

## ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA COLHEITA SEMIMECANIZADA DE FEIJÃO USANDO SIMULAÇÃO DINÂMICA

ERICH LIBORIO PAIVA<sup>1</sup>, CRISTIANO MARCIO A. DE SOUZA<sup>2</sup>,  
SALVIO NAPOLEÃO S. ARCOVERDE<sup>3</sup>, TAINARA REGINA CERUTTI TORRES<sup>4</sup>,  
JOÃO PEDRO RODRIGUES DA SILVA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, FCA/UFGD, (67)99221-6929, [erich10paiva@gmail.com](mailto:erich10paiva@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Professor Associado, FCA/UFGD, Dourados-MS. [csouza@ufgd.edu.br](mailto:csouza@ufgd.edu.br)

<sup>3</sup> Doutor em Agronomia, PNP/Engenharia Agrícola, FCA/UFGD, Dourados-MS. [salvionapoleao@gmail.com](mailto:salvionapoleao@gmail.com)

<sup>4</sup> Eng. de Energia, mestranda em Engenharia Agrícola, PGEA/FCA/UFGD, Dourados-MS. [tainara\\_cerutti@hotmail.com](mailto:tainara_cerutti@hotmail.com)

<sup>5</sup> Eng. Agrícola, mestrando em Eng. Agrícolas, PGEA/FCA/UFGD, Dourados-MS. [joaopedro\\_rodrigues@hotmail.com](mailto:joaopedro_rodrigues@hotmail.com)

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

**RESUMO:** Objetivou-se simular a colheita de grãos de feijão, avaliando as perdas quantitativas e monetárias ocasionadas durante o processo de colheita semimecanizado. Para tanto, implementou-se um modelo de simulação dinâmica de uma colhedora em função da taxa de alimentação, obtida pela variação da velocidade e do número de linhas colhidas, visando minimizar as perdas monetárias. Foram utilizados como dados de entrada do modelo três velocidades (4, 7 e 10 km h<sup>-1</sup>), três tamanhos de leiras (4, 7 e 10 linhas de plantio), preço do produto, jornada de trabalho, dias disponíveis para a operação, largura de colheita e produtividade da cultura. Utilizou-se o método de integração de Euler, com passo de uma hora, no estudo temporal. A programação dinâmica permite simular perdas durante a colheita semimecanizada do feijão, bem como obter o ponto de ocorrência da mínima perda monetária.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelagem, perdas, desempenho operacional.

### TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF SEMIMECHANIZED HARVEST OF BEAN USING DYNAMIC SIMULATION

**ABSTRACT:** A dynamic simulation model of a harvester operating in semimechanized harvest of the bean was implemented according to the feed rate, obtained by the variation of the machine speed and number of row harvested, in order to minimize monetary losses. Three operation speeds (4, 7 and 10 km h<sup>-1</sup>), three number of bean rows in each harvesting line (4, 7 and 10 rows), product price, working day, days available for operation, harvest width and crop yield were used as input data of the model. The Euler integration method was used, with a one-hour step, in the temporal study. Dynamic programming allows to simulate losses during bean semi-mechanized harvesting, as well as obtaining the point of occurrence of minimal monetary loss.

**KEYWORDS:** modeling, losses, operational performance.

**INTRODUÇÃO:** Dentre as etapas do ciclo operacional de uma cultura, normalmente a colheita se destaca em razão das dificuldades e dos altos custos envolvidos, seja ela realizada de forma manual, mecanizada ou pela combinação de ambas (Souza et al., 2010). Na cultura do feijão, Silva et al. (2008) destacaram que essas dificuldades são ainda maiores pois, devido às suas características botânicas, há mais facilidade de deiscência das vagens, ocasionada pelo estágio de desenvolvimento e condições da cultura, e pela manipulação realizada por máquinas, além

de se tratar de uma cultura com tendência a acamar, dificultando sua colheita por colhedoras convencionais, para a colheita de grãos. Souza et al. (2010) estudaram as perdas mecânicas no processo de colheita semimecanizado do feijão, verificando na plataforma de recolhimento perdas de 1 a 258 kg ha<sup>-1</sup>, que foram em mais de 72,46% da área inferiores a 75 kg ha<sup>-1</sup>. Já as perdas ocorridas na plataforma de recolhimento representaram 53,3% das perdas totais provocadas pela recolhedora-trilhadora; enquanto as perdas na trilha e separação, variaram de 11 a 228 kg ha<sup>-1</sup>, onde em 74,24% da área, foram menores do que 74 kg ha<sup>-1</sup>, valores estes muito inferiores aos verificados por Johann et al. (2010). Visando rentabilidade é necessário manter boa produtividade da cultura, necessitando para tanto investigar os fatores relacionados ao manejo agrícola e ao desempenho operacional da colhedora (Joahann et al., 2010). Quanto a estes fatores, verifica-se, portanto, que no nível tecnológico atual existe ainda um bom potencial de ganho com a utilização de mecanismos dimensionados adequadamente com melhores recursos de síntese, análise e otimização. Este potencial, conforme relata Souza (2001), deve ser concentrado na área de colheita de grãos com maiores perdas, como soja e feijão. Portella (1997) sugere, como meios para reduzir as perdas, o desenvolvimento de metodologias para regulação de colhedoras, assim como o uso de novos mecanismos que potencializem o desempenho da máquina. Além disso, uma ferramenta de grande potencial é a simulação, pois pode-se avaliar vários cenários de colheita, buscando aquele que proporcione maior rendimento. Assim, objetivou-se, com este trabalho, simular a colheita de grãos de feijão, avaliando as perdas quantitativas e monetárias ocasionadas durante a colheita semimecanizada.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Projeto de Máquinas da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados. A perda de produto ocasionada pela máquina foi simulada utilizando-se o programa computacional PowerSim, versão 2.01. Nas simulações, utilizou-se a cultura do feijão, sendo a máquina uma colhedora de arrasto modelo “Double Master” com sistema de trilha em fluxo axial. As variáveis investigadas foram: taxas de alimentação da máquina, obtidas pela variação do número de linhas de feijão na leira e da velocidade de trabalho da máquina, mantendo-se a rotações do cilindro trilhador constante. A abertura entre cilindro e côncavo foi 20 mm. As simulações foram realizadas usando-se o modelo de perdas proposto por Souza (2001), conforme Equação 1. Nessa equação a perda (p) pode ser determinada conhecendo-se a velocidade de trabalho da máquina (V) e o número de linhas de feijão na leira (L), uma vez que assim tem-se a taxa de alimentação da máquina. Esta equação foi selecionada, porque ela é para a máquina trabalhando com 420 rpm no cilindro trilhador da máquina, pois, segundo Souza (2001) nessa rotação os dados mecânicos foram menores.

$$p = 866,412 - 9,514V - 198,197L + 13,955L^2 \quad (1)$$

em que, V – velocidade de trabalho da máquina, km h<sup>-1</sup>; L – número de linhas de feijão na leira; p – perdas de grãos, kg ha<sup>-1</sup>.

A Figura 1 apresenta o diagrama de fluxo do modelo de simulação implementado. Nele, por meio da largura e da velocidade de trabalho da máquina, número de linhas de feijão na leira, da produtividade da cultura, da jornada de trabalho diária e do preço do feijão foi possível realizar inúmeras simulações de perdas quantitativa da colhedora. A produtividade da cultura usada como entrada de dados do modelo foi de 2.300 kg ha<sup>-1</sup>, por ser aquela relacionada com a obtenção da Equação 1. O preço do feijão foi obtido para a variedade Carioca, classificado como tipo 1. Nas simulações assumiu-se que a jornada de trabalho era de 7 horas por dia e a colheita era realizada em 20 dias. Utilizou-se o método de integração de Euler, com passo de uma hora, no estudo temporal. Em cada simulação foram obtidos a massa de grãos colhidos e perdida, área total colhida, a eficiência da máquina na colheita, as receitas e as perdas monetárias envolvidas no processo, a capacidade de colheita e o índice de perdas monetárias

(IPM). A taxa de alimentação foi obtida usando a Equação 2. O IPM foi obtido do quociente entre a perda monetária e a sua soma com a margem bruta. A capacidade de colheita foi determinada pela relação entre a massa colhida e o tempo gasto na colheita.

$$Tx = \frac{Lc \cdot V \cdot Pd}{36000} \quad (2)$$

em que, Tx - taxa de alimentação da máquina, kg s<sup>-1</sup>; Lc - largura equivalente da plataforma de recolhimento, m; Pd - produtividade do feijoeiro, kg ha<sup>-1</sup>.

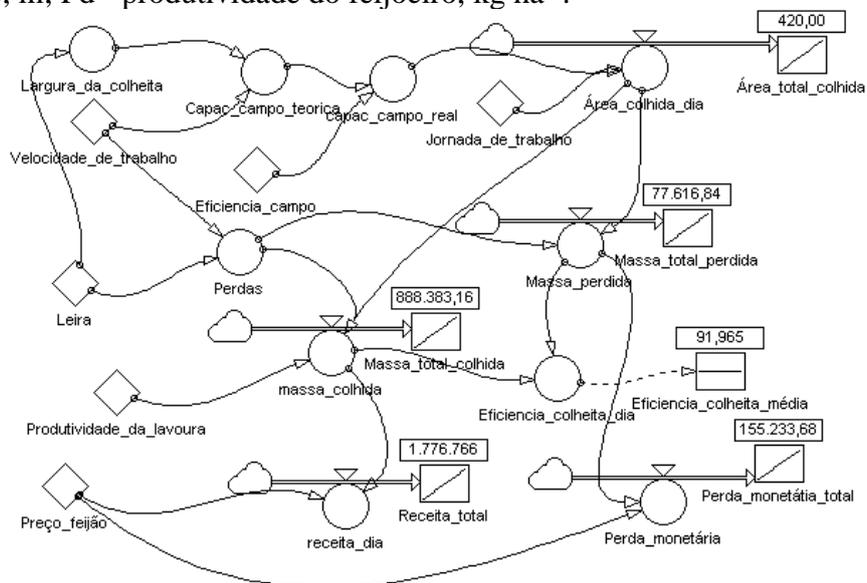


FIGURA 1. Diagrama de fluxo do modelo de simulação implementado.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 são apresentados os valores de eficiência de colheita, massa de produto colhida e perdida, receita e perda financeira em função da velocidade de trabalho e número de linhas de feijão na leira. Analisando-se os resultados de perda da colhedora, para um mesmo número de leiras, verifica-se que, aumentando-se a velocidade de deslocamento da máquina, as perdas diminuíram.

TABELA 1. Resultados das simulações das variáveis em função da velocidade de trabalho e número de linhas de feijão na leira.

V km h <sup>-1</sup>	Capacidade de colheita Mg h <sup>-1</sup>	Taxa de alimentação kg s <sup>-1</sup>	Massa colhida ----- kg ha <sup>-1</sup> -----	Massa perdida	Perdas ---- R\$ ha <sup>-1</sup> ----	Receita	IPM %
5 linhas na leira							
5	1,59	0,83	2.123,24	176,67	580,00	6.970,59	7,68
8	2,58	1,33	2.151,79	148,21	486,59	7.064,31	6,44
10	3,26	1,66	2.170,86	129,14	423,98	7.126,92	5,61
7 linhas na leira							
5	2,29	1,16	2.184,76	115,24	378,33	7.172,57	5,01
8	3,72	1,86	2.213,27	86,73	284,75	7.266,15	3,77
10	4,69	2,33	2.232,31	67,69	222,22	7.328,68	2,94
10 linhas na leira							
5	3,10	1,66	2.067,62	232,33	762,75	6.787,99	10,10
8	5,03	2,66	2.096,16	203,81	669,11	6.881,70	8,86
10	6,35	3,32	2.115,19	184,81	606,73	6.944,17	8,04

Fonte: DERAL/DEB - SEAB/PR, 28/08/2020: Preço da saca do feijão carioca de R\$ 196,98 saca<sup>-1</sup>. V – velocidade de trabalho. IPM – índice de perdas monetárias.

A menor perda foi apresentada na leira de 7 linhas e velocidade de trabalho de  $10 \text{ km h}^{-1}$ , cujo valor esteve na faixa de 3 a 5%, segundo Souza et al. (2010), esses resultados foram satisfatórios, pois esse é um nível aceitável. Nesse cenário, apesar de apresentar menor receita, a relação entre a perda e a receita foi a maior. A taxa de alimentação de grãos da máquina de  $1,94 \text{ kg s}^{-1}$  proporcionou o menor IPM médio esperado por hectare, no entanto a taxa de  $2,33 \text{ kg s}^{-1}$  proporcionou o mínimo índice de perda global (Figura 2A). Esse intervalo de taxa de alimentação deve ser usado para a melhor regulagem da combinação entre a velocidade e o tamanho da leira, visando a menor perda monetário na colheita do feijão. Entre o mínimo esperado e o mínimo global pode-se atingir as capacidades de colheita de  $3,75$  a  $4,51 \text{ Mg h}^{-1}$  (Figura 2B).

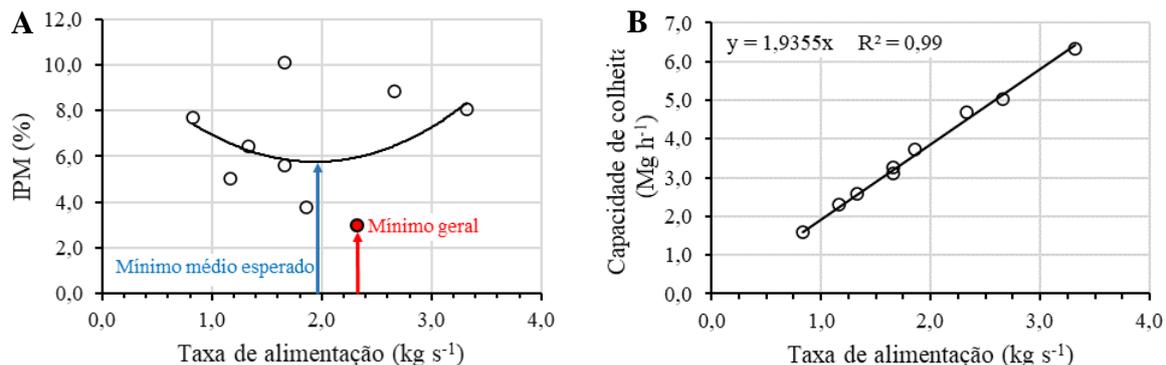


FIGURA 2. Índice de perdas monetária (IPM, A) e capacidade de colheita (B) em função da taxa de alimentação da máquina.

**CONCLUSÕES:** A programação dinâmica permite simular perdas durante a colheita semimecanizada do feijão, bem como obter o ponto de ocorrência da mínima perda monetária.

**AGRADECIMENTOS:** Ao PIBIC/CNPq/UFGD, pela bolsa concedida ao 1º autor, à CAPES, pelas bolsas de pós-doutorado concedida ao 2º autor e de mestrado concedida ao 5º autor.

#### REFERÊNCIAS:

JOHANN, J.A.; SILVA, M.C.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; DALPOSSO, G.H. Variabilidade espacial da rentabilidade, perdas na colheita e produtividade do feijoeiro. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.4, p.700-714, 2010.

PORTELLA, J. A. **Perdas de trigo, de soja e de milho x umidade do grão durante a colheita mecanizada**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, Campina Grande. Resumos... Campina Grande: SBEA, 1997. CD Rom.

SILVA, R.P.; REIS, L.D.; REIS, G.N.; FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; CORTEZ, J.W. Desempenho operacional do conjunto trator-recolhedora-trilhadora de feijão. **Ciência Rural**, v.38, n.05, p.1286-1291, 2008.

SOUZA, C.M.A. **Avaliação e simulação de desempenho de uma colhedora de fluxo axial para feijão**. 2001. 113p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SOUZA, C.M.A.; BOTTEGA, E.L.; VILELA, F.V.; RAFUL, L.Z.L.; QUEIROZ, D.M. Espacialização de perdas e da qualidade do feijão em colheita semimecanizada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, n.02, p.201-208, 2010.