

Mecanização

Colheita sustentável, com aproveitamento integral da cana

Oscar Antonio Braunbeck e Paulo Sérgio Graziano Magalhães *



SÍLVIO FERREIRA/DUNCA

Colheita mecanizada na Usina da Barra; Barra Bonita, SP; novembro 2001

A mecanização total ou parcial apresenta-se, atualmente, como única opção para a colheita da cana, seja do ponto de vista ergonômico ou econômico, ou ainda – e principalmente – do ponto de vista ambiental, já que apenas o corte mecânico viabiliza a colheita sem queima prévia, o que, por sua vez, permite o aproveitamento do palhicho. A evolução lenta da colheita mecânica no Estado de São Paulo e no país permite concluir, mesmo sem abordar detalhes técnicos, que as soluções tecnológicas disponíveis não são suficientemente competitivas para atrair os usuários. Ou seja, existem limitadores que restringem sua implementação. Este trabalho propõe uma alternativa tecnológica orientada à colheita de cana crua, em terrenos declivosos com maior preservação do emprego no meio rural. O equipamento auxilia a colheita manual, realizando-se 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, até a unidade de despalhamento.

A colheita da cana-de-açúcar processou-se, historicamente, de forma totalmente manual, desde o corte da base, até o carregamento. Um primeiro passo no sentido da mecanização foi a introdução do carregamento mecânico dos colmos inteiros. Na década de 1950, surgiu, na Austrália, o princípio mecânico de colheita atualmente utilizado no Brasil, que combina a operação de colheita com a de carregamento. Trata-se de equipamento que corta uma linha por vez, utilizando um veículo que trafega paralelamente à colhedora, para receber a matéria-prima e separar boa parte das folhas e ponteiros, lançando-os ao solo da área colhida. Os processos convencionais de colheita manual ou mecânica, com queima prévia, que visam apenas ao aproveitamento dos colmos, são consti-

tuídos por uma seqüência de operações simples, que inclui o corte da base, do ponteiro e a picagem ou empilhamento dos colmos. Em ambos os casos, o aproveitamento do palhicho não faz parte do processo de colheita. Conseqüentemente, esse é separado dos colmos, mesmo que parcialmente, e deixado no campo, para posterior recuperação. No caso do corte manual, a colheita sem queima prévia acarreta restrições ergonômicas e econômicas que inviabilizam a operação.

Atualmente, essa concepção da colheita está sofrendo modificações, em função de restrições legais e ambientais ao processo de queima, juntamente com a entrada em foco do aproveitamento do palhicho, para aplicações não consolidadas ainda comercialmente, tais como geração de energia e cobertura vegetal para agricultura convencional ou orgânica. Perfila-se dessa forma um novo conceito de colheita da cana-de-açúcar, sem queima prévia, que visa ao aproveitamento integral da planta, envolvendo operações adicionais para a retirada das folhas e a disposição adensada de colmos e palhicho para o transporte.

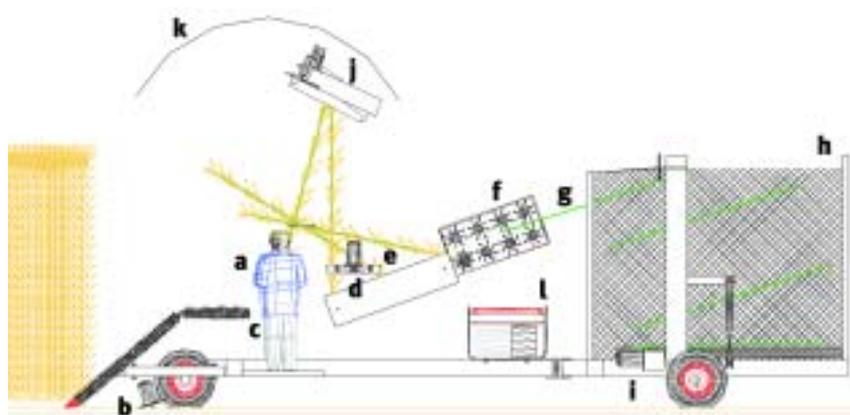
Essa abordagem tem implicações profundas nos processos convencionais de colheita, tanto manual quanto mecânica, associadas às perdas de cana, à contaminação de cana e palhicho com impurezas minerais, aos altos investimentos para a colheita e a recuperação do palhicho, assim como à inviabilidade econômica do despalhamento manual. Cabe destacar os esforços realizados pelos usuários e fabricantes de equipamentos para adaptar as colhedoras de cana picada a essa nova realidade. O sucesso tem sido parcial e tudo indica que os princípios utilizados por esses equipamentos precisam ser reformulados, para o enfrentamento das novas exigências da colheita integral da planta.

Dentro desse quadro, torna-se pertinente a discussão de novas propostas que tornem a colheita da cana crua tan-

to ou mais atraente que a colheita da cana queimada, como forma de consolidar sua implantação sem a pressão da lei ou da população. Este trabalho analisa onze pontos considerados determinantes na definição do perfil da colheita capaz de conseguir o aproveitamento integral da cana, de forma sustentável. Discutiremos os referidos pontos comparando a tecnologia atual, descrita por Braunbeck et al. (1999), e um conceito alternativo de colheita, na forma de uma mecanização parcial, denominada “auxílio mecânico”. As Figuras 1 e 2 ilustram esse conceito, identificando cada componente. A unidade consta essencialmente de uma frente de corte com largura de três ou cinco linhas, incluindo um disco flutuante para o corte basal de cada linha; segue um conjunto de transportadores helicoidais rotativos que conduzem o material até uma célula de trabalho, com dois operadores por linha, que catam manualmente os colmos, cortam o ponteiro utilizando um disco cortador disponível para cada linha e encaixam os colmos em um transportador lateral, que os conduz até um despalhador de rolos. O despalhador retira as folhas e lança os colmos inteiros até uma carreta de descarga vertical, onde os mesmos são armazenados ordenadamente, na direção longitudinal de marcha, para manter a densidade de carga requerida pela operação posterior de transporte. Essa concepção de lançamento, armazenamento ordenado, descarga vertical e posterior carregamento convencional mostrou-se tecnicamente viável em diversas frentes de colheita de três usinas. A frente do equipamento efetua o corte de base e o transporte da massa integral de cana, sobre um plano inclinado, sem separação entre as linhas.

O equipamento interrompe o corte a intervalos de 8 a 10 minutos (40 a 60 m), manobra em retrocesso e descarrega montes de aproximadamente 3 toneladas. A velocidade de deslocamento oscila

FIGURA 1 | VISTA LATERAL DO AUXÍLIO MECÂNICO



- | | | |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| a Operadores | b Cortador de base | c Roscas transportadoras-elevadoras |
| d Mesa de catação | e Esteira lateral | f Despalhador |
| g Esteira alimentadora | h Carreta de descarga vertical | i Moto-reductor elétrico |
| j Despontador | k Cobertura (sombra) | l Moto-gerador |

entre 250 e 500 m/h. A unidade é acionada por um motor de combustão interna de 36 CV, que servirá de fonte de potência para os circuitos elétricos que acionam os dispositivos de corte e limpeza da cana.

DIRIGIBILIDADE EM TERRENOS INCLINADOS

Os equipamentos que operam em terrenos inclinados devem ter duas habilidades principais:

A. MANTER O EQUIPAMENTO ALINHADO COM OS SULCOS DE PLANTIO E SEM ESCORREGAMENTO LATERAL

O componente de peso da colhedora, atuante no sentido da declividade, provoca deformação lateral dos pneus. Essa configuração resulta da baixa rigidez da estrutura do pneu, o qual é desejável do ponto de vista da compactação do solo, mas prejudica a estabilidade direcional do veículo. Os veículos de pneus apresentam uma tendência de deslocamento lateral, no sentido da declividade, o que torna necessário efetuar continuamente correções de trajetória, através

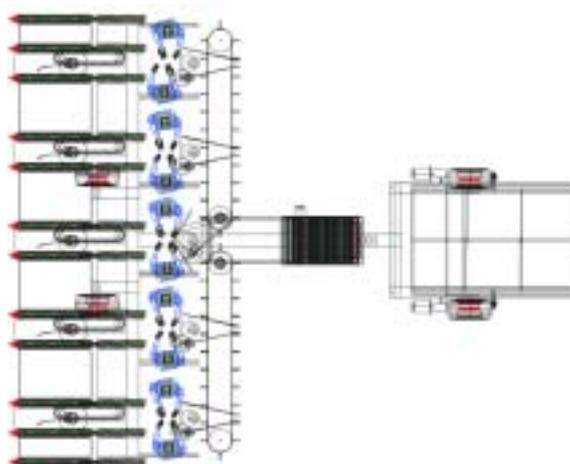
os eixos permite corrigir essa anomalia. Mas trata-se de recurso não-disponível, atualmente, nas colhedoras. Na medida que o pneu avança sobre o terreno, sucessivos pontos da banda de rodagem entram em contato com o solo. Como cada um desses pontos está localizado abaixo da cota do ponto anterior, o equipamento desce, como conseqüência de seu avanço. Essa deficiência pode ser corrigida utilizando-se dois eixos direcionais, já que dessa forma é possível corrigir independentemente as posições da frente e da traseira da colhedora, sem modificar significativamente a orientação de seu eixo, com relação à linha de plantio.

O uso de esteiras no lugar de pneus evita o fenômeno acima descrito. No entanto, o controle direcional das esteiras exige uma alteração da angulação do eixo longitudinal do veículo, o que resulta em alguma perda de alinhamento da colhedora com as linhas de plantio. No caso do auxílio mecânico, o equipamento utiliza as quatro rodas direcionais, o que permite corrigir continuamente a direção de movimento, tanto no eixo traseiro, quanto do dianteiro. Paralelamente, a baixa velocidade de deslocamento do equipamento, inferior a 0,5

da angulação das rodas pelo mecanismo de direção. Os veículos com direção apenas no eixo dianteiro apresentam escorregamento do eixo traseiro, sem possibilidade de correção, do que resulta um desalinhamento da colhedora com a linha de cana. Com isso, dificulta-se o processo de alimentação.

O uso de rodas direcionais em ambos

FIGURA 2 | VISTA EM PLANTA DO AUXÍLIO MECÂNICO



km/h, facilita a correção da trajetória pelo operador, sem atingir desalinhamentos com as linhas de plantio que prejudicam a alimentação do equipamento.

B. ESTABILIDADE AO TOMBAMENTO LATERAL OU LONGITUDINAL

A estabilidade ao tombamento, juntamente com as deficiências de dirigibilidade, limitam a utilização das colhedoras de uma linha a terrenos com declividades não superiores a 12%. Embora a inclinação teórica de tombamento lateral seja da ordem de 46%, efeitos dinâmicos resultantes das irregularidades do terreno e da elasticidade dos pneus reduzem esse limite de inclinação ao referido valor de 12%. Essa condição é a principal responsável pelas áreas canavieiras consideradas não aptas para a colheita mecanizada. A região de Piracicaba tem sua agroindústria sucroalcooleira ameaçada pela impossibilidade de colher os canaviais, sem queima prévia, com as colhedoras existentes.

No caso do auxílio mecânico, a inclinação teórica de tombamento do equipamento é da ordem de 100 %, em função da grande largura do equipamento e a altura reduzida do centro de gravidade. No entanto, a inclinação máxima permitida não é determinada pela estabilidade lateral ao tombamento, e sim pelo deslizamento estático dos pneus sobre o solo. Essa condição corresponde a uma inclinação de terreno da ordem de 50%. Deve-se lembrar que a baixa velocidade de deslocamento equipamento, localizada entre 0,25 e 0,5 km/h, representa um fator dinâmico muito favorável, em função das menores oscilações laterais provocadas pelas irregularidades do terreno e à elasticidade dos pneus.

SEPARAÇÃO DE LINHAS

Nos canaviais com colmos deitados, total ou parcialmente, as colhedoras que cortam apenas uma linha precisam, a cada passada, efetuar o corte dos colmos num plano vertical. Isso faz com que

fragmentos de colmos sejam liberados sobre a superfície do solo, para serem levantados pela colhedora. Essa condição obriga a ajustar a altura do cortador de base em nível de subsuperfície, com conseqüências negativas para a demanda de potência, desgaste de facas e contaminação da matéria-prima com impurezas minerais. No caso do auxílio mecânico, cinco ruas são cortadas na base e elevadas simultaneamente até a mesa dos operadores (Figuras 1 e 2), sem tombamento dos colmos, e com apenas 20% da quantidade de fragmentos gerados pelo plano das colhedoras que cortam apenas uma linha.

CORTE DE PONTEIROS E BASE

Durante o processo de colheita da cana-de-açúcar, existe a necessidade de retirar ponteiros, visando a aumentar a eficiência industrial de extração de açúcar e reduzir o custo de transporte da matéria-prima. Os dispositivos utilizados nas colhedoras para conduzir o extremo superior dos colmos até o mecanismo cortador não têm desempenhos eficientes, principalmente nos canaviais de 18 meses, nos quais a incidência de colmos deitados é maior. No caso do auxílio mecânico, os ponteiros são cortados pelos operadores, que apontam individualmente cada colmo a um disco que corta e recebe o ponteiro, para efetuar seu enfardamento junto com as folhas.

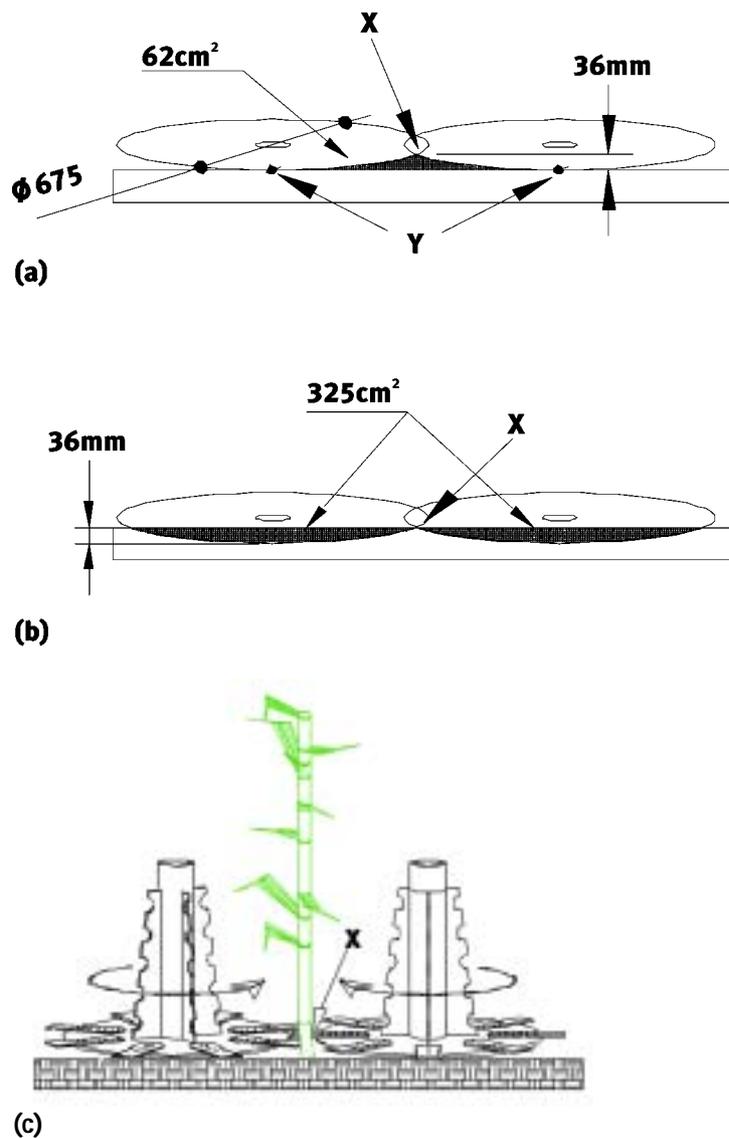
O corte de base é efetuado pelo princípio de corte inercial (sem contra-faca). As facas atingem o solo com velocidade de 20-22 m/s, pelo que rapidamente perdem o gume. O contato das facas com o solo deve ser evitado, para conservar um corte eficiente e, dessa forma, reduzir as perdas, o teor de terra na matéria-prima e reduzir os danos às soqueiras, visando a aumentar sua longevidade. Os dois discos do sistema atualmente em uso, ilustrado na Figura 3(c), definem um plano de corte de aproximadamente 1,5 m de largura, plano esse que deve descer até a base da cana, rente ao solo,

para evitar perdas (tocos). Nesse processo, os discos cortam o solo e o conduzem para o interior da máquina, contaminando a matéria-prima e desgastando o equipamento. As impurezas minerais incorporadas pelos discos do cortador de base foram quantificadas por Henkel et al. (1979).

Os testes foram realizados com uma colhedora Toft-6000, em canaviais com colmos eretos e deitados, com solos úmidos e secos. A altura de corte foi ajustada aos níveis de 50 mm acima da superfície do solo, rente ao solo – Figura 3 (a), e 50 mm abaixo da sua superfície – Figura 3(b). As canas colhidas com discos operando a 50 mm de profundidade apresentaram teor de terra superior a 5%, nos casos de solo úmido, ou em canas deitadas. Operando os discos rentes ao solo, nas mesmas condições de cana e solo, os teores de terra foram pouco superiores a 0,5%. Nos casos de canas eretas, com solos secos e operação rente ao solo, os autores observaram teores de terra próximos de 0,25%. Os autores estudaram também as perdas de cana no campo e concluíram que a quantidade de cana deixada diminui para a posição do disco cortador basal mais baixa; e, ainda, que a quantidade de colmos inteiros deixados para trás foi alta quando o corte foi feito acima ou ao nível do solo, especialmente para o corte de canas deitadas, com perda de até 8,3 t/ha. Consideram que, pelas observações realizadas, existe um incentivo para operar as colhedoras com o corte abaixo do nível do solo, na configuração ilustrada na Figura 3(b).

No caso do auxílio mecânico, os colmos não precisam ser deitados sobre o solo para serem introduzidos na colhedora, já que são catados manualmente, desde sua posição original (Figura 1), e entregues ao processo de despalhamento mecânico, sem contato com o solo. Um único disco flutuante, centralizado na linha de cana, efetua o corte da base do colmo, sem as funções de varredura e alimentação alocadas ao mecanismo de

FIGURA 3 | CORTADOR DE DISCO DUPLO RÍGIDO PARA DOIS MODOS DE OPERAÇÃO



- a** Discos rentes ao solo: redução de contaminação.
b Discos com penetração no solo: redução de perda.
x Ponto de corte
y Ponto de tangência com a superfície do solo
c Configuração construtiva do cortador de duplo disco rígido

disco duplo. Juntamente com a eliminação dessas funções, devem ser eliminadas também as perdas e contaminação com terra a elas associadas. O corte de base realizado por um único disco permite que o eixo do mesmo seja posicionado sobre a linha de plantio. Nessa condição, o formato elíptico da trajetória da

ponta da faca acompanha aproximadamente a forma da depressão do terreno (sulco) próxima da soqueira. No caso de terreno nivelado, o ponto mais baixo da trajetória da faca tangencia a superfície do terreno, minimizando sempre o corte e a movimentação de solo. A menor movimentação de solo existente no au-

xílio mecânico resulta também em menor demanda de potência e desgaste ou quebra de facas.

ALIMENTAÇÃO

O processo de alimentação das colhedoras australianas de cana picada impõe aos colmos uma forte flexão, através de um defletor. Essa flexão provoca danos à soqueira, de magnitude que depende das condições do solo e da própria soqueira. Em uma segunda fase, a planta é cortada na base, com o que se completa um giro de 90 graus que deixa os colmos em posição horizontal, sobre o solo. Essa posição do material é crítica, pelo fato de os colmos receberem uma grande quantidade de solo, lançado pelos discos do cortador basal, à medida que a colhedora avança o rolo levantador e o primeiro par de rolos limpadores se aproxima do extremo inferior do colmo, para iniciar o processo de alimentação forçada.

No caso de o cortador de base operar na configuração de baixa contaminação – Figura 3a, alguns colmos são atingidos pelas facas e produzem fragmentos que, juntamente com os originados na divisão de linhas, precisam de um processo de varredura e catação para elevá-los dessa posição. A posição ilustrada na Figura 3(a) deixa uma janela de aproximadamente 62cm^2 sem varredura, e responsável por perdas de colmos e fragmentos. Para conseguir uma varredura e catação mais eficientes, os discos precisam operar em profundidade, como na Figura 3(b), do que resulta uma maior demanda de potência, desgaste de facas e abalo de soqueiras.

À medida que a colhedora avança, os colmos são levantados e na seqüência atingidos pelo primeiro par da cascata de rolos limpadores. Até esse momento, o processo de alimentação não é forçado, a não ser por alguma ação positiva aplicada pelo movimento circular convergente dos discos do cortador de base e do rolo levantador. Os colmos sofrem

um giro de 135 graus, aproximadamente, desde a sua posição vertical de campo, até a posição de alimentação do picador, determinada pelos rolos limpadores. No caso do auxílio mecânico, os colmos são cortados na base e afastados do solo, mantendo sua posição original, vertical ou inclinada. Elimina-se com essa concepção a contaminação dos colmos com terra, o abalo de soqueira e as perdas provocadas pelos processos de catação e varredura, necessários para se retirar as peças em contato com o solo.

DESPALHAMENTO

Na colheita mecânica, sem queima prévia, existe um compromisso antagônico complexo entre a operação de limpeza e as perdas de colheita. Canas colhidas com teores de impurezas vegetais inferiores a 6 % freqüentemente provocam perdas próximas de 10%. Parte dessas perdas originam-se no corte de base e alimentação da colhedora. No caso do auxílio mecânico, as folhas são retiradas dos colmos inteiros, do que resultam duas peças – colmos e folhas – com propriedades aerodinâmicas muito diferentes, o que facilita sua separação. Isso acontece espontaneamente durante o processo de lançamento dos colmos, na saída do despalhador, já que a pouca massa das folhas não lhes permite acumular energia cinética suficiente para acompanhar os colmos, na trajetória até a carreta de descarga vertical.

TRANSPORTE DOS COLMOS

A massa resultante da colheita da cana-de-açúcar é elevada, o que obriga a transferência da mesma da colhedora para um veículo que trafegue em paralelo, ou seu descarregamento ao solo. O conceito de cana picada surgiu visando ao manuseio a granel, que permite transferir o material, em queda livre, a um transporte que acompanha a colhedora, com densidade de carga suficiente para viabilizar economicamente o transporte. Esse conceito permitiu eli-

minar a operação de carregamento e seu correspondente custo. No entanto, com a evolução do sistema, verificou-se a necessidade da retirada dos veículos de estrada do canavial e a introdução da operação de transbordo que, em termos econômicos, eliminou a vantagem original de ausência do carregamento.

No caso do auxílio mecânico, a transição entre a colheita e o transporte é feita com descarga ao solo, em montes de 3 t. A caçamba de descarga vertical efetua a descarga em poucos segundos, pela abertura de uma porta no fundo da mesma, que permite a descida lenta da carga, de forma a manter o ordenamento paralelo dos colmos e, com isso, manter também a densidade de carga no carregamento subsequente. O grande volume dos montes faz com que seja proporcionalmente pequena a quantidade de cana em contato com o solo. Essa concentração de colmos minimiza

a necessidade de rastelamento, reduzindo a contaminação mineral, mesmo sob condições de alta umidade e solo desagregados.

TRANSPORTE DO PALHIÇO

Na tecnologia atual de colheita da cana-de-açúcar, o palhiço não faz parte do processo, como um produto a ser preservado. Novas propostas de colheita integral da cana devem incluir a transferência da palha para o transporte, sob condições satisfatórias de densidade de carga e contaminação. A proposta de colheita com auxílio mecânico inclui a compactação do palhiço, de forma a liberar o mesmo ao solo já compactado, eliminando assim as operações posteriores de enleiramento e enfardamento e, principalmente, a contaminação com impurezas minerais que o mesmo sofre durante essas operações. Encontra-se em desenvolvimento na Feagri-Unicamp

Operação de acabamento da cobertura de mudas na Usina Modelo; Piracicaba, SP; 1986



um processo contínuo de compactação utilizando roscas convergentes, com capacidade de 5 kg/s, dimensionado para ser instalado no auxílio mecânico. O sistema pretende receber as folhas e ponteiros liberados pelo despalhador e os despontadores, com densidade na faixa de 30 a 50 kg/m³, e compactar esse material, até densidades de 180 a 200 kg/m³.

INVESTIMENTO E CUSTO DA OPERAÇÃO

O alto investimento, da ordem de R\$ 700.000, e a capacidade operacional elevada, da ordem de 90.000 t/ano, tornam a mecanização total da colheita de cana picada inadequada para um número significativo de agricultores (fornecedores). O equipamento para auxílio mecânico requer investimento da ordem de 15% do valor acima descrito e produção diária da ordem de 30 % da correspondente a uma colhedora de cana picada. No caso do auxílio mecânico, o valor de aquisição foi estimado em função do peso de projeto e do preço por unidade de peso de equipamentos similares em complexidade mecânica e tipo de componentes. Verificou-se que o valor do equipamento deverá estar na faixa de R\$ 60.000 a R\$ 120.000.

Mesmo a amplitude sendo pouco precisa, permite incorporar as parcelas de depreciação e juros de capital à estimativa do custo da colheita. As simulações de custo de colheita indicam valores na faixa de 3 a 10 R\$/t, com larguras de trabalho de 1 a 5 linhas e valor de aquisição de R\$ 60.000 e R\$ 120.000, com produção diária de 200 t. O objetivo dessa simulação foi verificar apenas a ordem de magnitude do custo de colheita, assim como a sensibilidade do mesmo às variáveis número de linhas e valor inicial do equipamento. Verificou-se que os custos estimados são compatíveis com os praticados nas operações de colheita comercial.

O sistema de colheita de cana picada, após ter contribuído com a produção canavieira do mundo por aproximada-

mente 50 anos, mostra atualmente limitações em seus princípios básicos de operação para atender aos requerimentos legais, ambientais, topográficos, econômicos e sociais do Brasil. As estimativas efetuadas para a colheita integral da cana com auxílio mecânico apresentam-se técnica e economicamente viáveis para operar em áreas declivosas, com produção diária de aproximadamente 200 t/unidade.

O auxílio mecânico apresenta princípios alternativos de estabilidade, dirigibilidade, corte de base, despontamento e despalhamento que abrem novos horizontes de desenvolvimento para as fronteiras tecnológicas observadas nas colhedoras de cana picada. O auxílio mecânico apresenta um desafio no gerenciamento da maior quantidade de mão-de-obra envolvida, o qual pode não ser atrativo para os grandes produtores, como é o caso das usinas de açúcar e álcool, mas representa uma oportunidade para fornecedores de cana ou de serviços de colheita com menor capacidade de investimento. 



Corte de mudas na Usina da Barra; Barra Bonita, SP; 2001

* **Oscar A. Braunbeck** é professor da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, Campinas, SP (oscar@agr.unicamp.br);

Paulo S. G. Magalhães é professor da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, Campinas, SP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAUNBECK, O.; BAUEN, A.; ROSILLO-CALLE, F.; CORTEZ, L. Prospects for green cane harvesting and cane residue use in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, v. 17, n. 6, p. 495-506, 1999.
- FUNDAÇÃO SEADE. Sensor Rural. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 12 maio 2003.
- GUILHOTO, Joaquim J. M.; MENDONÇA DE BARROS, Alexandre L.; MARJOTTA, Marta C.; IS-TAKE MAISTRO, M. *Mechanization process of the sugar cane harvest and its direct and indirect impact over the employment in Brazil and in its 5 macro regions*. Esalq, University of São Paulo (USP), Regional Economics Applications Laboratory (REAL), University of Illinois (USA), and Center for Advanced Studies in Applied Economics (Cepea).
- HENKEL, C.R.; FUELLING, T.G.; RIDGE, D.R. Effect of basecutter setting on dirt in the cane supply and cane left in the field. *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists*, v.1,p.18-25, 1979.