

# DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SELECIONAR, ECONOMICAMENTE, UM SISTEMA DE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA<sup>1</sup>

JOSÉ DERMEVAL SARAIVA LOPES<sup>2</sup>, EVANDRO CHARTUNI MANTOVANI<sup>3</sup>, FRANCISCO DE ASSIS CARVALHO PINTO<sup>4</sup> e DANIEL MARÇAL DE QUEIROZ<sup>5</sup>

**RESUMO** - Desenvolveu-se, no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, da EMBRAPA, em Sete Lagoas, MG, um programa computacional para selecionar um sistema de mecanização agrícola (SOMA), visando atender às exigências técnicas e econômicas de uma propriedade agrícola. O programa foi desenvolvido em Pascal, com base no modelo apresentado por Hunt (1977), e a sua viabilidade foi testada em função de dados reais obtidos em sedes de propriedades agrícolas da região de Ituiutaba, Minas Gerais. O programa SOMA apresentou resultados satisfatórios, nas condições em que foi testado, mesmo utilizando parâmetros para condições diferentes daquelas da agricultura no Brasil. Constituiu-se, portanto, em ferramenta de grande utilidade na seleção do sistema de mecanização agrícola. Concluiu-se que os resultados fornecidos pelo programa minimizaram o custo operacional e atenderam às exigências técnicas impostas pelas propriedades agrícolas.

Termos para indexação: seleção de máquinas, custo operacional.

## A COMPUTER PROGRAM DEVELOPMENT FOR FARM MACHINERY SYSTEM ECONOMICS SELECTION

**ABSTRACT** - A Pascal Computer Program (SOMA) was developed at the National Mayse and Sorghum Research Center, EMBRAPA, in Sete Lagoas, MG, Brazil, with the objective of making decisions on selection of farm machinery and equipments, based on its technical and economical requirements. This program is working according to Hunt's model (1977) and its feasibility was tested using data from seven farms of Ituiutaba, Minas Gerais. According to the results, the computer program worked very well, minimizing the operational costs and also, giving technical support for the farmer decisions. The SOMA program showed good results, on the conditions it was tested, even making use of parameters for different conditions from those of the Brazilian agriculture. These results shown in this program can be used as a good help to the farmers on the selection of the agricultural mecanization system.

Index terms: operational costs, equipment selection.

## INTRODUÇÃO

A introdução das máquinas tratoras no sistema de produção agrícola contribuiu sensivelmente como agente multiplicador do trabalho do homem, ou seja,

a ação do homem no sistema foi ampliada pela troca crescente por operações mecanizadas de alto conteúdo energético (kw.h/ha) (Silveira, 1987). Ao substituir a fonte de potência humana por máquinas tratoras, segundo Priebe (1966), elevou-se a produtividade do trabalho até mais de cem vezes. Assim, pode-se dizer que a mecanização dos processos de produção é o principal meio para elevar a produtividade do trabalho na agricultura. Amplos conhecimentos sobre o processo, no entanto, tornam-se necessários, visando racionalizar a utilização efetiva das máquinas agrícolas. A seleção adequada dos equipamentos agrícolas é um deles e constitui tare-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 7 de fevereiro de 1995.

<sup>2</sup> Eng. Agríc., Mestrando em Engen. Agríc./UFV, CEP 36570-000 Voçosa, MG.

<sup>3</sup> Eng. Agr. Ph.D. EMBRAPA/CNPMS CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG.

<sup>4</sup> Eng. Agr. Prof. Dep. de Engen. Agríc./UFV.

<sup>5</sup> Eng. Agr. Prof. Assistente - DEA/UFV

fa difícil devido à grande variedade existente no mercado e aos diversos fatores que influenciam a sua utilização, como, por exemplo, incertezas quanto às condições climáticas e às de solo, tipo de colheita e rotações de culturas, práticas culturais e forma de manejo das máquinas.

Segundo Mialhe (1974), o objetivo básico no processo de seleção é identificar, no mercado, as máquinas que têm a possibilidade de executar eficientemente as operações requeridas pelo programa de produção da empresa agropecuária. O autor cita, ainda, que a seleção de máquinas agrícolas consiste num processo metódico de escolha de equipamentos, que possam desenvolver o máximo de rendimento útil com um mínimo de dispêndio, quando colocados em condições impostas pelo programa de produção.

O método convencional é o mais utilizado na seleção de máquinas agrícolas e se baseia na eficiência de campo das máquinas. Esse método permite selecionar um sistema de mecanização agrícola tecnicamente viável, cujos custos serão obtidos em função do sistema selecionado.

Hunt (1977) indica, como critério básico de seleção de máquinas agrícolas, a minimização do seu custo anual de utilização. Com esta finalidade, o autor desenvolveu equações para calcular as medidas ótimas da largura dos implementos, da potência dos tratores, da largura do cilindro trilhador das colhedoras combinadas automotrizes e da capacidade dos secadores. As equações foram desenvolvidas tendo por base a capacidade de trabalho e o custo operacional.

Capacidade de trabalho: refere-se à quantidade de trabalho realizado por unidade de tempo e pode ser determinada pela seguinte equação:

$$C_{ct} = \frac{\ell \cdot v}{10} \quad (01)$$

onde:

$C_{ct}$  = capacidade teórica de trabalho (ha/h);

$\ell$  = largura nominal de trabalho da máquina (m);

$v$  = velocidade de trabalho da máquina (km/h).

Para esse valor representar a situação prática real, seria necessário que, durante o tempo de operação,

a máquina estivesse continuamente realizando trabalho, utilizando o máximo de sua capacidade. Entretanto, ocorrem inevitáveis perdas de tempo com manobras, abastecimento, descanso do operador, problemas mecânicos, etc., que resultam em redução no rendimento teórico da máquina, ou seja, na capacidade efetiva de trabalho, obtida pela seguinte equação:

$$C_{ce} = \frac{A_t}{T_t} \quad (02)$$

onde:

$C_{ce}$  = capacidade efetiva de trabalho (ha/h);

$A_t$  = área de utilização (ha);

$T_t$  = tempo total necessário para trabalhar a área ( $A_t, h$ ).

Dessa forma, pode-se estimar a eficiência de campo da máquina pela relação entre a capacidade efetiva e teórica de trabalho.

**Custos operacionais:** são os custos que uma empresa agrícola tem com a aquisição (custos fixos) e a utilização (custos variáveis) dos equipamentos agrícolas.

Conhecer o custo operacional é importante para a avaliação dos resultados econômicos da empresa. O modelo proposto por Hunt (1977) permite selecionar um sistema de mecanização que atende às exigências técnicas e apresenta um custo mínimo à empresa.

O desenvolvimento de modelos e técnicas de seleção por meio de programas computacionais permitiu analisar um grande número de opções com facilidade e economia de tempo. A automação vem motivando, para esse estudo, diversos pesquisadores, como: Burrows & Siemens, 1974; Hughes & Holtman, 1976; Hunt, 1977; Sing & Gupta, 1980; Alan Rohtz et al., 1983.

Este trabalho teve como objetivos:

- elaborar um programa para microcomputador capaz de realizar a seleção de um conjunto de máquinas agrícolas, adaptando o modelo e testando os parâmetros utilizados por Hunt (1977);

• testar o programa desenvolvido, utilizando-o para selecionar um conjunto de máquinas, com base em dados reais levantados em determinadas propriedades agrícolas, e comparando os resultados assim obtidos com o sistema já implantado nessas propriedades.

## MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolveu-se, no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em Sete Lagoas, MG (CNPMS/EMBRAPA), um programa computacional para seleção de máquinas agrícolas, com base na metodologia apresentada por Hunt (1977).

Cálculo da potência ótima:

$$pwr^2 = \left[ \frac{100 \cdot A_i \cdot E_i}{r_1 \cdot FC \cdot t} \left( Li = \frac{K_i \cdot V_i \cdot Y_i \cdot A_i}{sc_i \cdot nti \cdot U_i \cdot h_i} \right) \right] \quad (03)$$

onde:

pwr = potência ótima na TDP (kw);  
 Ai = área a ser cultivada (ha);  
 Ei = energia requerida para a operação (kw.h/ha);  
 r1 = razão entre a potência e a máxima na TDP (adimensional);  
 FC = fator de custo fixo (%);  
 t = preço do trator por unidade de potência máxima na TDP (US\$/kw);  
 Li = custo da mão-de-obra (US\$/h);  
 Ki = fator de tempo de inadequação (dia<sup>-1</sup>);  
 Vi = valor do produto (US\$/ton);  
 Yi = produtividade da cultura (ton/ha);  
 sci = fator de procedimento (adimensional);  
 nti = número de sub-áreas (adimensional);  
 Ui = relação entre o número de dias trabalháveis e o tempo total para realizar a operação (decimal);  
 hi = jornada diária de trabalho (h/dia);  
 i = subscrito referente ao número de operações.

Cálculo da largura do cilindro trilhador:

$$wb^2 = \frac{100 \cdot A_m}{2,75 \cdot Z_m \cdot S_m \cdot efc_m} \left[ L_m + \frac{K_m \cdot V_m \cdot Y_m \cdot A}{sc_m \cdot ntm \cdot U_m \cdot h_m} \right]$$

$$+ \frac{100 \cdot A_s}{4,25 \cdot Z_s \cdot S_s \cdot efc_s} \left[ L_s + \frac{K_s \cdot V_s \cdot Y_s \cdot A_s}{sc_s \cdot nts \cdot U_s \cdot h_s} \right] \quad (04)$$

onde:

wb = largura ótima do cilindro trilhador (m);  
 m = subscrito que se refere a milho;  
 s = subscrito que se refere a soja;  
 S = velocidade de deslocamento (km/h);  
 efc = eficiência de campo (decimal);  
 Z = fator de custo fixo, expresso da seguinte forma:

$$Z = \frac{FC_b \cdot Pb}{100} + \frac{2,75 \cdot FC_m \cdot Pm}{100} + \frac{4,25 \cdot FC_s \cdot Ps}{100} \quad (05)$$

onde:

b = subscrito que se refere à base da colhedora;  
 p = preço da plataforma de corte (US\$/m).

Cálculo da capacidade do secador:

$$C^2 = \frac{100 \cdot B_i}{FC_i \cdot p} \left[ L_i + T_i + \frac{K_i \cdot V_i \cdot B_i}{sc_i \cdot nti \cdot h_i} \right] \quad (06)$$

em que:

c = capacidade real de secagem do secador (ton/ha);  
 p = preço de aquisição do secador (US\$/ton/h);  
 B = massa de produto a ser secado (ton);  
 T = custo da fonte de acionamento do ventilador e do sistema de movimentação de grãos, (US\$/h);  
 i = subscrito que se refere ao número de culturas.

Nessas equações, os termos que envolvem os parâmetros K, V, Y, A, sc, nt, U e h referem-se ao custo de inadequação do sistema (*timeliness cost*), e os parâmetros K e sc dependem de cada operação. Os valores de K utilizados são apresentados na Tabela 1.

O fator sc é dado em função do procedimento da operação:

a) desbalanceado, quando as operações devem iniciar e terminar em datas pré-estabelecidas, sendo fundamental cumprir rigorosamente o calendário das operações; nesse caso, sc = 2;

b) balanceado, quando as operações podem iniciar ou encerrar depois dos dias ideais; neste caso, sc = 4.

**TABELA 1. Valores do coeficiente de tempo de inadequação.**

Operação	K (dia <sup>-1</sup> )
Preparo de solo	0,0001 - 0,002
Semeadura	0,002
Cultivo	0,010
Colheita	
Milho	0,003
Algodão	0,002
Forragem verde	0,001
Alfafa	0,010
Grãos miúdos	0,004
Soja	0,005

FONTE: Hunt (1977).

O cálculo das larguras dos implementos foi feito com base na capacidade operacional, de acordo com o calendário proposto para as operações e, não, pela equação apresentada por Hunt (1977). Segundo o autor, a equação apresenta resultados excessivos para implementos que requerem grande potência, por eles serem relativamente baratos em relação à potência que demandam.

Obtida a potência otimizada para cada propriedade (eq. 03), o programa requer informações do usuário a respeito da tomada de decisões, que consiste em:

- dividir a potência obtida, alcançando-se o número de tratores para cada propriedade de;

- determinar as larguras comerciais dos implementos;

- dividir a largura obtida para o cilindro trilhador, obtendo-se o número de colhedoras e as respectivas larguras das plataformas de corte;

- dividir a capacidade obtida para o sistema de secagem, obtendo-se o número de secadores necessários.

A escolha da largura dos implementos é obtida da seguinte maneira: o programa fornece a largura máxima de cada implemento, dada em função da potência do trator. Fornece também a largura de cada implemento para cumprir as atividades de acordo com o cronograma pré-estabelecido. Desses dois resultados, escolhe-se uma largura comercial que atenda melhor às duas restrições.

## O programa computacional

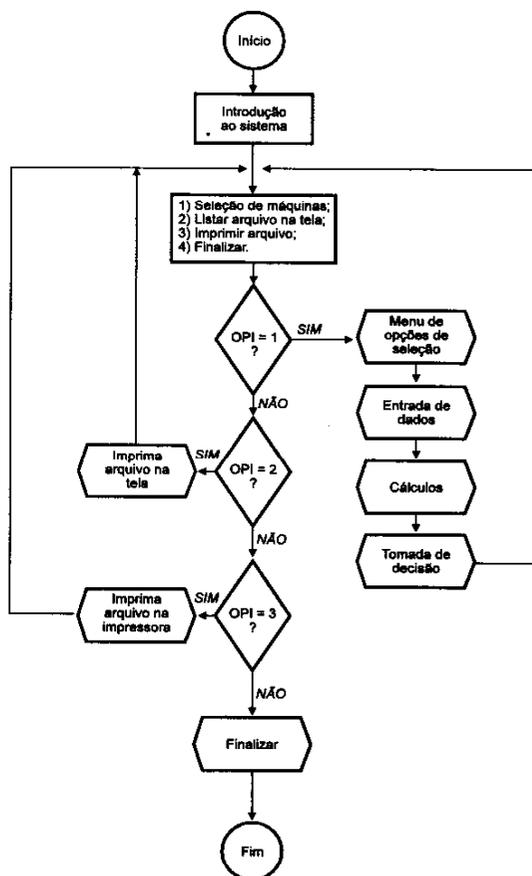
O Programa SOMA (Seleção Ótima de Máquinas Agrícolas) apresenta quatro opções ao usuário no menu principal (Fig. 1):

1. selecionar máquinas: permite ao usuário definir o sistema de mecanização a ser implantado na propriedade, para ser selecionado;

2. listar arquivos na tela: permite ao usuário analisar os dados de entrada ou resultados no vídeo do microcomputador;

3. imprimir arquivos: possibilita a impressão dos arquivos de dados de entrada ou de resultados.

4. finalizar: encerra a execução do Programa SOMA.



**FIG. 1. Fluxograma simplificado da estrutura geral do programa SOMA.**

A viabilidade do modelo implementado foi estudada com base em dados levantados em sete propriedades agrícolas do Município de Ituiutaba, MG. Para isso, os resultados foram comparados, utilizando-se dos seguintes critérios:

1. Os sistemas de mecanização implantados nas propriedades foram considerados como se adquiridos pela empresa agrícola, para calcular o custo operacional desses sistemas, em função do preço de aquisição;

2. Realizou-se a seleção de equipamentos para cada propriedade, pelo método convencional (capacidade operacional);

3. Realizou-se a seleção de equipamentos pelo Programa SOMA (sistema otimizado).

Para o primeiro caso, foi feito um estudo sobre a potência instalada, tendo como base a capacidade de trabalho dos implementos e a potência demandada por eles, afim de classificá-la em subdimensionada, bem dimensionada ou superdimensionada.

Estimaram-se os custos fixos e variáveis para cada situação. No caso do sistema implantado, para o cálculo dos custos variáveis, determinou-se o tempo operacional com base na capacidade operacional dos equipamentos existentes, e, para os demais sistemas, estimou-se o tempo ideal para cada operação.

O resumo da caracterização das propriedades estudadas é apresentado na Tabela 2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos sobre custo operacional, horas trabalhadas anualmente e dimensionamento da potência já instalada, para cada propriedade, são apresentados na Tabela 3.

Observa-se que o custo do sistema otimizado comparado com o selecionado pela capacidade operacional foi sempre menor, e cinco propriedades apresentaram um tempo operacional menor.

Na comparação com os sistemas implantados, o custo operacional foi maior em cinco propriedades. Isso deve-se, provavelmente, ao fato de o tempo operacional ter sido menor ou de a potência já instalada estar subdimensionada.

Utilizando-se tempos operacionais próximos aos dos sistemas implantados, o Programa SOMA pôde chegar a valores de custos operacionais menores. Para comprovar essa hipótese, foram selecionadas três das propriedades: duas delas por apresentarem maior diferença de custo operacional entre o sistema otimizado e o implantado (fazendas Lusitana e Floresta, ano agrícola 87/88), e a terceira por ter o sistema bem dimensionado (fazenda Piratininga).

TABELA 2. Resumo das características das propriedades estudadas no modelo

Fazenda	Área cultivada (ha)	Cultura	Potência instalada (cv)
Lusitana	315	soja	271
Agrovila	350	soja	625
Floresta *	500	milho	381
Floresta **	300	milho	276
Cor do Café	205	soja	263
Piratininga	140	milho	156
Ponte Alta	140	milho	140

\* Referente ao ano agrícola 1987/88.

\*\* Referente ao ano agrícola 1988/89.

TABELA 3. Custos e tempos operacionais sobre os sistemas de mecanização implantados e selecionados e a situação da potência já instalada

Fazenda	Sistema implantado		Sel. p/ cap. oper.		Sistema otimizado		Potência
	Custo anual (US\$/ano)	Horas (h/ano)	Custo anual (US\$/ano)	Horas (h/ano)	Custo anual (US\$/ano)	Horas (h/ano)	
Lusitana	46.858,84	988	56.889,68	682	56.639,32	681	Subdimensionada
Agrovila	71.691,91	543	51.813,72	552	40.595,72	631	Superdimensionada
Floresta	61.983,54	1176	87.121,60	822	86.393,74	611	Subdimensionada
Floresta	45.705,32	706	62.622,15	584	51.244,93	537	Subdimensionada
Cor do Café	35.160,55	506	45.946,73	310	29.405,31	493	Superdimensionada
Piratininga	29.426,68	590	34.126,51	407	33.614,81	367	Bem dimensionada
Ponte Alta	27.837,10	542	44.405,79	312	33.233,71	307	Subdimensionada

\* Referente ao ano agrícola 1987/88.

\*\* Referente ao ano agrícola 1988/89.

A seleção foi realizada pelo Programa SOMA. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Observa-se que, para os dois primeiros casos em que a potência instalada é subdimensionada, o custo operacional referente ao sistema otimizado ainda foi maior que o implantado, porém para a Fazenda Lusitana a diferença de custo caiu de 20,9% para 7,9%, e para a Fazenda Floresta, de 39,4% para 18,0%. No caso da terceira propriedade, como o sistema implantado estava bem dimensionado, verificou-se uma redução em torno de 20% no custo operacional.

Conforme se verifica, o Programa SOMA apresentou resultados satisfatórios, nas condições em que foi testado, conquanto utilizasse parâmetros para condições diferentes das da agricultura no Brasil. Constituiu-se, portanto, em ferramenta de grande utilidade na seleção do sistema de mecanização agrícola.

**TABELA 4. Custos operacionais relativos aos sistemas de mecanização implantados e selecionados, tendo como QUADRO 04: Custos operacionais relativos aos sistemas de mecanização implantados e selecionados, tendo como base o tempo operacional do sistema implantado.**

Fazenda	Sistema implantado		Sistema otimizado	
	Custo anual (US\$/ano)	Horas (h/ano)	Custo anual (US\$/ano)	Horas (h/ano)
Lusitana	46.858.84	988	50.549.65	847
Floresta *	61.983.54	1176	73.149.83	1075
Piratinga	29.42.68	590	26.217.35	513

(\*) Referente ao ano agrícola 1987/88.

## CONCLUSÕES

1. O modelo implantado otimiza um sistema de mecanização para propriedades agrícolas, ou seja, permite selecionar equipamentos agrícolas que atendem perfeitamente às exigências técnicas, com custo mínimo;
2. Permite várias simulações de seleção de equipamentos que melhor se adaptem às condições impostas pela propriedade, com grande facilidade e economia de tempo.

## REFERÊNCIAS

- ALAN ROHTZ, C.; HANNIBAL, A. M.; ROY, B. J. A multiple crop machinery selection algorithm. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 26, p. 1644-1649, 1983.
- BURROWS, W. C.; SIEMENS, J. C. Determination of optimum machinery for corn-soybean farms. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 17, n. 6, p. 1130-1135, 1974.
- HUGHES, H.A.; HOLTMAN, J. B. Machinery complement selection based on time constraints. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 19, n. 5 p. 812-814, 1976.
- HUNT, D. R. *Farm Power Machinery Management*. Ames: Iowa State University Press, 1977. 365 p.
- MIALHE, L. G. *Manual de Mecanização Agrícola*. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1974. 301 p.
- PRIEBE, H. Lugar que ocupa la tecnica en la exploración agrícola. In: *MANUAL de Técnica Agrícola*. Barcelona: Ediciones Omega, 1966. p.25 - 50.
- SILVEIRA, G. M. *Os cuidados com o trator*. Rio de Janeiro: Ed. Globo, 1987. 245 p.
- SING, G; GUPTA, M. L. Machinery selection methods for farms in norton India. *Agricultural Systems*, Essex, v. 6, p. 93 - 120, 1980.