

Suspensão pantográfica para corte de base de cana-de-açúcar

Pantographic suspension for sugar cane base cutter

Guilherme Ribeiro Gray¹ Paulo Sergio Graziano Magalhães^{1*} Oscar Antônio Braunbeck¹

RESUMO

A colheita da cana-de-açúcar envolve cinco operações básicas, que são o corte dos colmos na base, o corte dos colmos no ponteiro, a alimentação dos colmos para o interior da colhedora, a retirada das folhas e a picagem do colmo, que é opcional. No entanto, ainda hoje há uma carência de processos para efetuar estas operações de forma eficiente. O corte de base utilizado nas colhedoras convencionais é composto de discos duplos posicionados na entrelinha, entretanto, não é adaptado para o sistema de plantio no sulco e, como não apresenta recursos de flutuação independente para cada disco, implica a movimentação de grande quantidade de solo. A ausência de mecanismo flutuante provoca aumento dos índices de impurezas na carga, que implicam a redução da qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida para moagem e perdas de cana no campo, além de que requer alta potência para cortar e movimentar o volume de solo. A presente pesquisa teve por objetivos projetar, simular, construir e avaliar em caixa de solo uma suspensão pantográfica para o cortador basal de cana-de-açúcar para ser aplicado em sistema semimecanizado de colheita. As simulações permitiram a obtenção da rigidez da mola da suspensão pantográfica e sua deformação na montagem de forma que permitisse a flutuação do mecanismo de corte basal sobre o perfil do solo. Tal condição pôde ser obtida na medida em que a força de interação patim-solo fosse mínima e não nula. A suspensão pantográfica projetada foi construída e montada em caixa de solo para avaliação em perfil de solo senoidal com amplitude entre 25mm e 50mm e distância entre sulcos de 1,5m. Os resultados demonstraram que o mecanismo projetado realiza o seguimento do perfil do solo de forma satisfatória com erro médio de 8mm e 9mm para as velocidades de deslocamento da colhedora de 0,14m s⁻¹ e 0,42m s⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: simulação, auxílio mecânico, máquinas agrícolas.

ABSTRACT

Sugar cane harvester performs five simple operations involving cutting of the stems in the base and in the top, feeding of the stems into the interior of the harvester, removing the leaves and cutting the stem in billets, which is optional. However, nowadays, there is a lack of processes to make these operations in an efficient way. The base cutter used in the conventional harvesters is made of double discs positioned in the inter row, however it is not adapted for the furrow planting system used in Brazil, and since it does not present capability of independent flotation for each disk, it causes the movement of a great amount of soil. This research project aimed to design, simulate, construct and evaluate in soil bin a four bar linkage suspension for a sugar cane base cutter to be used in a semi-mechanized harvesting system. The simulations allowed determining the suspension spring stiffness and its initial deformation in order to guarantee the flotation of the mechanism on the soil profile. The mechanism designed was built and mounted on a soil bin carriage for evaluation of the tracking performance of the base cutter when moving on a soil sine wave profile with amplitude of 25 and 50mm and 1.5m length. The results show that the mechanism accomplishes its objectives satisfactory with errors between 8 and 9mm for forward speeds of 0.14m s⁻¹ and 0.42m s⁻¹ respectively.

Key words: simulation, harvesting-aid, agricultural machines.

INTRODUÇÃO

O Brasil, com uma produção de 475 milhões de toneladas na safra 2007/2008, é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o primeiro país do mundo a implantar, em larga escala comercial, um combustível

¹Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Av. Candido Rondon, 505, Cidade Universitária Zeferino Vaz, 13083-875, Campinas, SP, Brasil. E-mail: graziano@agr.unicamp.br. *Autor para correspondência.

renovável alternativo ao petróleo produzido a partir da cana (CONAB, 2007). Apesar disso, o país apresenta baixos índices de mecanização da colheita da cana-de-açúcar, enquanto que em alguns países produtores, como Estados Unidos e Austrália, esse patamar é de 100%. O sistema convencional de colheita mecanizada, que surgiu na Austrália na década de 1950, não possui um processo de corte e alimentação dos colmos de cana-de-açúcar adequado, uma vez que o próprio sistema de corte de base realiza a alimentação, submetendo os colmos a esforços de flexão que frequentemente provocam a quebra dos mesmos ou a remoção das raízes das plantas em canaviais deitados. Outro ponto desfavorável é que muitas usinas não podem utilizar todo o potencial dessas colhedoras. Fatores como tamanho da fazenda, forma do talhão, espaçamento das fileiras no plantio, pedras, falhas no gerenciamento e na manutenção, problemas de logística, treinamento de operadores, recepção da matéria-prima na indústria, alto custo de aquisição e, principalmente, áreas com topografia inclinada atuam contra o desempenho econômico aceitável das colhedoras de cana picada.

Diante da necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias para a colheita da cana-de-açúcar, BRAUNBECK & MAGALHÃES (2004) propuseram uma alternativa tecnológica orientada à colheita de cana-de-açúcar, sem queima prévia, que opere em terrenos declivosos e que minimize o impacto do desemprego no meio rural provocado pela colheita mecanizada convencional. O equipamento mostrado na figura 1, denominado auxílio mecânico (UNIMAC-

Cana), auxilia a colheita manual, realizando mecanicamente as operações de corte de base, corte dos ponteiros, remoção das folhas e condução dos colmos até a caçamba armazenadora, deixando para o homem as funções de manuseio dos colmos após o corte de base, passando pelo despontamento e conduzindo o material até a unidade de despalhamento.

Durante o desenvolvimento do UNIMAC-Cana, o sistema de corte basal foi considerado item de grande importância, tendo em vista que influencia diretamente a qualidade da cana fornecida para a indústria. MAGALHÃES & BRAUNBECK (1998) relatam que o mecanismo de corte de base das colhedoras convencionais, composto de discos duplos posicionados na entrelinha, não é adaptado para o sistema de plantio no sulco, predominante no Brasil, pois, como não apresenta recursos de flutuação independente para cada disco, acaba, para poder cortar o colmo rente a superfície, cortando também grande quantidade de solo, que é encaminhada ao interior da colhedora, sendo transportada junto com a carga para a usina ou ficando aderida na colhedora, causando danos consideráveis aos seus componentes.

Diante do exposto, a presente pesquisa teve por objetivos projetar, simular, construir e avaliar em caixa de solo uma suspensão pantográfica para o cortador basal de cana-de-açúcar para ser aplicado em sistema semimecanizado de colheita.

MATERIAL E MÉTODOS

A unidade de corte e alimentação de cana-de-açúcar que foi utilizada no UNIMAC-Cana é

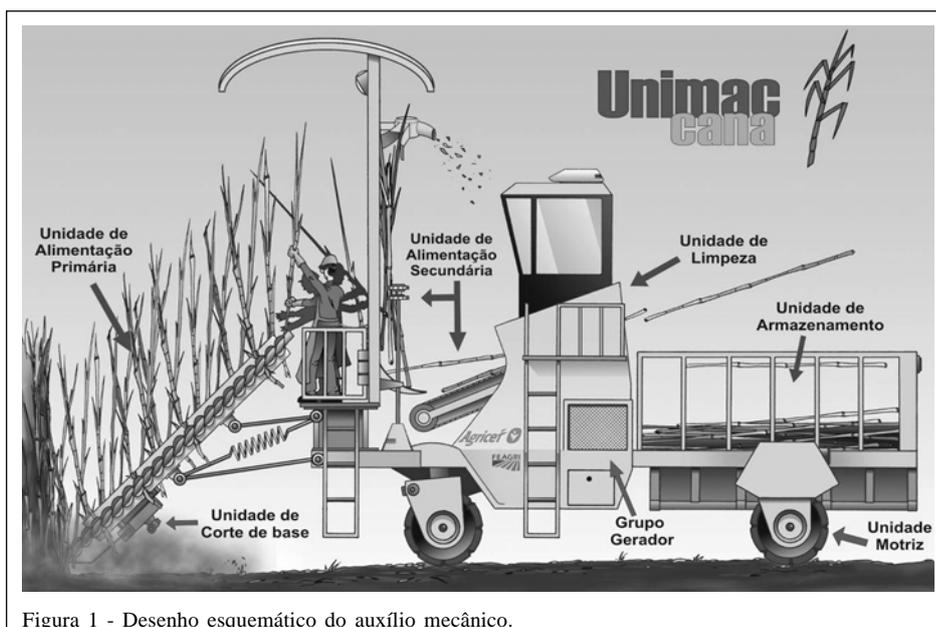


Figura 1 - Desenho esquemático do auxílio mecânico.

sustentada por um mecanismo pantográfico composto por quatro barras, permitindo sua flutuação sobre o perfil do solo, conforme apresentado na figura 2. Inicialmente, o mecanismo de quatro barras foi pré-dimensionado virtualmente, em função das características operacionais da colheita de cana-de-açúcar em sistema de cana crua e inteira, para o corte de uma linha, e das condições de colheita encontradas nas interações máquina-solo. A partir deste pré-dimensionamento, foi feita uma análise dinâmica do mecanismo e foram realizadas simulações utilizando o programa computacional Matlab® 6.5.

O programa em Matlab®, adaptado de acordo com o modelo desenvolvido por VOLPATO et al. (2005), permitiu o dimensionamento da suspensão pantográfica por meio do cálculo da constante da mola de suspensão envolvendo a força de interação solo-patim no ponto de apoio, a qual surge da solução do sistema de equações diferenciais não-lineares. O modelo matemático permite calcular as reações nas articulações das barras do mecanismo e a reação do perfil no ponto de contato com o patim. O objetivo era manter a flutuação da estrutura de sustentação de modo que o dispositivo de corte basal conseguisse manter o contato o mais contínuo possível com o perfil do solo. Esse objetivo foi atingindo alterando-se as variáveis de projeto para que a magnitude da força vertical de interação entre o mecanismo e o perfil do solo fosse mínima e não nula durante o movimento do cortador sobre as irregularidades do perfil.

O mecanismo dimensionado foi construído em escala real e avaliado experimentalmente em caixa de solo. A avaliação consistiu na comparação entre a

trajetória real do patim e a trajetória ideal definida pelo perfil do solo verificando a ocorrência de afastamentos ou afundamentos do patim no solo. Além disso, foi medida a reação do solo no patim permitindo avaliar também a magnitude da força de interação patim-solo.

O conjunto caixa de solos foi composto por um tanque de solos com 15m de comprimento, 2m de largura e 1,5m de profundidade e um carro porta-ferramentas acionado por transmissão hidrostática, que permite variação da velocidade de forma contínua e instrumentação necessária para seu controle. O carro porta-ferramentas consistiu de estrutura metálica na qual são montados os equipamentos de preparo de solos, lâmina niveladora, rolo compactador e sistema de pulverização para controle da umidade do solo. O protótipo do cortador de base foi montado no carro porta-ferramenta, sendo utilizadas para o ensaio duas velocidades de deslocamento $0,14\text{ m s}^{-1}$, que corresponde à velocidade de projeto de deslocamento do auxílio mecânico de $0,5\text{ km h}^{-1}$, e $0,42\text{ m s}^{-1}$; velocidade três vezes superior à velocidade de projeto. O solo de textura franco argilo-arenoso foi trabalhado para formar camada de 200mm de profundidade. Esta camada foi preparada pela sobreposição de camadas de solo de aproximadamente 50mm, que eram compactadas, escarificadas superficialmente e umedecidas de forma a obter consistência uniforme. As camadas de solo foram superpostas de tal forma que a superfície final apresentava perfil senoidal com amplitude entre 25mm e 50mm e distância entre sulcos de 1,5m. A resistência e a uniformidade da camada de solo foram verificadas de acordo com as normas ASAE S313.3 (2008) utilizando-se o penetrômetro eletrônico da DLG, modelo

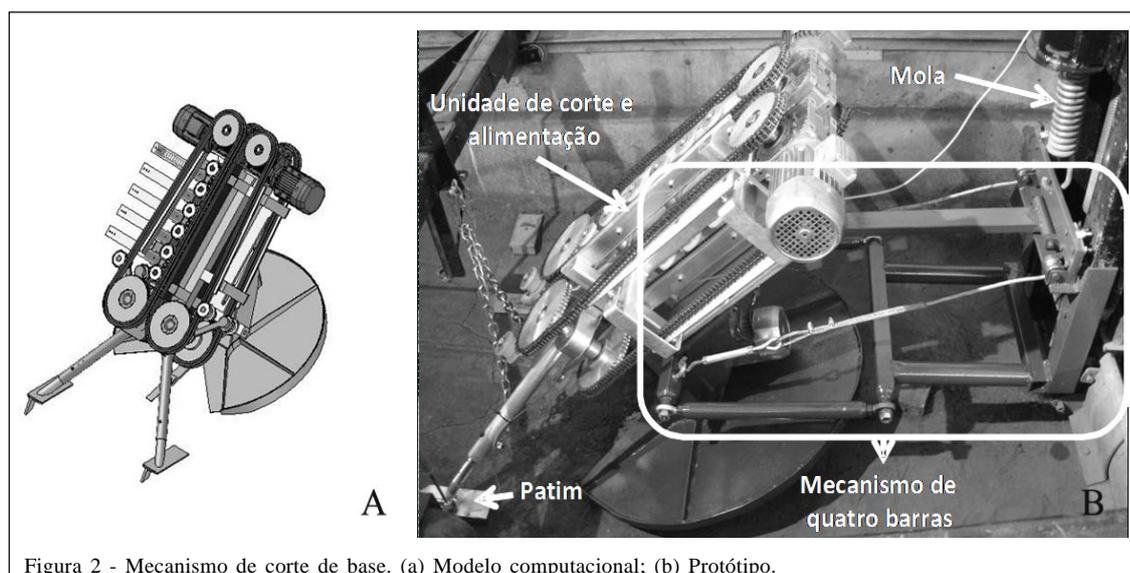


Figura 2 - Mecanismo de corte de base. (a) Modelo computacional; (b) Protótipo.

PNT 2000. A tabela 1 apresenta o resultado das análises realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (FEAGRI). O valor do índice de cone apresentado está dentro da faixa obtida por BIANCHINI (2002) em levantamento de campo para um canal de quarto corte, em colheita mecanizada sem queima prévia, que variaram entre 1,77 e 4,48MPa.

Os dados registrados e coletados durante os ensaios foram: força de interação do patim com o perfil do solo medida utilizando-se uma célula de carga da marca GEFTRAN, modelo TU-K1M, com capacidade de 10kN e sensibilidade de 2mV V^{-1} , fixada no extremo frontal inferior do mecanismo de seguimento do perfil do solo; a distância entre o perfil e o patim, medida por meio de transdutor de deslocamento linear do tipo potenciométrico da marca GEFTRAN, modelo PCM-450-E, com capacidade de até 450mm, fixado na extremidade frontal do mecanismo, próximo da célula de carga; a distância entre o carro porta-ferramentas e o perfil do solo; e os pulsos gerados pelo cabeçote indutivo utilizado para medir a velocidade de deslocamento do carro porta-ferramenta. Além dos sensores mencionados, foi necessário montar um transdutor de deslocamento linear para o levantamento do perfil do solo por onde o patim se deslocava utilizando um transdutor da marca GEFTRAN, modelo PCM-450-E, que foi adaptado em uma roda que ficava em contato permanente com o solo. A outra extremidade do transdutor foi presa em ponto fixo do carro porta-ferramentas de forma que a leitura obtida correspondesse aos desníveis do perfil do solo.

Os sensores foram conectados ao sistema de aquisição de dados Spider 8, da HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Germany), à taxa de aquisição de 400Hz, sendo realizadas 10 repetições para cada velocidade de deslocamento do carro porta-ferramentas e para cada amplitude.

Tabela 1 - Propriedades físicas do solo da caixa de solo.

Textura do solo	Franco argilo-arenoso
Granulometria	
Areia (0,05-2,0mm)	55,7%
Silte (0,002-0,05mm)	11,0%
Argila (<0,002mm)	33,3%
Proctor Normal	
Umidade ótima	17,3%
Densidade máxima	$1,72\text{Mg m}^{-3}$
Densidade do solo	$1,57\text{Mg m}^{-3}$
Índice de cone (camada 0 a 100mm)	1,88MPa - CV21,6%
Umidade (bs)	12,7%

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas características dimensionais do mecanismo proposto, conforme apresentado no modelo vetorial da figura 3, foram feitas as adaptações necessárias no modelo apresentado por VOLPATO et al. (2005), variando a constante elástica da mola e sua deformação inicial até que se obtivesse como resultado a flutuação do mecanismo sobre o perfil do solo com afastamentos e afundamentos mínimos, analisando-se a magnitude da força normal da reação do solo no patim. Dessa forma, foi determinado que a rigidez da mola deveria ser de 50.000N m^{-1} e sua deformação inicial na montagem do mecanismo deveria ser de 0,18m. As forças mínima, média e máxima foram 289, 393 e 530N, respectivamente, com amplitude máxima de 242N para a velocidade de $0,14\text{m s}^{-1}$ e 232, 393 e 607N com amplitude máxima de 375N para a velocidade de $0,42\text{m s}^{-1}$. O protótipo construído de acordo com os resultados obtidos nas simulações foi testado em caixa de solo e os resultados obtidos estão mostrados na figura 4(a) e (b) a $0,14$ e $0,42\text{m s}^{-1}$, respectivamente. Comparando a força de reação do solo obtida experimentalmente com a força simulada no Matlab®, nota-se que os comportamentos de ambas são semelhantes com pontos de máximas forças bastante próximos. Observa-se que há uma defasagem das ondas experimental e simulada em alguns pontos. Esta defasagem ocorre devido ao fato de as ondas experimentais não possuírem distância entre sulcos perfeitamente iguais e, no caso do modelo, foi utilizado um modelo de superfície senoidal. Outro fato que se pode observar nos gráficos é que os pontos de mínimo da força obtida experimentalmente ficam em torno de 10 a 15N e, no caso da força simulada, estes valores são da ordem de 280 a 330N. Esta diferença está no fato de o modelo não considerar o atrito nas articulações e nas roldanas do mecanismo e, devido às forças de grande magnitude envolvidas no mecanismo, este atrito se torna significativo, tornando o movimento do mecanismo do protótipo bastante amortecido. Este fato pode ser solucionado incorporando o atrito no modelo ou ainda minimizando o atrito no protótipo fazendo o uso de rolamentos e lubrificação nas articulações e nas roldanas. De forma geral, observou-se que o afastamento médio para a velocidade de $0,14\text{m s}^{-1}$ foi de 8,46mm e para a velocidade de $0,42\text{m s}^{-1}$ foi de 9,12mm.

CONCLUSÃO

A simulação utilizando o Matlab® mostrou-se adequada, pois permitiu o estudo do comportamento

dinâmico da suspensão, o dimensionamento da mola do mecanismo e a obtenção da força de interação entre o perfil do solo e o patim. A suspensão pantográfica representa uma solução adequada para a sustentação da unidade de corte e a alimentação do auxílio mecânico para a colheita de cana-de-açúcar (UNIMAC-Cana), uma vez que o protótipo construído com base nos resultados das simulações realizou de forma satisfatória o seguimento do perfil do solo, tendo apresentado afastamentos e afundamentos mínimos para as velocidades avaliadas.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro ao projeto, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ASAE Standards, ed. 51. S313.3 - **Soil cone penetrometer**. St. Joseph, Mich.: ASABE, 2008. p.979-981.

BIANCHINI A. et al. Penetrógrafo eletrônico automático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p. 332-336, 2002

BRAUNBECK, O.A.; MAGALHÃES, P.S.G. Colheita sustentável com aproveitamento integral de palha. **Visão Agrícola**, v.1, n.1, p.72-78, 2004.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-Açúcar Safra 2007/2008, terceiro levantamento, novembro/2007**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2007. 13p.

MAGALHÃES, P.S.G; BRAUNBECK O.A. Colheita de cana-de-açúcar: atualidade e perspectiva. In: CONGRESSO DE INGENIERÍA RURAL Y MECANIZACIÓN AGRARIA EN EL AMBITO LATINOAMERICANO, 1998, La Plata, Argentina. **Anais...** La Plata, Argentina: EUNLP, 1998. p.262-273.

VOLPATO, C.E.S. et al. Modelo dinâmico de simulação e otimização da força normal de reação do solo para um mecanismo de corte basal. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.436-446, 2005.