

SISTEMATIZAÇÃO DE TERRAS PARA IRRIGAÇÃO EM ÁREAS IRREGULARES UTILIZANDO MODELOS DE PROGRAMAÇÃO NÃO-LINEAR

GUILHERME. A. BISCARO¹, JOÃO C. C. SAAD², ALESSANDRA C. DE OLIVEIRA³,
LEANDRO Q. C. DE ALBUQUERQUE⁴

¹ Eng^o. Agrícola, Prof. Adjunto, Unidade Universitária de Cassilândia, UEMS, Cassilândia - MS, Fone (0XX67) 3596-2021, gbiscaro@uems.br

² Eng^o. Agrônomo, Prof. Livre Docente, Depto. de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Botucatu - SP.

^{3,4} Graduando em Agronomia, Unidade Universitária de Cassilândia, UEMS, Cassilândia - MS

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa – PB

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos de programação não-linear para sistematização de terras, aplicáveis para áreas com formato irregular e que minimizem a movimentação de terra. O software GAMS foi utilizado para o cálculo. Estes modelos foram comparados com o Método dos Quadrados Mínimos Generalizados desenvolvido por Scaloppi & Willardson (1986), sendo que o parâmetro de avaliação foi o volume de terra movimentado. Concluiu-se que ambos os modelos de programação não-linear desenvolvidos nesta pesquisa mostraram-se adequados para aplicação em áreas irregulares e forneceram menores valores de movimentação de terra quando comparados com o método dos quadrados mínimos.

PALAVRAS-CHAVE: programação não-linear, áreas irregulares, sistematização

LAND GRADING FOR IRRIGATION IN AREAS WITH IRREGULAR FORMAT USING NON-LINEAL PROGRAMMING MODELS

ABSTRACT: This research had as objective to develop non-lineal programming models for land grading, applicable for areas with irregular format and that minimize the land movement. Software GAMS was used for the calculation. These models were compared to the Method of the Generalized Minimum Squares, developed by Scaloppi & Willardson (1986), having as evaluation parameter the moved land volume. The conclusions is that the models of no-lineal programming developed in this research, were shown appropriate for application in irregular areas and supplied smaller values of land movement when compared to the method of the minimum squares.

KEY WORDS: non-lineal programming, irregular areas, land granding.

INTRODUÇÃO: A Programação Linear é a técnica de pesquisa operacional mais utilizada nos problemas de otimização, em decorrência de sua versatilidade e do fato de aplicar fundamentos matemáticos pouco sofisticados, ou seja, a análise e resolução de sistemas de equações lineares (LANZER, 1988). Os cinco principais métodos de estimativa dos volumes de corte e de aterro em sistematização de terras são: prismoidal, das áreas médias, dos quatro pontos, dos planos horizontais, e do somatório. Scaloppi (1986) avaliou estes métodos em termos de suas bases teóricas, exigências computacionais, precisão de resultados e aplicações. Os resultados obtidos pelo método prismoidal e pelo método das áreas médias foram semelhantes, sendo que este último foi assumido como o mais

preciso em função de sua base teórica. Desvios significativos foram observados nos métodos dos planos horizontais e do somatório. Por sua vez, o método dos quatro pontos apresentou variações pouco significativas em relação ao mais preciso (das áreas médias), sendo o procedimento de cálculo recomendado pelo autor em função de sua precisão, rapidez e simplicidade.

O Método do Somatório, embora não tenha precisão satisfatória, tem sido muito empregado nos modelos de sistematização utilizando programação linear. Ele assume como hipótese básica que todas as alturas de corte ou de aterro representam áreas idênticas, definidas pelo espaçamento regular adotado entre as estacas. Tal premissa resulta em superestimativa dos volumes de corte e aterro, uma vez que a existência de estacas adjacentes indicando grandes variações entre os valores absolutos de cortes e de aterros compromete a veracidade da hipótese básica do método (SCALOPPI, 1986).

Neste trabalho, foi definido um valor de R para o caso dos volumes de corte e de aterro estimados pelo método do somatório, simbolizado por R_s , e um outro valor de relação corte/aterro para o caso dos volumes calculados pelo método dos quatro pontos, simbolizada, por sua vez, por R_4 .

MATERIAL E MÉTODOS: Neste trabalho utilizaram-se os seguintes métodos de cálculo de sistematização: o modelo de programação não-linear utilizando metodologia de Hamad & Ali (1990) modificada com $R_s=1$; o modelo de programação não-linear utilizando metodologia de Hamad & Ali (1990) modificada com $R_s>1$ e o Método dos Quadrados Mínimos Generalizado de Scaloppi & Willardson (1986), que foi utilizado para avaliar os modelos de pesquisa operacionais adaptados e desenvolvidos neste trabalho.

O método dos quadrados mínimos generalizado pode ser aplicado tanto em áreas de formato regular como em áreas de formato irregular. Este método define os coeficientes a , b e c da equação do plano de tal forma que o somatório das alturas de corte seja igual ao somatório das alturas de aterro, o que resulta em $R_s = 1$. Obtidos os valores corrigidos de altura de corte, de aterro ou nula em cada uma das estacas, parte-se para o cálculo dos volumes de corte e aterro. Para que se tenha uma precisão adequada na estimativa destes volumes, foi escolhido o método dos quatro pontos com base em estudo comparativo entre as metodologias disponíveis realizado por Scaloppi (1986). Uma vez que as alturas de corte e aterro inicial foram corrigidas, a relação corte/aterro obtida pelo método dos quatro pontos estará superestimada, em relação ao valor desejado.

O modelo proposto por Hamad & Ali (1990) para sistematização de terras permite a obtenção de conformações côncavas, convexas ou lineares do perfil do terreno, conforme os valores atribuídos aos coeficientes da equação: $Z_{x,y} = a + b \cdot x^r + c \cdot y^s$. A declividade em qualquer estaca nas direções x e y , respectivamente, não será superior ao valor máximo estipulado e nem inferior ao valor mínimo necessário para que haja drenagem superficial. O conjunto de equações proposto por Hamad & Ali (1990) não considera a relação corte/aterro. Neste estudo, foram propostas duas novas versões deste modelo. No modelo de programação não-linear de Hamad & Ali (1990) modificada com $R_s=1$, conforme recomendação de Brooke et al., (1992), evitou-se o uso da função valor absoluto na função-objetivo a fim que os problemas de programação não-linear possam ser solucionados pelo programa computacional "GAMS".

No modelo de programação não linear de Hamad & Ali (1990) modificada com $R_s>1$, ocorre uma formulação mais abrangente que a anterior, uma vez que permite solucionar o problema para qualquer valor maior que 1 de relação corte/aterro (R_s). Por tentativas, também, é o processo que visa obter as alturas de corte e aterro que correspondam à relação corte/aterro desejada, com base no método dos quatro pontos. Isto é feito reduzindo-se o valor de R_s e, com as alturas de corte e aterro resultantes, estimando-se o valor de R_4 . O processo é finalizado quando se obtém o valor esperado de R_4 (neste caso, 1,3).

Para avaliar os modelos existentes e os modelos propostos foi selecionada uma área de formato irregular, com 1,8 ha, com espaçamento entre estacas de 20m x 20m, retirada de Scaloppi (1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O Método dos Quadrados Mínimos resultou na seguinte equação final do plano, em metros: $h(x,y) = 2,2276 - 0,0032x - 0,2433y$. Novamente, houve necessidade de um processo por tentativas que identificou como sendo 1,21 o valor de R_s que corresponde ao valor desejado de R_4 ($R_4=1,3$).

O Quadro 1 apresenta os somatórios dos volumes e alturas de corte e aterro e a relação corte/aterro com base no método dos quatro pontos (R_4) e no método do somatório (R_s).

Quadro 1. Somatórios dos volumes e alturas de corte e aterro e a relação corte/aterro.

<i>Variável</i>	<i>Unidade</i>	<i>Método dos Quadrados Mínimos</i>
Σ vol. de corte	m^3	520
Σ vol. de aterro	m^3	403
R_4	--	1,3
Σ alturas de corte	cm	1,60
Σ alturas de aterro	cm	1,31
R_s	--	1,22

No modelo de programação não-linear de Hamad & Ali [3] modificada com $R_s = 1$, a equação final da superfície sistematizada obtida por este modelo, com $Z_{x,y}$ em metros, é dada por: $Z_{x,y} = 2,301 + 5,036.10^{-6} x^5 + 0,297y^{0,915}$. O rebaixamento requerido para a relação corte/aterro fosse de 1,3, com base no método dos quatro pontos, foi de 0,6cm, para $R_s=1,22$. O Quadro 2 apresenta os somatórios dos volumes e alturas de corte e aterro e a relação corte/aterro com base no método dos quatro pontos (R_4) e no método do somatório (R_s).

Quadro 2. Somatórios dos volumes e alturas de corte e aterro e a relação corte/aterro

<i>Variável</i>	<i>Unidade</i>	<i>Hamad & Ali [3] modificada</i> <i>$R_s=1$</i>
Σ vol. de corte	m^3	461
Σ vol. de aterro	m^3	357
R_4	--	1,3
Σ alturas de corte	cm	1,408
Σ alturas de aterro	cm	1,154
R_s	--	1,22

No Modelo de programação não-linear de Hamad & Ali modificada com $R_s > 1$, a equação final da superfície sistematizada obtida por este modelo, com $Z_{x,y}$ em metros, é dada por: $Z_{x,y} = 2,327 - 4,781.10^{-6} x^5 - 0,317y^{0,888}$. O valor de R_s que resultou em uma relação corte/aterro de 1,3, com base no método dos quatro pontos, foi de 1,22. O Quadro 3 apresenta os somatórios dos volumes e alturas de corte e aterro e a relação corte/aterro com base no método dos quatro pontos (R_4) e no método do somatório (R_s).

Quadro 3. Somatórios dos volumes e alturas de corte e aterro e a relação corte/aterro.

<i>Variável</i>	<i>Unidade</i>	<i>Hamad & Ali [3] modificada</i> <i>$R_s > 1$</i>
Σ vol. de corte	m^3	461
Σ vol. de aterro	m^3	357
R_4	--	1,3
Σ alturas de corte	cm	1,419
Σ alturas de aterro	cm	1,163
R_s	--	1,22

Os modelos que fornecem a equação da superfície sistematizada com expoentes das variáveis x e y podendo assumir valores diferentes de 1 foram aqueles que resultaram em menor movimentação de terra, ou seja, em menor volume de corte (e de aterro). Porém, neste caso, não houve diferenciação de desempenho entre os dois modelos de programação não-linear utilizando a metodologia de Hamad & Ali [3] modificada.

Os modelos que utilizam a metodologia de Hamad & Ali [3] modificada, com $R_s = 1$ e com $R_s > 1$, apresentaram resultados idênticos em termos de volume total de corte, sendo este valor 11,3% menor que aquele fornecido pelo método dos quadrados mínimos.

Verificou-se que os modelos que possibilitam que a superfície sistematizada assuma perfis que não sejam lineares (expoentes diferentes de 1 para as variáveis x e y) resultam em menores valores de volume de terra movimentada, quando comparado ao método que sempre fornece a equação do plano (perfil linear nas duas direções; expoentes de x e y iguais a 1).

O modelo que utiliza a metodologia de Hamad & Ali modificada gerou, na direção x um perfil côncavo ao definir como sendo 5 o valor do expoente da variável x . Por sua vez, na direção y o perfil foi suavemente convexo, pois o expoente da variável y esteve próximo a 0,9.

CONCLUSÕES: Os modelos de programação não-linear, adaptados e desenvolvidos neste trabalho, mostraram-se adequados para aplicação em áreas irregulares; verificou-se que ambos os modelos de programação não-linear utilizando a metodologia de Hamad & Ali (1990) modificada forneceram menores valores de movimentação de terra quando comparados com o método dos quadrados mínimos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. **GAMS: a user's guide**. Redwood City, The Scientific Press, 1992. 289p.
- HAMAD, S.N. & ALI, A.M. Land-grading design by using nonlinear programming. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, **116**(2):219-26. 1990.
- LANZER, E. A. **Programação linear; conceitos e aplicações**. 2.ed. Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1988. 270p.
- SCALOPPI, E. J. Comparação de métodos para estimativa dos volumes de cortes e aterros em sistematização. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7., Brasília, 1986. **Anais**. Brasília, ABID, 1986. v.3, p.1101-1117.
- 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.