOPPI, E.J. & WILLARDSON, L.S. Practical land grading based upon least squares. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, **112(2):98-109**. 1986.

SOWELL, R.S. ; SHIH, S.F. ; KRIZ, G.J. Land forming design by linear programming. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **16(2)**:296-301. 1973.

Tabela 1 - Valores dos somatórios dos volumes de corte e de aterro e da relação corte/aterro para o Método dos Quadrados Mínimos Generalizado, para o Modelo de Programação Linear e para o Modelo de Programação Não-Linear.

Variável	Método dos Quadrados Mínimos	Modelo de Programação Linear	Modelo de Programação Não-Linear
Somatório dos volumes de corte (m <sup>3</sup> )	520	541	520
Somatório dos volumes de aterro (m <sup>3</sup> )	403	416	404
Relação corte/aterro	1,3	1,3	1,3