

# DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE MECANISMOS ARTICULADOS PARA O SEGUIMENTO DO PERFIL DO SOLO EM PROCESSOS DE COLHEITA<sup>1</sup>

Gilberto Alonso MURCIA<sup>2</sup>, Oscar Antonio BRAUNBECK<sup>3</sup>

**RESUMO:** O trabalho propõe um mecanismo de quatro barras para acompanhamento do perfil do solo visando minimizar perdas de soja na plataforma da colhedora. A força de interação solo-garfo foi obtida da equação de movimento do mecanismo e reduzida de 22,5 para 9,3 N usando o comprimento das barras e a constante da mola como variáveis de projeto no processo de otimização. As restrições do caso foram os comprimentos das barras juntamente com as posições angulares e faixa de oscilação vertical do garfo.

**PALAVRAS-CHAVES:** Mecanismos, quatro barras, otimização, colheita, soja

**ABSTRACT:** An optimized four-bar linkage is proposed to reduce soybean header losses. It consist of a floating fork closely following the soil surface to lift and feed branches and pods to the flexible cutter bar. Soil-fork interaction force was obtained from the linkage equation of motion and reduced from 22,5 to 9,3 N using linkage bar lengths and spring stiffness as design variables of the optimization process. Constraints included upper and lower limits for bar lengths as well as angular positions and vertical range of motion of the lifting fork.

**KEYWORDS:** Mechanisms, Four-bar, Optimization, harvesting, soybeans

**INTRODUÇÃO:** A estrutura baixa das plantas como a soja dificulta sua colheita provocando perdas de grãos da ordem 10 %, sendo que 90 % das mesmas originam-se na plataforma de corte da colhedora. Condições climáticas adversas e variedades inadequadas à mecanização resultam em vagens rentes ao solo, o que somado às irregularidades do terreno provocam as referidas perdas ainda que utilizando a barra de corte flexível que sofre uma acomodação ao terreno transversalmente à linha de marcha. A solução proposta consiste no seguimento do perfil de solo ao longo de uma linha longitudinal ao deslocamento, promovendo a elevação de ramos e vagens deitados junto ao solo para serem cortadas posteriormente pela barra flexível. Foi escolhido um mecanismo de quatro barras onde uma mola de translação colocada entre as barras fixa e acionadora proporciona a força necessária para manter o contato garfo-solo durante os efeitos dinâmicos da operação. A trajetória da ponta do garfo aproxima-se de uma reta que visa gerar movimentos de retração e elevação simultâneos.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A metodologia empregada consistiu basicamente num predimensionamento das barras através da síntese cinemática e recursos de programação convencional. A cinemática é obtida a partir da figura 1; isto é, os “loops” que descrevem o mecanismo de quatro barras e o mecanismo-solo, são escritos em forma de equação, obtendo um sistema de quatro equações que resolvidas definem as posições angulares das barras móveis e a posição horizontal do ponto **P** (extremo do garfo), com respeito ao o ponto **O**. As velocidades e acelerações surgem derivando com respeito ao tempo o sistema de equações de posição. Do equilíbrio dinâmico, utilizando o princípio de **Newton-Euler**, resultam 9 equações com 9 incógnitas: componentes

<sup>1</sup> Parte da dissertação de doutorado em andamento na UNICAMP com apoio da FAPESP

<sup>2</sup> Estudante de Pós-graduação de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP CEP 13081-970 Campinas, SP - Brasil. E-mail: Gilberto@agr.unicamp.br

<sup>3</sup> Professor Dr. FEAGRI/UNICAMP CEP 13081-970 Campinas, SP - Brasil. E-mail: Oscar@agr.unicamp.br

horizontal e vertical de força de cada articulação e a força de contato com o perfil de solo. O sistema anterior pode ser expressado e resolvido para obter as incógnitas no tempo da forma matricial seguinte:

$$[L][F_B] = [F_I] \quad (1)$$

$[L]$  - Matriz quadrada em função dos parâmetros de posição e propriedades do mecanismo,  $[F_B]$  - Vetor coluna das forças nas articulações e na ponta do garfo catador,

$[F_I]$  - Vetor coluna das forças e torques conhecidos.

Para a otimização, da equação (1), a força de contato garfo-solo pode ser determinada pela regra de cramer e com a ajuda da linguagem simbólica do software *Mathematica*; esta equação representara a função objetivo a ser minimizada. Minimizar:  $F(x, p)$ , Sujeito a:  $h_j(x, p)$ , onde  $F(x, p)$  é a função objetivo que representa a força vertical de interação solo-garfo, a qual para um certo instante é função apenas das variáveis de projeto  $x$  (comprimentos das barras fixa, acionadora, acopladora, seguidora e constante da mola de translação) e os parâmetros  $p$ . A função dependente  $h_j(x, p)$  restringe a relação entre as variáveis de projeto de forma a satisfazer exigências de projeto; neste caso particular existem restrições de espaço e trajetória da ponta do garfo catador. Os resultados obtidos das rotinas de otimização utilizados posteriormente na solução da equação (1), foram comparados e simulados através do software *ADAMS*. A nível de laboratório foi construído o mecanismo e um outro simulador do perfil do solo e medida a força vertical atuante no extremo do garfo. Para otimização e parte experimental foi considerada uma velocidade de deslocamento da colhedora de 1,38 m/s e um perfil senoidal de solo com amplitude de 0,04 m. e período de 0,5 m (0,36 s).

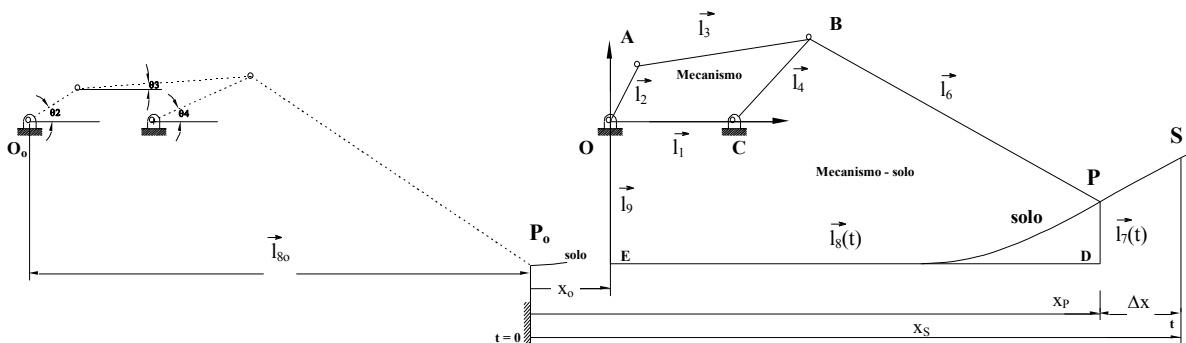


Figura 1. Mecanismo de quatro barras - vetores de posição

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Após minimizar a função objetivo sujeita a restrições, obteve-se a força vertical  $F_V$  máxima correspondente a  $t = 0.26$  s, minimizada, cujo valor caiu de 22.46 N para 9.3 N (figura 2) com as dimensões registradas na tabela 1. Esse ganho torna-se altamente significativo em termos da redução da área de contato garfo-solo necessária perante o limitado espaço disponível. Os resultados do equacionamento proposto comparam satisfatoriamente com as simulações efetuadas em *ADAMS* para o modelo otimizado, o qual permite complementar e documentar o estudo da interação  $F_v$  nesse software para outras geometrias de terreno e velocidade de operação. O equacionamento adotado de Newton-Euler mostrou-se adequado e razoavelmente amigável quando auxiliado pelo processamento simbólico do software *Matematica* na sua interface de programação para acesso às rotinas de otimização.

**CONCLUSÕES:** Do trabalho proposto pode-se concluir que é possível obter as dimensões ótimas de um mecanismo de quatro barras, apto para acompanhar um perfil de solo em processos de colheita mecanizada, de maneira que a força de contato garfo-solo seja mínima, evitando afastamentos ou afundamentos do garfo da superfície do solo, que resultariam em perdas de produto ou contaminação do mesmo com terra.

Tabela 1. Variáveis, parâmetros e restrições do mecanismo para as situações inicial e ótima com  $\mu=0$ .

Variáveis de projeto	Dimensões iniciais do projeto			Otimizadas
	t=0 s	t=0,19 s	t=0,26 s	t=0,26 s
Comprimento da barra fixa L1 (m)	0,082	0,082	0,082	0,0800
Comprimento da barra acionadora L2 (m)	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
Comprimento da barra acopladora L3 (m)	0,1124	0,1124	0,1124	0,1140
Comprimento da barra seguidora L4 (m)	0,0676	0,0676	0,0676	0,0700
Constante da mola de translação Kt (N/m)	1000	1000	1000	450
<b>Parâmetros</b>				
Posição angular inicial da barra de entrada $q_1$ (°)	30	30	30	30
Ângulo interno acoplador-garfo (barras 3-6) $\varphi$ (°)	150	150	150	150
Comprimento do garfo catador L6 (m)	0,248	0,248	0,248	0,248
<b>Objetivo</b>				
Força vertical no garfo catador (N)	8,61	18,67	22,46	9,3

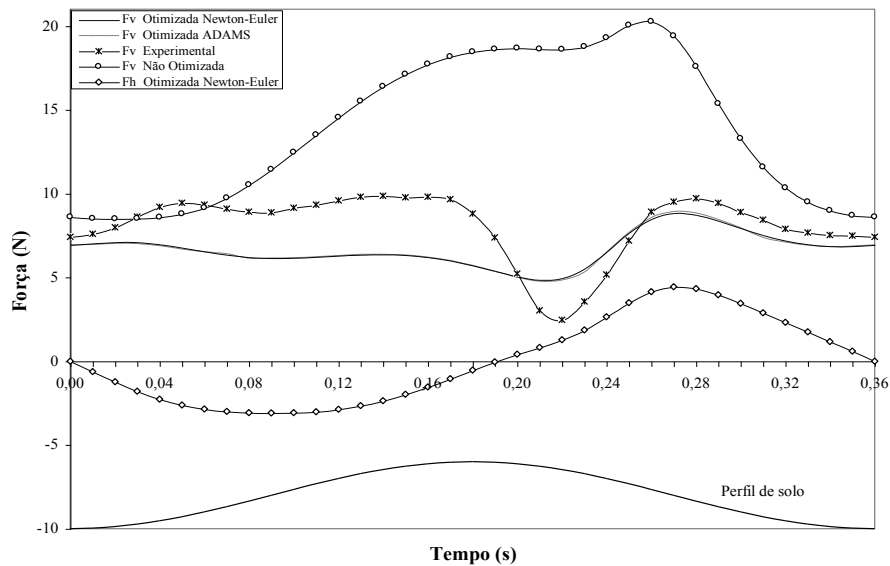


Figura 2. Componentes de força vertical obtidos através dos modelos Newton-Euler, ADAMS e experimental nas situações inicial e ótima.