



Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol - CTBE

Operado pela ABTLuS para o Ministério de Ciência e Tecnologia

Programa de Mecanização de Baixo Impacto para plantio direto de Cana-de-açúcar

1. Conceito

A mecanização de baixo impacto (MBI) se fundamenta no conceito de plantio direto, com apoio do controle de tráfego, para conseguir maior sustentabilidade da agricultura canavieira através da redução de custos, a conservação do solo e sua umidade, assim como do aproveitamento agrônômico e industrial da palha. Como ferramenta para atingir esses objetivos a MBI aborda inicialmente o desenvolvimento de uma estrutura autopropelida de tráfego controlado (ETC) que por sua vez envolve um novo princípio de colheita de colmos e palha; em uma segunda fase a MBI desenvolve e utiliza recursos da tecnologia da informação, dentro do conceito de agricultura de precisão, como forma de contribuir para uma gestão mais detalhada das áreas agrícolas através da captação eletrônica de dados, o georeferenciamento, assim como a montagem de bancos de dados e o desenvolvimento de modelos multivariados de produtividade.

O projeto inclui uma proposta de equipamento que reduz drasticamente os níveis de compactação com relação aos praticados atualmente na agricultura canavieira. A porcentagem de área trafegada deverá se situar entre 5 e 10% da superfície do solo, no lugar de 50 a 60%, como acontece com a mecanização atual. O projeto visa o desenvolvimento de uma estrutura de tráfego controlado (ETC) e correspondentes acessórios para a realização das operações do ciclo agrícola da cana-de-açúcar no esquema de plantio direto. A ETC é um veículo elevado, de bitola larga, com tração e direção nas quatro rodas, que trafega sistematicamente as mesmas linhas. Em linhas gerais trata-se de uma estrutura similar à representada na Figura 1, com uma mudança significativa no sentido de que a estrutura tem espaço e capacidade de carga suficientes para acumular os colmos e a palha colhidos ao longo do comprimento do talhão, de forma que não seja necessária a presença de outro veículo dentro dos talhões para receber o produto colhido.

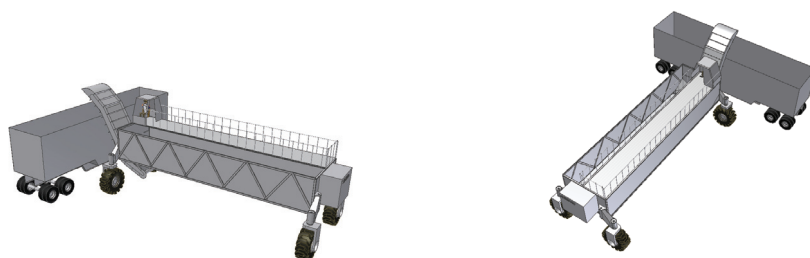


Figura 1: Estrutura de tráfego controlado a ser utilizada na mecanização de baixo impacto

2. Hipóteses

Algumas premissas devem se cumprir para que a proposta de MBI possa ter sucesso:

2.1 O crescimento da colheita de cana crua é irreversível

2.2 O plantio direto da cana de açúcar apresenta vantagens similares às observadas em outras culturas nas quais têm demonstrado ganhos econômicos e ambientais significativos.

2.3 O pisoteio de solo praticado no esquema de colheita mecanizada tradicional da cana-de-açúcar não viabiliza o total de ganhos que o plantio direto pode fornecer.

2.4 Não existem argumentos técnicos ou econômicos suficientes para justificar junto à indústria de tratores e colhedoras a necessidade de investimentos para o desenvolvimento de uma nova tecnologia de mecanização que viabilize o plantio direto da cana-de-açúcar, cujo resultado é a substituição dos produtos atualmente comercializados com sucesso.

3. Fases do Projeto

O projeto está composto por diversas fases que envolvem atividades e recursos de natureza diferente. A seguir são apresentadas 16 fases do projeto da MBI o qual é abordado inicialmente na forma de um anteprojeto que visa avaliar viabilidades econômicas, ponderar e escolher alternativas técnicas e definir o perfil das parcerias ou dos editais das licitações públicas associadas a cada uma das fases do projeto. Cada item do anteprojeto envolve proposições, discussões em grupo com potenciais usuários e parceiros ou fornecedores especializados no tema.

3.1 Tração, velocidade de deslocamento e efeito diferencial

A transmissão de potência do motor de combustão interna para as rodas da ETC pode ser mecânica, hidráulica ou elétrica, sendo que a priori a transmissão mecânica pode ser descartada em função das grandes dimensões da ETC e da necessidade de se dispor de velocidade continuamente variável, principalmente durante a operação de colheita. As transmissões hidráulicas, mas especificamente hidrostáticas, são compatíveis com as funções da ETC e já foram utilizadas em equipamentos similares no exterior. A opção de transmissão elétrica surge em função dos bons resultados apresentados por esse tipo de transmissão em aplicações automotivas para as quais existem motores e inversores de frequência na faixa de potência considerada adequada para uma primeira versão de ETC. Considera-se inicialmente que a complexidade construtiva da transmissão elétrica seja menor que a hidráulica já que a transmissão elétrica, contadores e inversores de frequência irão substituir maior número de componentes constituídos por tubulações, mangueiras, conexões, válvulas, filtros, reservatórios e fluido hidráulico. O impacto das eficiências de conversão de energia mecânica-hidráulica-mecânica e mecânica-elétrica-mecânica deve ser objeto de uma análise mais abrangente no decorrer do anteprojeto.

As condições de carga aplicadas à transmissão da ETC podem ser estimadas satisfatoriamente em função das forças longitudinais aplicadas pelos implementos juntamente com rampas e resistências ao rolamento aplicadas às rodas, as quais podem ser determinadas para os pneus adotados em função das propriedades do solo nas trilhas de tráfego e das cargas previstas. Embora a mecanização de baixo impacto que está sendo proposta envolva prioritariamente o sistema de plantio direto que não utiliza operações pesadas de preparo do solo, é recomendável que a ETC possua

capacidade de efetuar operações de subsolagem ou similares para serem utilizadas em condições particulares de solo que sofrem adensamento natural e precisam de ação mecânica para melhorar sua condição física. Os recursos de tração necessários para a fase de transporte, com peso próprio na faixa de 10 a 15 Mg, e capacidade de rampa de 40%, são da ordem de 4 a 6 Mg e por tanto compatíveis com operações de preparo do solo.

3.2 Transmissões elétricas

No caso da ETC existe a possibilidade de utilizar transmissão elétrica para as funções industriais e de locomoção, razão pela qual se torna necessária a instalação de um motogerador. As transmissões elétricas se apresentam como uma alternativa vantajosa, tanto do ponto de vista do controle das funções quanto da robustez e da disponibilidade de peças de reposição.

Mesmo que os acionamentos elétricos sejam amplamente conhecidos e difundidos em aplicações industriais; o caso agrícola se apresenta como um perfil diferente em termos de ambiente contaminado e presença de vibrações nos componentes de transmissão e controle. Funções que demandam velocidade continuamente variável, tais como dosagem de adubos e agroquímicos, velocidade de avanço na colheita e mecanismos de alimentação com velocidade de rotação proporcional à velocidade de deslocamento, colocam os acionamentos elétricos em destaque, principalmente com a popularização dos inversores de frequência e considerando que a utilização de recursos equivalentes em circuitos hidráulicos é normalmente mais complexa e de maior custo.

O implemento de colheita utiliza acionamentos no mecanismo para corte de base, na alimentação, no despalhamento dos colmos, na picagem, no transporte do material sobre a ETC e na função de transferência da carga para os caminhões. Condição similar existe no caso dos equipamentos de plantio, adubação, pulverização e aplicação de torta de filtro.

3.3 Controle direcional

A ETC deve ter recursos de direção adequados para acompanhar as linhas de plantio considerando que se trata de um veículo com bitola muito larga e que por tanto apresenta um comportamento direcional que difere dos veículos agrícolas convencionais, com bitola estreita. O direcionamento angular das rodas da ETC poderão ser controlado manualmente pelo operador ou através de um piloto automático, tipo Trimble AgGPS Autopilot System (http://www.trimble.com/aggps_autopilot.shtml). No caso de se utilizar piloto automático a direção de marcha (tangente) e o raio de curvatura da trajetória podem ser determinados a partir dos registros de GPS, e com isso fica definida a posição das rodas de forma que seu centro instantâneo de rotação coincida com o centro de curvatura da trajetória.

No caso de condução manual o operador conduz apenas uma roda dianteira e as três restantes devem ser conduzidas de forma automática utilizando recursos de controle que posicionem as mesmas de forma a conseguir um centro instantâneo de rotação comum a todas as rodas.

3.4 Capacidade de Manobra e Estabilidade ao Tombamento

Em função das maiores dimensões da ETC, quando comparada com a mecanização convencional, a mesma deve ter habilidade para efetuar com frequência as seguintes manobras:

- a) Giros de cabeceira: consiste em efetuar um giro de 180 graus nos extremos dos talhões para retomar à operação no sentido contrário. Para tanto a ETC faz um giro de 180° e o implemento se desloca até a linha ou faixa adjacente, aproveitando o máximo possível o carreador para fazer esta manobra com mínimo pisoteio da área plantada. Mesmo assim, toda vez que faz esta manobra pisoteia uma pequena faixa na cabeceira do talhão.
- b) Tráfego em estradas com dimensões compatíveis com a legislação.
- c) Finalização de linhas interceptando carreadores em ângulos fortemente fora de esquadro (bicos). Esta situação ocorre quando as linhas de plantio incidem com certo ângulo no carreador formando uma ponta ou em função de outras condições como proximidade de ladeira muito íngreme, mata de preservação, rio, brejo, divisa de propriedade e curvas de nível.

Estabilidade ao Tombamento

A ETC precisa de um vão livre de aproximadamente 2 m que possibilite o tráfego por cima da cana eretas nas linhas que não foram ainda colhidas, e que estão situadas dentro da faixa coberta pela estrutura. Paralelamente é necessário um compartimento de carga que pode ser localizada acima ou dentro do corpo da estrutura. As duas situações fazem com que o centro de massa se situe em posição elevada, o que exige dimensões adequadas tanto em termos de bitola, quanto de distância entre eixos. A bitola larga embutida no conceito da ETC faz com que a mesma seja lateralmente muito estável. No sentido longitudinal a condição é mais crítica e demanda uma distância entre eixos compatível com as declividades dos terrenos a serem trabalhados.

3.5 Estrutura

A grande largura da ETC juntamente com a capacidade de carga requerida e os esforços resultantes dos implementos acoplados à estrutura faz com que seja necessário abordar seu dimensionamento com recursos de modelagem e otimização estrutural; estes permitem simular situações alternativas e se necessário optar por uma solução de compromisso entre fatores antagônicos como tamanho, peso, custo e disponibilidade de pneus comerciais.

3.6 Posto do operador

O controle da ETC difere do controle do trator convencional em dois aspectos principais:

- a) A maior largura do equipamento impede que o operador visualize adequadamente a trajetória das duas rodas dianteiras, e com isso impede que se possa efetuar um controle puramente visual da direção de marcha do equipamento.
- b) A operação agrícola executada pela ETC pode estar em qualquer ponto ao longo de sua estrutura, com distância que impede seu monitoramento visual direto a partir de um posto de operação único localizado em algum ponto da estrutura. É necessário que o operador tenha boa visibilidade do andamento da operação para corrigir rapidamente condições anormais tais como embuchamentos, anormalidades funcionais incipientes ou prevenir acidentes de operação provocados por obstáculos como pedras, tocos, mamonas, etc.

Na fase de ante-projeto devem ser ponderadas as implicações de se utilizar um posto de operador fixo com recursos de monitoramento eletrônico ou uma plataforma ao longo de toda a largura da ETC com corrimão e para-peitos de segurança que permitam monitorar visualmente todas as funções. Uma terceira opção poderia

contemplar a utilização de ambos os recursos sendo que o monitoramento visual direto seria utilizado apenas como recurso de verificação das observações feitas pelo monitoramento remoto localizado no posto fixo.

3.7 Colheita e Transbordo

A MBI deve ter habilidade para efetuar todas as operações do ciclo de produção da cana-de-açúcar que envolve desde o preparo do solo até a colheita e o transporte dentro das áreas de produção. Mesmo que a tendência da maioria das culturas seja o plantio direto, que reduz drasticamente a movimentação do solo, na cana-de-açúcar ainda é aplicado um preparo do solo bastante intenso para amainar os efeitos negativos do tráfego intenso de equipamentos utilizados na mecanização atual, principalmente nas operações de colheita e transporte interno. Mesmo que o plantio direto da cana-de-açúcar se torne uma realidade, em médio prazo, a ETC deveria ter capacidade para efetuar operações convencionais de subsolagem e gradagem, a serem utilizadas esporadicamente em condições especiais de compactação do solo.

3.8 Cultivo e Adubação

A operação de cultivo de soqueira é realizada imediatamente após a colheita. Trata-se de uma operação que, no caso da mecanização convencional, tem por função reduzir a compactação até uma profundidade de aproximadamente 200 mm e simultaneamente aplicar fertilizante em profundidade. A adubação nitrogenada é fundamental no aumento da produtividade e longevidade das soqueiras de cana-de-açúcar, sendo que as maiores respostas à fertilização nitrogenada são obtidas nas socas. Com a eliminação do tráfego no sistema de MBI o cultivo de soqueira terá seguramente sua intensidade diminuída, no entanto, a aplicação do fertilizante em profundidade pode ser recomendada pelo fato de que evita perdas de nitrogênio. Mesmo que a movimentação de solo seja mínima na operação de cultivo, permanece o desafio de efetuar um corte eficiente da camada de palha para permitir a passagem das hastes subsoladoras. Considerando que a MBI será praticada no esquema de AP, a dosagem dos adubos deverá ser efetuada em taxas variáveis com o que surge a necessidade de algum desenvolvimento nessa direção, caso não seja identificada alternativa comercial satisfatória para a aplicação em taxas variáveis.

3.9 Transferência de Carga

A operação de colheita no caso da cana-de-açúcar envolve uma movimentação elevada de massa que oscila entre 60 e 140 t/ha. O equipamento de colheita deverá ter capacidade para acumular e transportar o produto colhido ou transferir o mesmo para outro veículo específico de transporte que normalmente faz um transporte intermediário entre a colhedora e os veículos de estrada, cujas características em termos de dimensões, tipo de pneus e capacidade de manobra não são adequadas para o tráfego junto às colhedoras. A fase de anteprojeto deve abordar através de simulações funcionais e econômicas algumas alternativas envolvendo conceitos diferentes para o processo de transferência de carga.

3.10 Custo Operacional e Investimentos

As simulações preliminares de custos e investimentos envolvidos na MBI, analisados comparativamente à mecanização convencional, mostram um bom potencial de viabilidade econômica. Trata-se de modelos de simulação envolvendo jornada de trabalho, tempos de manutenção, tempos perdidos e tempos de manobras, cujas versões iniciais foram desenvolvidas no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e aprimoradas posteriormente em função da evolução dos processos de gestão da mecanização. Os modelos mostraram-se confiáveis em diversos estudos e assessorias.

Na fase de anteprojeto a equipe do CTBE deve simular os custos operacionais e demanda de investimentos das diversas opções consideradas alternativamente para as operações agrícolas e a concepção da própria ETC.

3.11 Montagem e Avaliações de Integração

Na concepção e desenvolvimento das diversas fases do projeto devem ser compatibilizadas as atividades das equipes envolvidas, assim como as especificações e cronograma para a integração dos componentes da ETC. Das diversas fases surgem componentes mecânicos, elétricos, eletrônicos e programas de controle que devem ser integrados e testados na fase final de montagem do equipamento. Pode-se considerar que os seguintes componentes serão produzidos externamente para finalmente convergir para o CTBE onde se processará a fase final de montagem e verificação funcional.

Componente	Descrição
Chassi (estrutura)	Estrutura metálica em chapa soldada com pontos de ancoragem para os subsistemas.
Pernas mecânicas	Quatro conjuntos pneu, roda, redutor planetário e estrutura.
Motogerador	Conjunto motor de combustão interna com alternador acoplado
Implemento de colheita 2L	Frente de duas linhas com funções de corte, alimentação, despalhamento e picagem
Implemento de cultivo	Implemento acoplável à ETC com capacidade de cultivo e adubação de quatro linhas.
Caçamba com esteira ou containers	Estrutura reticulada com fundo móvel ou caixas com autodescarga vertical.
Piloto automático	Acionador hidráulico com controle georeferenciado.
Instalação elétrica	Contatores, elementos de proteção, fiação e elementos de controle.
Posto de operação	Mostradores, válvulas de comando, proteção ergonômica, ar condicionado, painel de comando, computador de bordo, controle de iluminação.
Circuito Hidráulico	Bombas, cilindros, válvulas, tubulações, manômetros, reservatórios, filtros, acumuladores.
Balança AP	Placa instrumentada (strain-gauges) para medição em tempo real do fluxo mássico colhido com sistema de aquisição de dados georeferenciados.
Controle direcional	Processador dedicado ou CLP com programas específicos para o controle do posicionamento angular das rodas.
Controle de velocidade	Inversores de frequência, programas, mostradores e "joysticks"
Sistema de aquisição de dados	Sensores, condicionadores, memórias, monitores, fontes, teclados.

3.12 Avaliação agronômica

A avaliação agronômica da MBI devesse dispor de uma área piloto a ser implantada no esquema de plantio direto, onde será avaliada a evolução da cultura, do solo, das plantas invasoras assim como das pragas e doenças. A diversidade de especialidades profissionais e de recursos operacionais envolvidos nesta fase evidencia a necessidade do desenvolvimento de parceiras para sua execução.

3.13 Avaliação da ETC

A ETC envolve diversas tecnologias alternativas cujo desempenho precisa de qualificação, quantificado e desenvolvimento. O controle direcional, a capacidade de tração, o desempenho de manobra e estabilidade, o desempenho das operações de colheita, transferência de carga, cultivo e adubação demandarão acompanhamentos, levantamento e análise de dados assim como ponderação interdisciplinar dos resultados. A transmissão elétrica deve ser avaliada quanto a sua capacidade de variação contínua de velocidade e quanto à resposta a sobrecargas impostas pelas irregularidades do terreno ou da própria cultura no caso da colheita, ou à variabilidade das propriedades do solo nos casos de preparo do solo, cultivo e plantio.

O consumo de combustível por tonelada colhida e por tonelada produzida deve sofrer diminuição no caso da MBI em função da redução do número de operações aplicadas ao solo, à menor resistência ao rolamento, e principalmente, em função do princípio de colheita adotado para a ETC.

3.14 Mapas de Produtividade Georeferenciados

Na fase de avaliação em campo será incorporada inicialmente apenas a balança de agricultura de precisão (AP) para geração dos mapas de produtividade, considerando que já existem unidades em operação comercial.

3.15 Modelagem

O banco de dados georeferenciados, com o nível de detalhamento que caracteriza a AP, constitui uma fonte de variabilidade propícia para estudos de mineração de dados visando identificar efeitos menos conhecidos de variáveis e com isso viabilizar o desenvolvimento de modelos de produtividade adequadamente detalhados para serem utilizados no manejo agrícola de precisão.

3.16 Sensores

A ETC deverá ser instrumentada para captar as informações que integram o banco de dados georeferenciados composto por dados de produtividade, fertilidade, pragas, doenças, plantas invasoras, solo (fertilidade, pedologia, geologia e topografia), assinaturas espectrais da planta e hidrografia auxiliados pelo Sistema de Informações Geográficas SIG. A geração automática de bancos de dados georeferenciados implica na medição de variáveis, de preferência em tempo real. Na fase de anteprojeto será feito levantamento dos sensores disponíveis comercialmente, suficientemente consolidados para poder ser incorporados à ETC.

OAB – 25.08.08

Oscar Antonio Braunbeck
Coordenador do Programa de Mecanização de Baixo Impacto

Marco Aurélio Pinheiro Lima
Diretor do Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol