

# VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS MANUAL E MECANIZADO DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM FERROVIAS'

ULISSES R. ANTUNIASSI<sup>2</sup>, EDIVALDO D. VELINI<sup>3</sup>, DANIEL CAMPOSILVAN<sup>4</sup>

## RESUMO

A aplicação mecanizada de herbicidas em ferrovias tem como principal vantagem a grande capacidade operacional, cobrindo trechos extensos em curtos espaços de tempo. Entretanto, em função das características dos equipamentos utilizados, quase sempre ocorre grande desperdício de herbicida. A aplicação manual, através de pulverizadores costais, tem como principal vantagem a possibilidade da pulverização dirigida às áreas infestadas, diminuindo a quantidade de herbicida aplicado. Por outro lado, sua reduzida capacidade operacional faz com que a aplicação de longos trechos seja demorada, tornando-a, assim, mais dependente dos problemas climáticos e operacionais da ferrovia. O objetivo do trabalho foi realizar uma análise comparativa das características operacionais e econômicas destes

sistemas de aplicação, apontando os fatores mais importantes a serem avaliados para a sua implantação. Para tanto, foram realizadas simulações em computador, baseando-se em diversas equações matemáticas e dados levantados no campo. Os resultados mostraram que a aplicação manual apresentou-se mais econômica apenas para trechos com baixas infestações (até 10%, em média). Na composição de custos, os gastos com herbicidas corresponderam a cerca de 80% do total para a aplicação mecanizada e apenas 8% na manual. Levando-se em conta os fatores operacionais e de mão-de-obra, em apenas um dos trechos avaliados houve vantagem econômica do uso da aplicação manual.

**Palavras chave:** pulverização, custos, área não agrícola.

## ABSTRACT

### Economical viability of manual and mechanized application of herbicides in railways

Mechanized and manual systems of herbicide application in railways present either advantages or disadvantages. The main advantage of mechanized application is related to its wide operational capacity which covers large distances in short time. However, in function of the equipment characteristics, an excessive waste of herbicide usually occurs. The main advantage of manual application is the direct spraying in the infested area, decreasing the quantity of herbicide applied. On the other hand, its reduced operational

capacity delays the application of the large areas, becoming the operation dependent on climatic and operational problems of the railway. The aim of this work was to perform a comparative analysis of operational and economical characteristics of the systems, pointing out the most important factor to be evaluated for its implantation. Therefore, simulations were performed by computer, considering several mathematical equations and data obtained in field. The results showed that manual application was more

1 Recebido para publicação em 28/07/95 e na forma revisada em 21/05/96.

2 Prof. Assistente Doutor. Depto. Eng. Rural, FCA-UNESP, Caixa Postal 237, CEP 18.603-970, Botucatu/SP, Brasil.

3 Prof. Assistente Doutor, Depto. Agricultura e Melhoramento Vegetal. FCA-UNESP.

4 Eng. Agr., Monsanto do Brasil Ltda., Rua Paes Leme, 504, CEP 05.424-000, São Paulo/SP.

economical only for areas with low infestations. Concerning costs, the expenses with herbicides corresponded to approximately 80% of the total for mechanized application, and 8% for manual application. By considering operational and labor

factor, in only one of the areas evaluated, economical advantage in the usage of manual application was presented.

Key words: Application methods, costs,

## INTRODUÇÃO

O controle das plantas daninhas é de grande importância dentro da manutenção das áreas de ferrovia. A ausência de controle da infestação pode prejudicar as atividades relacionadas ao tráfego de trens e a manutenção das linhas, pátios e obras de engenharia. Das modalidades de controle mais comumente utilizadas, destaca-se o controle químico, ou seja, a aplicação de herbicidas.

Diversos estudos têm sido realizados com o intuito de desenvolver e adaptar metodologias para a aplicação e avaliação do uso de herbicidas em áreas ferroviárias, podendo-se destacar, recentemente, os trabalhos de Furlani Junior *et al.* (1992a,b), Antuniassi & Velini (1992) e Velini & Antuniassi (1992). Grande parte destes estudos concentram-se na utilização de equipamentos mecanizados para a pulverização. Entretanto, em função das peculiaridades de cada empresa ou mesmo de cada trecho de ferrovia, a utilização de equipamentos manuais vem sendo estudada como uma alternativa aos equipamentos tradicionais.

Do ponto de vista operacional, o sistema mecanizado destaca-se pela grande capacidade operacional, cobrindo trechos extensos em curtos espaços de tempo. Entretanto, em função das características dos equipamentos utilizados, muitas vezes ocorre grande desperdício de herbicidas nas aplicações pós-emergentes. Em locais onde a infestação não se apresenta uniforme e contínua, a grande velocidade de deslocamento do equipamento dificulta a ação do operador na abertura e fechamento das barras de pulverização. Desta forma, erros podem ocorrer levando

herbicida a áreas não infestadas ou ocasionando falhas na cobertura da vegetação existente. Tal fato acaba por influenciar o operador a realizar a pulverização em área total, aumentando ainda mais o desperdício de herbicida.

A aplicação manual, através de pulverizadores costais, tem como principal característica a possibilidade da pulverização dirigida às áreas infestadas, diminuindo as quantidades de herbicida aplicado. Por outro lado, sua reduzida capacidade operacional faz com que a aplicação de longos trechos seja demorada, sujeitando-se aos problemas climáticos e operacionais na ferrovia. Outro fator importante a ser considerado é o controle ambiental. É notório que as aplicações mecanizadas têm sido realizadas com um correto e eficiente controle dos riscos de contaminação do ambiente. Entretanto, a aplicação manual, por envolver menores quantidades de defensivos, deve ser considerada como de menor risco ambiental. Ressalta-se, porém, que independentemente da forma de aplicação, o uso de herbicidas em áreas de ferrovias apresenta, atualmente, um risco reduzido de danos ao ambiente.

Partindo-se deste princípio, a decisão do uso de uma ou outra forma de pulverização pode ser tomada em função de uma análise econômica de cada caso. Antuniassi & Velini (1992) realizaram estudos operacionais e econômicos da aplicação mecanizada de herbicidas em ferrovias. Foram determinados os custos de diferentes sistemas de controle, utilizando-se diversos herbicidas. De acordo com os autores, para as condições de trabalho na FEPASA (Ferrovia Paulista S.A.), o sistema mais econômico envolve aplicações sequenciais do herbicida glyphosate.

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise comparativa das características operacionais e econômicas dos sistemas mecanizado e manual de aplicação de herbicidas pós-emergentes em áreas de ferrovias, apontando os fatores mais importantes a serem avaliados para a sua implantação. Para tanto, foram realizadas simulações em computador, baseando-se em diversas equações matemáticas e dados levantados no campo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Sistemas de aplicação de herbicidas

Para a realização deste trabalho foram analisados dois sistemas de aplicação de herbicidas em ferrovias: um com *aplicação mecanizada* e outro com *aplicação manual*, através de pulverizadores manuais costais. Ambos os sistemas consideraram as condições operacionais e econômicas existentes na *Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) - Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM)*.

#### *Sistema mecanizado*

O sistema mecanizado de aplicação consiste numa composição com locomotiva e quatro vagões (aplicador, reservatório de água,

oficina e dormitório/restaurante). Os conjuntos de bombeamento e as barras com bicos pulverizadores possibilitam velocidades de deslocamento de 12,5 e 25 km/h com faixas aplicadas entre 1,1 e 7,4 m e volume de calda aplicado por hectare de até 4600 litros. A capacidade total dos reservatórios de água e calda somam 45000 litros. São utilizados seis trabalhadores por turno de serviço.

#### *Sistema manual*

O sistema manual de aplicação é composto por um grupo de três aplicadores munidos de pulverizadores costais com capacidade de 20 litros, sendo dois destes equipados com barra de pulverização para 1,5 m de faixa e um com apenas 1 bico para faixa de 0,5 m. Acompanham um veículo para transporte e dois trabalhadores para o apoio.

### Avaliação das condições de infestação

Os dados relativos à infestação por plantas daninhas nos trechos de ferrovia foram obtidos através de levantamentos junto à *CVRD-EFVM* (Tabela 1). Quantificaram-se as porcentagens de cobertura do solo por plantas daninhas no lastro (área de pedras onde são assentados os trilhos) e nas banquetas (faixas de terra laterais ao lastro).

**TABELA 1** - Locais de avaliação da infestação e porcentagem de cobertura do solo por plantas daninhas. Dados obtidos em fevereiro de 1992.

Trecho avaliado	Regional	Distrito	Local	% de cobertura no lastro	% de cobertura na banqueta
1	1ª	1º	km 000 a 102	1	45
2	1ª	2º	km 102 a 202	2	75
3	2ª	3º	km 202 a 325	2	75
4	2ª	4º	km 325 a 438	1	35
5	3ª	5º	km 438 a 542	1	35
6	3ª	6º	C. Lacerda/Fábrica	1	35
7	4ª	7º	km 062 a 169	1	60
8	4ª	8º	C. Lacerda/B. Cocais	1	100
9	4ª	8º	B. Cocais/C. Eduardo	0	2

**Levantamento dos parâmetros operacionais e econômicos**

Para a realização das análises operacionais e econômicas foram utilizadas informações de custos e desempenho das operações relativas às

condições da *CVRD-EFVM*. Os Parâmetros iniciais utilizados (fornecidos pela *CVRD-EFVM* ou calculados a partir de tais informações) estão listados na Tabela 2.

**TABELA 2** - Parâmetros iniciais utilizados para as simulações operacionais e econômicas.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
<b>Dados gerais:</b>	
Largura média da banqueta	1,5 m
Largura média do lastro	8,0 m
Preço do herbicida (glyphosate - 360 g i.a./ℓ)	10,00 US\$/litro
Dose do herbicida na banqueta	6,0 ℓ/ha
Dose do herbicida no lastro	6,0 ℓ/ha
Jornada diária de trabalho	8 h
Salários (Valores referentes a <i>CVRD-EFVM</i> ):	
Ajudantes	9,00 US\$/hora
Técnicos	11,00 US\$/hora
Maquinistas	17,00 US\$/hora
Salários (Valor referente a <i>empregadas contratadas</i> ):	
Ajudantes	5,00 US\$/hora
<b>Sistema manual:</b>	
Velocidade de aplicação	4,1 km/h
Fator de eficiência	0,25
Faixa de aplicação total	3,5 m
Mão-de-obra empregada:	
Ajudantes	3
Técnicos	1
Maquinistas	1
Custo dos equipamentos de aplicação	0,05 US\$/hora
Custo dos equipamentos de transporte	20,00 US\$/hora
Tempo diário de uso dos equipamentos manuais costais	8 horas
Tempo diário de uso do transporte	2 horas
<b>Sistema mecanizado:</b>	
Velocidade de aplicação	25 km/h
Fator de eficiência	0,8
Faixa de aplicação total (linha dupla)	11 m
Mão-de-obra empregada:	
Ajudantes	4
Técnicos	1
Maquinistas	1
Custo do equipamento de aplicação	28,07 US\$/hora
Tempo diário de uso do equipamento de aplicação	4 horas

### Simulação da utilização dos sistemas

As análises comparativas foram realizadas através de simulações do uso dos sistemas nos trechos avaliados, utilizando-se uma planilha eletrônica em computador compatível com IBM-PC (programa *Lotus 123*<sup>®</sup>). Para a elaboração da planilha foram utilizadas equações matemáticas de uso consagrado no cálculo operacional e econômico de máquinas e equipamentos (Balastreire, 1987; Mialhe, 1974) e também equações deduzidas em função de situações práticas. Os procedimentos adotados foram semelhantes aos descritos por Antuniassi (1993). A listagem do conteúdo das células da planilha de simulação, mostrando as diversas equações, é apresentada na Tabela 3. Para tornar possível a

comparação prática dos sistemas, em função do grande número e diversidade das variáveis envolvidas, adotou-se como princípio que a aplicação mecanizada ocorre sempre em área total, independentemente do nível de infestação da linha. No caso do sistema manual, considerou-se que a aplicação ocorre somente sobre a vegetação existente.

Para facilitar a visualização dos resultados foi definido o *índice de viabilidade econômica (I)*, que consiste na divisão do custo total do sistema mecanizado pelo custo total do sistema manual. Desta forma, quando  $I > 1$ , existe vantagem no uso do sistema manual;  $I < 1$  indica melhor resultado econômico no uso do sistema mecanizado e  $I = 1$  identifica situações de igualdade de custos entre os sistemas.

TABELA 3 - Listagem do conteúdo das células da planilha de simulação

A1: [L60] 'Análise Comparativa: Sistema Manual x Mecanizado	A17: [L60] 'Cobertura do solo por plantas daninhas na banqueta (%)
A2: [L60] 'Para Aplicação de Herbicidas em Ferrovias	B17: (F2) 10.17
A3: [L60] :=	A18: [L60] 'Cobertura do solo por plantas daninhas no lastro (%)
B3: :=	B18: (F2) 10.17
A4: [L60] 'Ulisses Rocha Antuniassi - FCA/UNESP - Botucatu - 1995	A19: [L60] 'Área tratada na banqueta - sistema manual (m <sup>2</sup> )
A5: [L60] :=	B19: (F0) +B17*2*B10*10
B5: :=	A20: [L60] 'Área tratada no lastro - sistema manual (m <sup>2</sup> )
A6: [L60] 'Índice de viabilidade econômica	B20: (F0) +B18*B11*10
B6: (F2) @IF(B8=0,1,(+B7/B8))	A21: [L60] 'Preço do herbicida (US\$/l)
A7: [L60] 'Custo total no sistema mecanizado (US\$/km)	B21: (F2) 10
B7: (F2) @IF(B16=0,0,(+B561+B562+B563))	A22: [L60] 'Dose do herbicida na banqueta (l/ha)
A8: [L60] 'Custo total no sistema manual (US\$/km)	B22: (F2) 6
B8: (F2) +B582+B583+B584	A23: [L60] 'Dose do herbicida no lastro (l/ha)
A9: [L60] 'Características do trecho a tratar:	B23: (F2) 6
A10: [L60] 'Largura média da banqueta (1 lado) (m)	A24: [L60] 'Herbicida aplicado na banqueta - sistema mecanizado (l/km)
B10: (F2) 1.5	B24: (F2) +B14*B22/10000
A11: [L60] 'Largura média do lastro (m)	A25: [L60] 'Herbicida aplicado no lastro - sistema mecanizado (l/km)
B11: (F2) 8	B25: (F2) +B15*B23/10000
A12: [L60] 'largura média da faixa de aplicação (m)	A26: [L60] 'Herbicida aplicado na banqueta - sistema manual (l/km)
B12: (2*B10)+B11	B26: (F2) +B19*B22/10000
A13: [L60] 'Tipo de linha: (1=linha simples); (2=linha dupla)	A27: [L60] 'Herbicida aplicado no lastro - sistema manual (l/km)
B13: 2	B27: (F2) +B20*B23/10000
A14: [L60] 'Área tratada na banqueta - sistema mecanizado (m <sup>2</sup> )	A28: [L60] 'Características operacionais:
B14: (F0) @IF(B17=0,0,(2*B10*1000))	A29: [L60] 'Velocidade de aplicação no sistema manual (km/h)
A15: [L60] 'Área tratada no lastro - sistema mecanizado (m <sup>2</sup> )	B29: (F2) 4.1
B15: (F0) @IF(B18=0,0,(+B11*1000))	A30: [L60] 'Fator de eficiência para aplicação manual
A16: [L60] 'Área tratada total - sistema mecanizado (m <sup>2</sup> )	B30: (F2) 0.25
B16: +B14+B15	

**TABELA 3 - Continuação.**

A31: [L60] 'Largura de operação no sistema manual (m)	B58: (F2) + B57*B41
B31: (F2) 3.5	A60: [L60] 'Custos do sistema mecanizado:
A32: [L60] 'Capacidade operacional no sistema manual (m <sup>2</sup> /h)	A61: [L60] 'Mão-de-obra (US\$/km)
B32: (F0) (+B29*B31*B30*1000)	B61: (F2) (((B48*B51)+(B49*B52)+(B50*B53))*B56)/B58)
A33: [L60] 'Jornada de trabalho (h)	A62: [L60] 'Equipamento (US\$/km)
B33: 8	B62: (F2) + B55*B42
A34: [L60] 'Área a tratar no sistema manual (m <sup>2</sup> )	A63: [L60] 'Herbicida (US\$/km)
B34: (F0) + B19+B20	B63: (F2) (+B24+B25)*B21
A35: [L60] 'Tempo para tratar 1 km - sistema manual (h)	A64: [L60] 'Custo total no sistema mecanizado (US\$/km)
B35: (F2) + B34/B32	B64: (F2) @IF(B16=0,0,(+B\$61+B\$62+B\$63))
A36: [L60] 'Tempo diário de trabalho efetivo (h)	A66: [L60] 'Sistema manual:
B36: (F2) + B33*B30	A67: [L60] 'Mão-de-obra:
A37: [L60] 'km tratados/dia	A68: [L60] 'Número de ajudantes
B37: (F2) @IF(B35=0,0,(+B36/B35))	B68: 3
A38: [L60] 'Capacidade operacional no sistema manual (km/h)	A69: [L60] 'Número de técnicos
B38: (F2) @IF(B35=0,0,(1/B35))	B69: 1
A39: [L60] 'Velocidade de aplicação no sistema mecanizado (km/h)	A70: [L60] 'Número de maquinistas
B39: (F2) 25	B70: 1
A40: [L60] 'Fator de eficiência para aplicação mecanizada	A71: [L60] 'Salário do ajudante (US\$/h)
B40: (F2) 0.8	B71: (F2) 9
A41: [L60] 'Capacidade operacional no sistema mecanizado (km/h)	A72: [L60] 'Salário do técnico (US\$/h)
B41: (F2) + B39*B40*(1/B13)	B72: (F2) 11
A42: [L60] 'Tempo para tratar 1 km - sistema mecanizado (h)	A73: [L60] 'Salário do maquinista (US\$/h)
B42: (F2) 1/B41	B73: (F2) 17
A44: [L60] 'Composição dos custos:	A74: [L60] 'Equipamentos:
A46: [L60] 'Sistema mecanizado:	A75: [L60] 'Custo do equipamento de aplicação (US\$/h)
A47: [L60] 'Mão-de-obra:	B75: (F2) 0.05
A48: [L60] 'Número de ajudantes	A76: [L60] 'Custo do equipamento de transporte (US\$/h)
B48: 4	B76: (F2) 20
A49: [L60] 'Número de técnicos	A77: [L60] 'Jornada diária da mão-de-obra e equipamento de aplicação (h)
B49: 1	B77: (F2) 8
A50: [L60] 'Número de maquinistas	A78: [L60] 'Jornada diária do equipamento de transporte (h)
B50: 1	B78: (F2) 2
A51: [L60] 'Salário do ajudante (US\$/h)	A79: [L60] 'km tratados/dia
B51: (F2) 9	B79: (F2) + B37
A52: [L60] 'Salário do técnico (US\$/h)	A81: [L60] 'Custos do sistema manual:
B52: (F2) 11	A82: [L60] 'Mão-de-obra (US\$/km)
A53: [L60] 'Salário do maquinista (US\$/h)	B82: (F2) (@IF(B79=0,0,(((B68*B71)+(B69*B72)+(B70*B73))*B77)/B79)))
B53: (F2) 17	A83: [L60] 'Equipamento (US\$/km)
A54: [L60] 'Equipamentos:	B83: (F2) @IF(B79=0,0,(((B75*B77)+(B76*B78))/B79))
A55: [L60] 'Custo do equipamento de aplicação (US\$/h)	A84: [L60] 'Herbicida (US\$/km)
B55: (F2) 28.07	B84: (F2) (B26+B27)*B21
A56: [L60] 'Jornada diária da mão-de-obra (h)	A85: [L60] 'Custo total no sistema manual (US\$/km)
B56: (F2) 8	B85: (F2) + B\$82+B\$83+B\$84
A57: [L60] 'Jornada diária do equipamento de aplicação (h)	A86: [L60] \=
B57: (F2) 4	B86: \=
A58: [L60] 'km tratados/dia	

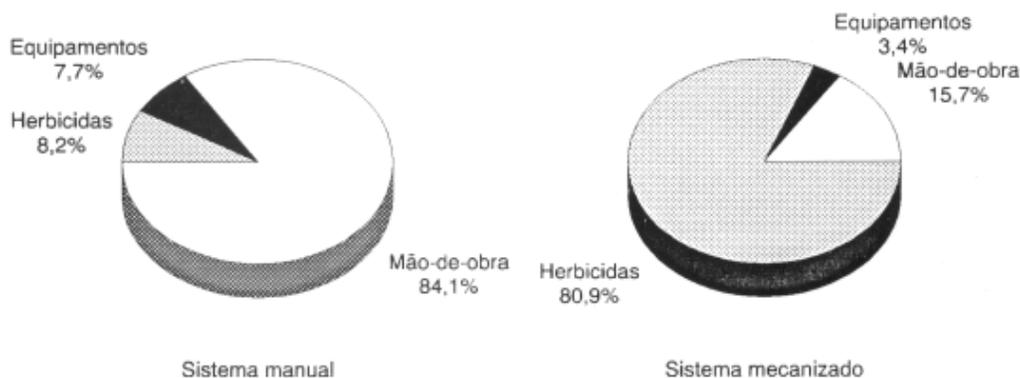
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Composição dos custos dos sistemas

A Figura 1 mostra a composição percentual média dos custos referentes aos sistemas manual e mecanizado de aplicação de herbicidas em ferrovias. Observa-se que no sistema manual a maior parcela do custo refere-se à mão-de-obra utilizada, sendo que herbicidas e equipamentos têm porcentagens muito menores e semelhantes entre si. Tal fato demonstra a importância do investimento no treinamento e melhoria da qualidade da mão-de-obra, como fator de aumento de produtividade e redução de custos. Outra possibilidade para aumentar a viabilidade econômica do sistema é a utilização de serviços de terceiros (empreiteiras), cujos custos de mão-de-

obra são geralmente menores do que os das empresas ferroviárias.

Para o sistema mecanizado, a maior parcela do custo refere-se ao gasto com herbicidas. Neste caso, todo empenho deve ser direcionado à redução das quantidades necessárias deste fator. A contenção das despesas passa obrigatoriamente por uma racionalização da operação de aplicação, procurando-se diminuir os erros e minimizando-se o desperdício do defensivo. Quanto aos equipamentos, observa-se que, apesar de serem utilizados aplicadores de grande porte, sua participação no custo total do sistema é reduzida. Vale ressaltar, ainda, que com relação ao sistema mecanizado, tais observações coincidem com os resultados descritos por Antuniassi & Velini (1992).



**FIGURA 1** - Composição percentual dos custos relativos aos sistemas manual e mecanizado de aplicação de herbicidas em ferrovias. Valores obtidos considerando-se os custos da mão-de-obra na CVRD-EFVM.

### Análise da viabilidade econômica

A Figura 2 apresenta os resultados da simulação do uso dos sistemas nos trechos onde foi realizado o levantamento da infestação por plantas daninhas. Observa-se que o custo da aplicação mecanizada foi o mesmo para os trechos 1 a 8, independentemente das diferenças nos níveis de infestação. Tal fato ocorre em função da

pulverização ser realizada em área total, face às dificuldades já expostas anteriormente. Somente no trecho 9 foi possível a particularização da aplicação, onde a infestação é nula no lastro. Para este local foram contabilizados apenas os custos da pulverização na banquetta. Os custos no sistema manual foram proporcionais às porcentagens de infestação das áreas avaliadas. Outro fator analisado foi o *índice de viabilidade econômica*

(I) para os diversos trechos. Observa-se que, para a situação em que se encontravam os locais na época da avaliação, somente ocorre vantagem no uso do sistema manual no trecho 9. Entretanto,

quando se utilizam, para o cálculo dos custos, os valores da mão-de-obra referentes às empreiteiras, tal viabilidade se estende aos trechos 4, 5 e 6 (Figura 3).

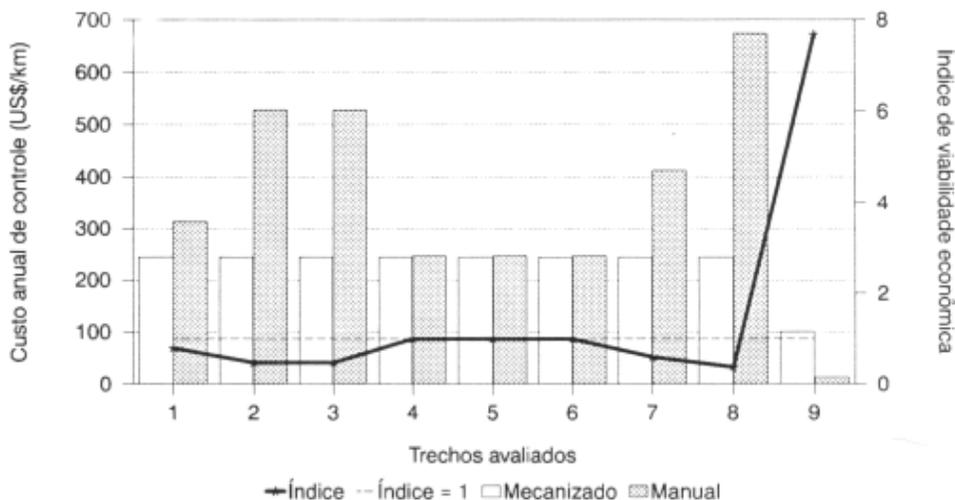


FIGURA 2 - Custo anual de controle das plantas daninhas e *índice de viabilidade econômica (I)* para os trechos avaliados na CVRD-EFVM, considerando mão-de-obra da própria ferrovia.

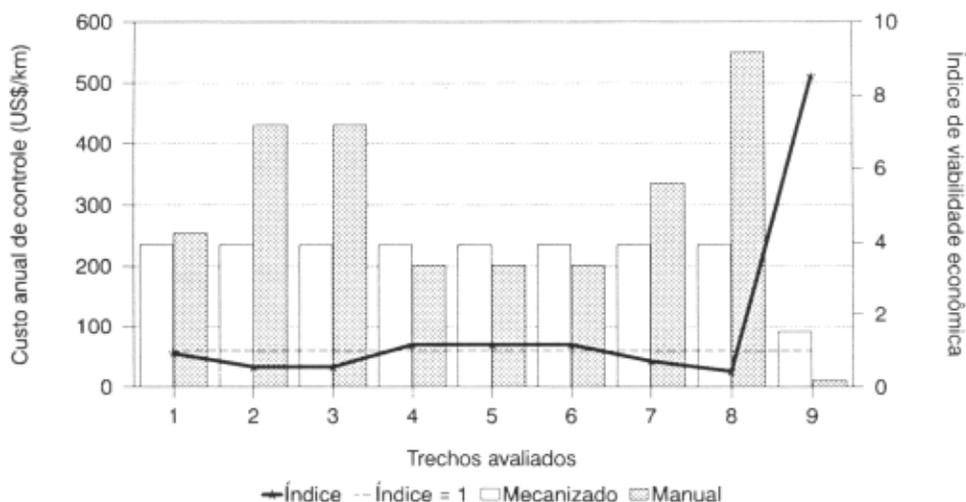


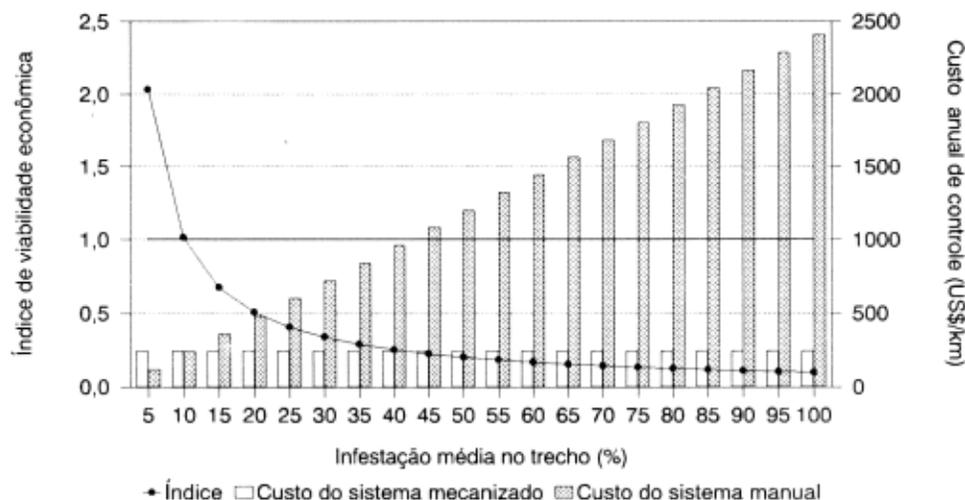
FIGURA 3 - Custo anual de controle das plantas daninhas e *índice de viabilidade econômica (I)* para os trechos avaliados na CVRD-EFVM, considerando mão-de-obra de empreiteiras contratadas.

Analisando-se o comportamento do I em função da variação da infestação média (Figura 4), observa-se que, para o uso de mão-de-obra própria, somente ocorre vantagem no uso do

sistema manual para casos de infestações muito baixas (até 10%). Mesmo considerando-se os custos de mão-de-obra das empreiteiras, tal valor permanece baixo (12%). Isto indica que a

aplicação manual só será uma opção efetivamente econômica após a consolidação completa dos programas de controle das plantas daninhas, já que

o uso constante de tais práticas provoca uma redução da infestação média ao longo do tempo.

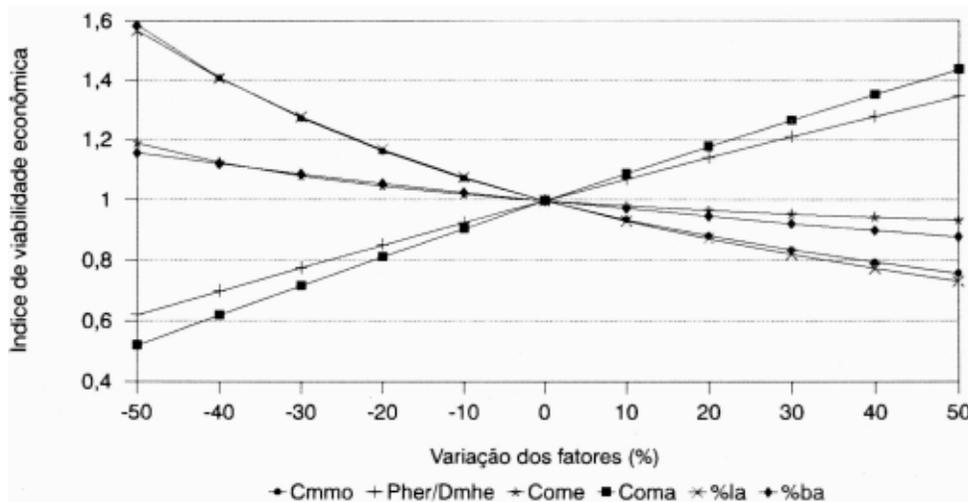


**FIGURA 4** - Custo anual de controle das plantas daninhas e *índice de viabilidade econômica (I)* considerando-se uma variação da infestação média entre 5 e 100%. Valores relativos ao uso de mão-de-obra própria.

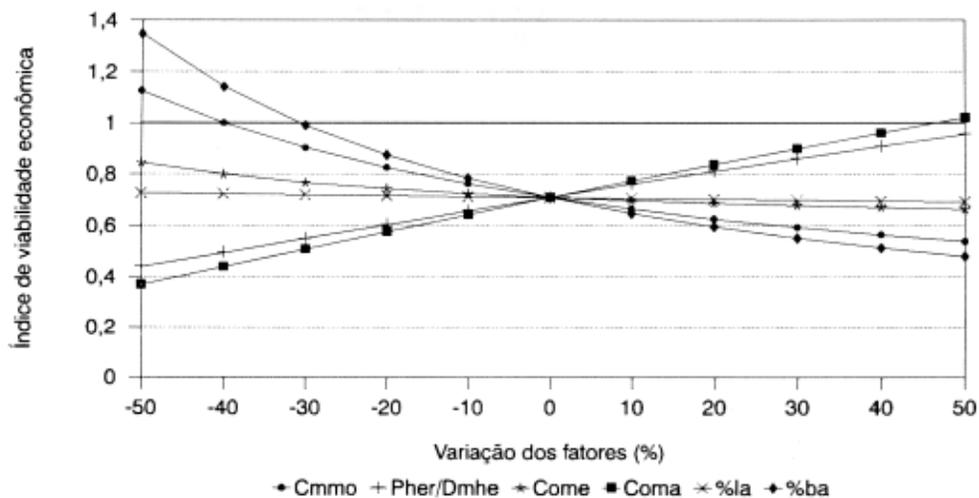
Outro ponto importante a ser observado é a relação entre o aumento da infestação e o aumento do custo no sistema manual. Tal comportamento pode ser creditado a dois fatores principais. Inicialmente, como a aplicação manual é realizada somente sobre a área efetivamente infestada, fica evidente a relação entre o custo total e o nível de infestação. Isto não ocorre no sistema mecanizado, onde a aplicação é realizada em área total. Posteriormente, a diferença entre as capacidades operacionais dos sistemas influencia diretamente os custos finais obtidos. Como a capacidade operacional média do sistema manual é muito baixa, quando comparada a do mecanizado (0,358 ha/h no manual e 11 ha/h no mecanizado), em áreas de grande infestação sua realização é morosa. Assim, o custo da mão-de-obra se torna elevado, em função dos salários serem calculados pelas horas trabalhadas.

As Figuras 5 e 6 mostram análises da

sensibilidade do *índice de viabilidade econômica (I)* em relação à variação dos principais fatores envolvidos na determinação dos custos dos sistemas, seguindo metodologia descrita por Antuniassi (1993). Nestas análises, os fatores tiveram seus valores básicos variados entre + 50% e - 50%; desta forma, usando como exemplo o preço do herbicida (US\$ 10,00/e p.c.), seu valor foi simulado entre US\$ 5,00 (-50%) e US\$15,00 (+50%). Procedendo-se desta maneira, e mantendo-se fixos os demais fatores envolvidos, calculou-se o *I* para tal situação. Com este procedimento, o ângulo médio de inclinação das curvas com relação ao eixo "x" fornece uma idéia da sensibilidade de *I* com relação ao fator em questão. Assim, um ângulo maior mostra uma sensibilidade superior e vice-versa. Este tipo de análise permite a visualização mais efetiva da importância relativa entre os fatores que influenciam a composição dos custos dos sistemas.



**FIGURA 5** - Variação do *índice de viabilidade econômica* (I) em função da variação dos seguintes fatores: custo médio da mão-de-obra (Cmmo), preço ou dose média do herbicida (Pher/Dmhe), capacidade operacional do sistema mecanizado (Come), capacidade operacional do sistema manual (Coma), porcentagem de cobertura do solo por plantas daninhas no lastro (%la) e porcentagem de cobertura do solo por plantas daninhas na banquetta(%ba). Simulação baseada em uma infestação média da ordem de 10% de cobertura do solo por plantas daninhas.



**FIGURA 6** - Variação do *índice de viabilidade econômica* (I) em função da variação dos seguintes fatores: custo médio da mão-de-obra (Cmmo), preço ou dose média do herbicida (Pher/Dmhe), capacidade operacional do sistema mecanizado (Come), capacidade operacional do sistema manual (Coma), porcentagem de cobertura do solo por plantas daninhas no lastro (%la) e porcentagem de cobertura do solo por plantas daninhas na banquetta(%ba). Simulação baseada na cobertura média do solo por plantas daninhas nos trechos avaliados na CVRD-EFVM.

A análise apresentada na Figura 5 partiu do princípio de que a infestação média do local em questão permitia um  $I = 1$  (igual viabilidade econômica de ambos os sistemas). Pode-se observar, deste modo, que a capacidade operacional do sistema manual e o preço/dose do herbicida são fatores diretamente proporcionais ao  $I$ , ou seja, acréscimos nos valores destes fatores provocam aumentos no valor de  $I$ , tornando o sistema manual mais viável. O inverso também é verdadeiro. Situação oposta ocorre com os demais fatores avaliados (custo médio da mão-de-obra, capacidade operacional do sistema mecanizado e porcentagens de cobertura do solo por plantas daninhas no lastro e banquetas). Pode-se destacar, ainda, a grande importância da capacidade operacional do sistema manual, do custo médio da mão-de-obra e da infestação no lastro na formação do índice de viabilidade econômica ( $I$ ).

Na Figura 6 o ponto de partida foi o valor da infestação média dos trechos avaliados na CVRD-EFVM, procurando, desta forma, representar uma média das condições de viabilidade dos sistemas na Companhia. Observa-se, inicialmente, que o  $I$  parte de um valor próximo a 0,7, indicando melhor resultado econômico no sistema mecanizado. Analisando-se o comportamento dos fatores, verifica-se que os únicos capazes de reverter a situação, dentro das faixas de variação estudadas, são o custo médio da mão-de-obra, infestação na banqueta e capacidade operacional do sistema manual. Nota-se, por exemplo, que reduções da ordem de 30% na infestação da banqueta ou reduções de 40% do custo da mão-de-obra podem tornar viável o uso do sistema manual. Vale ressaltar, entretanto, que as análises realizadas nas Figuras 5 e 6 levaram em consideração o custo da mão-de-obra da CVRD-EFVM. Para efeito comparativo, quando tal fator foi substituído pelo valor referente às empreiteiras, o  $I$  médio da companhia ficou próximo a 0,8, não alterando, portanto, a vantagem no uso do sistema mecanizado.

Assim, o modelo matemático proposto, bem como os resultados e as análises apresentadas são válidos para situações de aplicação de herbicidas em ferrovias, resguardando-se os parâmetros e as restrições inicialmente propostas. Entretanto, através de algumas modificações, é possível adaptar o modelo para as mais diversas condições de aplicação de defensivos, inclusive em áreas de produção agrícola.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a *Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) - Estação de Ferro Vitória-Minas (EFVM)*, Departamento de Meio Ambiente, pelo fornecimento das informações necessárias à realização deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

- ANTUNIASSI, U.R. Simulação operacional e econômica e desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.) semeado em janeiro, em função de dois tipos de preparo do solo e cinco modalidades de controle de plantas invasoras. Botucatu: UNESP, 1993. 141p. Tese (**Doutorado em Energia na Agricultura**).
- ANTUNIASSI, U.R., VELINI, E.D. Avaliação econômica e operacional de diferentes sistemas de controle químico de plantas daninhas em ferrovias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1992. p.2082-2096.
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307p.  
Planta Daninha, v. 14, n. 1, 1996.

- FURLANI JUNIOR, J.A., NOGUEIRA, H.C., ANTUNIASSI, U.R. Construção de protótipo de aplicador de herbicidas em ferrovias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1992a. p.2026-2034.
- FURLANI JUNIOR, J.A., NOGUEIRA, H.C., ANTUNIASSI, U.R. Estudo comparativo de parâmetros operacionais e econômicos entre a capina química e manual em ferrovias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1992b. p.2015-2025.
- MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola.** São Paulo: Ceres, 1974. 301p.
- VELINI, E.D., ANTUNIASSI, U.R. Avaliação comparativa de sistemas de controle químico de plantas daninhas em ferrovias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1992. p.2048-2057.