

## PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAL DE PONTEIRAS ALADAS UTILIZADAS EM SULCADORES DE SOLO

### PROPOSAL TO REPLACE MATERIAL FOR WINGED TIPS USED IN SOIL PURVEYERS

André Luiz Carmo Santana<sup>1</sup>, Gustavo Martins Mariano<sup>2</sup>, Ariane Martins Caponi Lima<sup>3</sup>, Ivandro José de Freitas Rocha<sup>4</sup>, Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Discente Engenharia Mecânica/FACEG: luiz7574@gmail.com

<sup>2</sup> Discente Engenharia Mecânica/FACEG: gustavomarianojm@gmail.com

<sup>3</sup> Professora do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG: ariane.lima@faceg.edu.br

<sup>4</sup> Professor do curso de Engenharia Mecânica/FACEG: ivandro.rocha@evangelicagoianesia.edu.br

<sup>5</sup> Professora do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG: mariaeroing@gmail.com

**Resumo:** A atividade de sulcação é um processo essencial no cultivo da cana-de-açúcar, pois cria canais no solo para o plantio das mudas. Este processo envolve intenso atrito mecânico entre o sulcador e o solo, o que demanda materiais resistentes e duráveis para garantir a eficiência e a economicidade das operações agrícolas. Este trabalho tem como objetivo principal apresentar uma proposta para a substituição do material das ponteiras aladas utilizadas em sulcadores de solo, buscando aumentar a durabilidade e reduzir os custos operacionais.

Para alcançar esse objetivo, foi realizada uma análise comparativa dos materiais utilizados nas ponteiras aladas. Amostras com os novos materiais propostos foram confeccionadas e submetidas a testes de campo para avaliar seu desempenho em condições reais de uso. O experimento utilizou duas plantadeiras do mesmo modelo: uma equipada com ponteiras de ferro Quard 450 e a outra com ponteiras de material original. Ao longo de uma safra inteira, equivalente a 270 dias de trabalho, observou-se que a plantadeira equipada com ponteiras de ferro Quard 450 realizou apenas 210 substituições, comparado às 1545 substituições das ponteiras de material original.

Os resultados indicaram que a média de substituições diárias foi significativamente menor para as ponteiras de ferro Quard 450. Em termos econômicos, a economia total foi de 82,70%, com a plantadeira equipada com ponteiras de ferro Quard 450 apresentando um custo total de operação de R\$ 37.416,00, contra R\$ 216.252,00 da plantadeira com ponteiras de material original. Assim, a substituição do material das ponteiras aladas pelo ferro Quard 450 se mostrou viável e benéfica, proporcionando uma alternativa mais eficiente e econômica para os produtores de cana-de-açúcar. Os novos materiais não só aumentaram a durabilidade das ponteiras, mas também reduziram significativamente os custos operacionais e o tempo de inatividade das máquinas. **Palavras-chaves:** Sulcadores de solo, Cana-de-açúcar, Materiais, Durabilidade, Eficiência

**Abstract:** The furrowing activity is essential in sugarcane cultivation as it creates channels in the soil for planting seedlings. This process involves intense mechanical friction between the furrower and the soil, requiring durable and resistant materials to ensure the efficiency and cost-effectiveness of agricultural operations. The main objective of this work is to present a proposal for replacing the material of the winged tips used in soil furrowers, aiming to increase durability and reduce operational costs.

To achieve this objective, a comparative analysis of the materials used in the winged tips was conducted. Samples with the proposed new materials were manufactured and subjected to field tests to evaluate their performance under real usage conditions. The experiment utilized two planters of the same model: one equipped with Quard 450 steel tips and the other with original material tips. Over an entire season, equivalent to 270 days of work, it was observed that the planter equipped with Quard 450 steel tips required only 210 replacements compared to 1545 replacements of the original material tips.

The results indicated that the average daily replacements were significantly lower for the Quard 450 steel tips. Economically, there was a total savings of 82.70%, with the planter equipped with Quard 450 steel tips having a total operating cost of R\$ 37,416.00, compared to R\$ 216,252.00 for the planter with original material tips. Thus, the replacement of the winged tips material with Quard 450 steel proved to be feasible and beneficial, providing a more efficient and economical alternative for sugarcane producers. The new materials not only increased the durability of the tips but also significantly reduced operational costs and machine downtime.

Keywords: soil furrowers, sugarcane, materials, durability, efficiency.

## INTRODUÇÃO

A atividade de suação do solo é uma das etapas mais importantes durante o cultivo da cana-de-açúcar para produção de açúcar, álcool e energia elétrica, sua principal função é criar no solo os canais para o plantio das mudas de cana de açúcar, formando os sucos que possuem cerca de 1 metro de largura por 0,5 metro de profundidade.

Durante este processo mecânico existe o atrito direto entre o sulcador e o solo. Um dos fatores que afetam a produtividade final da cana-de-açúcar é a distância entre linhas. Entre os trabalhos acadêmicos que tratam de diferentes espaçamentos na cana-de-açúcar destaca-se os cujos estudos datados de 1890 mostram que a

produtividade é maior no espaçamento de 1,0 m em comparação com um espaçamento em torno de 2,0 m [1].

O sulcador é uma máquina que possui componentes mecânicos e utiliza de sistema hidráulico para acioná-lo e atingir o solo, sendo por sua vez arrastado por um trator, que durante sua movimentação abre os canais no solo onde serão aplicadas as mudas de cana, e posteriormente será realizada a aplicação dos nutrientes necessários para seu crescimento. A atividade de suação do solo é utilizada tanto para áreas de novo plantio, ou em áreas onde se necessita reformar o canavial. As etapas de plantio nos últimos anos começaram a optar pela mecanização completa, isso devido a que antes eles eram feitos principalmente de forma Semimecanizado, nesse

método, as mudas são colhidas e picadas mecanicamente antes de serem alimentadas à plantadora. A máquina distribui as mudas, o adubo e, se necessário, o inseticida. A mecanização completa oferece benefícios como redução de custos com mão-de-obra, plantio rápido e uniformidade na distribuição das mudas [2].

Dentre os componentes do sulcador de solo, o mais importante é a ponteira alada, que por sua vez tem a função de quebra do solo, estando durante todo o período de operação em contato direto com a terra e todas as impurezas que estão presentes naquele solo que está sendo preparado. Essa exposição por sua vez acaba causando grande desgaste neste componente primordial para a execução do trabalho de sucção do solo. O desempenho da ponteira varia de acordo com a velocidade de operação, condições de solo, o atrito solo-metal e das características da haste e ponteira alada [3].

O plantio deve se adequar às exigências de qualidade para alcançar produtividade sem comprometer os custos de produção. Enfim busca-se reduzir o tempo indisponível do equipamento que apresenta um número elevado de paradas para a troca prematura da ponteira alada, justificando que a substituição do material é o caminho mais eficiente para solucionar o problema em questão, trazendo para o campo de estudo a apresentação de uma peça que contenha características mecânicas compatíveis com a necessidade de sua aplicação, trazendo uma maior disponibilidade e agilidade na recuperação ou na aquisição de novas áreas de cana plantada para o processo produtivo [4].

As ponteiras aladas sofrem desgaste por abrasão devido ao contato com o solo durante a sucção e existem diversos fatores que influenciam nesse processo, principalmente as propriedades físicas e químicas do solo, que variam de local para local, podendo em alguns locais causar mais desgaste na ponteira. Diante disso, nasce a necessidade de utilizarem materiais de qualidade e que possuem uma durabilidade considerável para o desenvolvimento da atividade [5].

Empresas de grande porte que possuem um alto número de equipamentos e de máquinas, trabalham em seus processos de manutenção com a terceirização de mão de obra e insumos, a fim de realizar as atividades corretivas, e um dos trabalhos desenvolvidos é o de incentivar os prestadores de serviço a apresentar soluções para a resolução dos problemas para o processo produtivo e para o processo manual. [6].

A ponteira alada é um componente ao qual seu desgaste implica na paralização do trabalho devido a ineficiência da abertura dos canais para plantio da cana, com isso a mudança do material será imprescindível para o bom andamento das atividades [2]. Visando o aumento da vida útil do equipamento, que por sua vez trabalha em condições severas de desgaste, consequentemente buscando a máxima disponibilidade e a redução de custos com paradas não planejadas do equipamento, sendo assim, a busca por melhorias na durabilidade das ponteiras aladas são imprescindíveis para o aumento da eficiência no tempo de plantio.

A utilização da peça original poderá resultar em uma baixa disponibilidade do equipamento, e resultará em um alto custo com aquisição prematura de peças para substituição do componente que deixou de exercer sua função primária. É de extrema importância analisar, compilar e estratificar os ganhos obtidos através da alteração do material de fabricação do componente [7].

Torna-se necessário o desenvolvimento de uma peça com as mesmas características da peça original, porém que traz uma alternativa do material utilizado na fabricação que garanta uma maior resistência mecânica ao desgaste por abrasão e as quebras causadas por choques mecânicos, o que gera um alto número de paradas não planejadas.

Este trabalho tem como objetivo a análise de eficiência das ponteiras aladas alterando o material e o seu design original, de forma a encontrar a combinação de fatores mais eficiente para a durabilidade das ponteiras aladas.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O ato de semear tem como objetivo colocar uma quantidade específica de sementes no solo [8], visando proporcionar as melhores condições para o desenvolvimento e a produtividade da cultura implantada. Para alcançar esse propósito, é crucial seguir as orientações agrônômicas, especialmente em relação à densidade, espaçamento e profundidade de deposição das sementes.

Podemos definir a semeadora, conforme figura 1. como a máquina agrícola responsável por inserir diversos tipos de sementes no solo, seguindo as recomendações de densidade, espaçamento e profundidade para garantir o pleno desenvolvimento produtivo da cultura, evitando danos às sementes [9].



**Figura 1** - Semeadora de cana de açúcar [9].

As semeadoras empregadas no plantio direto consistiam principalmente em um disco de corte de palha e em um conjunto de dois sulcadores de discos duplos. O primeiro sulcador destinava-se à deposição de fertilizantes, enquanto o segundo era utilizado para a deposição de sementes. Devido à tendência natural à compactação dos solos na semeadura direta e à ocorrência de compactação em solos argilosos, especialmente quando manejados com teores inadequados de água, as hastes foram introduzidas como mecanismos sulcadores de fertilizantes nessas semeadoras [10]. Essas hastes, também conhecidas como facões, possuem diversas formas e ponteiros em suas extremidades, cortando e penetrando no solo para criar sulcos mais profundos do que os discos duplos. Isso resulta em maior mobilização do solo, esforços de tração e demanda de potência dos tratores. No entanto, tais efeitos negativos podem ser minimizados por meio de um design

adequado das hastes e ponteiros sulcadoras, proporcionando redução na exigência de potência, menor consumo de óleo diesel por hectare e, conseqüentemente, maior rentabilidade e conservação do solo [10].

Destacam que as máquinas para plantio direto se diferenciam das máquinas para semeadura convencional principalmente pelo seu mecanismo sulcador [8]. Em razão da semeadura direta ocorrer sem o trabalho inicial de preparo do solo, as semeadoras precisam abrir sulcos para a deposição das sementes em terrenos mais densos e com maior cobertura vegetal. Assim, o sulcador nessas máquinas deve ser eficiente não apenas na formação do sulco, mas também na capacidade de trabalhar em condições de solo com elevada cobertura vegetal e maior densidade.

Há uma discussão em curso sobre o método ideal de implantação do sistema de semeadura direta, com foco no sulco produzido pela semeadora-adubadora, em relação à profundidade e à área de solo mobilizada [11]. Estudos também estão sendo conduzidos para determinar a melhor disposição de fertilizantes no sistema de semeadura direta, seja ao lado ou na linha de semeadura, considerando a profundidade ideal para essa deposição [11].

Quanto à escolha da haste adequada, observaram que a melhor haste é aquela capaz de penetrar facilmente no solo compactado superficialmente, exigindo pouca força de tração e movimentando o solo no sulco o mínimo possível [3]. O desempenho da haste depende de vários fatores, como velocidade de operação, posição em relação aos demais sulcadores da semeadora, condições do solo (densidade, teor de umidade e resistência à penetração), nível de aderência do solo e características geométricas da própria haste. O Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) constatou que hastes com um ângulo de ataque de 20° e espessura máxima de ponteira de 20 mm têm apresentado resultados satisfatórios [3].

A germinação e emergência da cultura são afetadas pela profundidade de semeadura [12]. Essa profundidade também influencia a uniformidade de distribuição longitudinal de plantas, já que uma semente

colocada fora da profundidade recomendada pode não germinar ou a plântula pode não alcançar a superfície, resultando em falhas na distribuição de plantas na linha. A escolha adequada da profundidade de trabalho contribui para a economia de potência do trator e, conseqüentemente, de combustível [10].

O desempenho de uma semeadora na garantia da correta profundidade de semeadura pode ser afetado por diversos fatores, como o tipo de mecanismo sulcador, o mecanismo limitador de profundidade e a velocidade de deslocamento [12]. Ao avaliarem hastes sulcadoras utilizadas no plantio direto no Brasil, observaram que, devido à maior profundidade de trabalho, os efeitos da deficiência de água para germinação e emergência de plantas são menores durante veranicos [10]. Isso foi evidenciado em propriedades acompanhadas pelo IAPAR e ITAIPU BINACIONAL, onde lavouras semeadas com semeadoras que utilizavam hastes sulcadoras apresentaram uma emergência de plantas superior em comparação com aquelas semeadas com semeadoras de discos duplos.

A dinâmica do solo busca estabelecer correlações na interface máquina-solo, ou seja, emprega as ferramentas da mecânica do solo juntamente com parâmetros de projeto de máquinas agrícolas para modelar o processo, permitindo prever a inter-relação entre ambos [8].

Para o desenvolvimento de uma ferramenta de preparo do solo, são necessárias, teoricamente, técnicas mecânicas que determinem a melhor geometria e desempenho da ferramenta. Os critérios para alcançar essas condições incluem a identificação do esforço de tração necessário, o volume de solo rompido, a forma como a ferramenta se desloca sobre o solo e as forças que atuam sobre ela, entre outros [13].

A relevância do conhecimento do teor de água do solo durante a atividade de campo está relacionada à sua influência sobre a maioria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Tais atributos incluem densidade, espaço aéreo, compactação, resistência ao corte e penetração, consistência, forças de sucção, cor, processos químicos e bioquímicos, atividade microbiana, bem como

o crescimento e desenvolvimento das plantas. Essa propriedade é dinâmica e depende do clima, da profundidade do solo e das condições físicas do perfil, especialmente aquelas relacionadas à infiltração e deslocamento de água nas camadas do solo [14].

A faixa de consistência adequada do solo para ser trabalhada situa-se na friabilidade, entre o limite de plasticidade e o limite de contração. Estudos destacam que, mantendo os demais fatores constantes, a umidade é o principal governante da quantidade de deformação que pode ocorrer no solo. Assim, um solo mais seco possui maior capacidade de suporte de carga e menor probabilidade de compactação. Logo, o conhecimento da consistência do solo antes das operações é fundamental para um manejo apropriado [9].

A compactação do solo pode ser avaliada por métodos visuais, subjetivos e grosseiros, como sulcos de erosão, fendas nos rastros dos rodados, crostas superficiais, restos de resíduos não decompostos, raízes mal-formadas, sistema radicular raso e espalhado, falhas localizadas de germinação, plantas com tamanhos menores que o padrão, emergência lenta de plântula, coloração deficiente, sintomas de carência de nitrogênio e fósforo e toxidez de manganês. Métodos mais precisos incluem densidade, percentagem de macroporos e taxa de difusão de oxigênio, enquanto métodos intermediários envolvem a avaliação da resistência à penetração do solo, utilizando Penetrômetros e Penetrógrafos [15].

A resistência à penetração, embora seja um indicador intermediário de compactação, não representa uma medida física direta das condições do solo, pois varia significativamente em função de fatores como teor de água e tipo de solo. Apesar das limitações, a resistência à penetração é frequentemente utilizada para indicar comparativamente a compactação em solos do mesmo tipo e teor de água, devido à facilidade e rapidez com que diversas medições podem ser realizadas. Os resultados são comumente expressos em termos de força por unidade de área do cone (kPa ou kgf/cm<sup>2</sup>) [15].

A consistência do solo é definida como a manifestação das forças de coesão e adesão atuando sobre a massa do solo. Essas manifestações influenciam propriedades como dureza ou tenacidade, friabilidade, plasticidade e pegajosidade, podendo indicar a tendência do solo em aderir a outros corpos, como máquinas e equipamentos agrícolas. O conhecimento dos limites e estados de consistência do solo é valioso na tomada de decisões, como a determinação da condição de umidade ideal para a realização das operações agrícolas [9].

Quando considerado como um corpo rígido, o solo se rompe por cisalhamento, processo que pode ocorrer através do corte puro, compressão (propagação da tensão de compressão) ou ambos. A predominância de um tipo de ruptura sobre o outro depende do tipo de ferramenta que penetra no solo, bem como de sua umidade e compactação [15].

A avaliação precisa e a previsão da durabilidade das peças de corte do solo são elementos cruciais para a operação eficiente das máquinas agrícolas [16].

O desgaste abrasivo é a descrição mais apropriada para a remoção de material de uma superfície sólida pela ação do solo [17]. A fricção ou deslizamento entre duas superfícies rugosas de diferentes durezas resulta na remoção de material da mais macia, sem adesão subsequente à superfície mais dura. Em outras palavras, a ação do atrito do solo sobre as ferramentas de preparo, como ponteiros sulcadoras como mostra a figura 2, provoca o desgaste destas últimas, e o material removido não adere às partículas do solo.

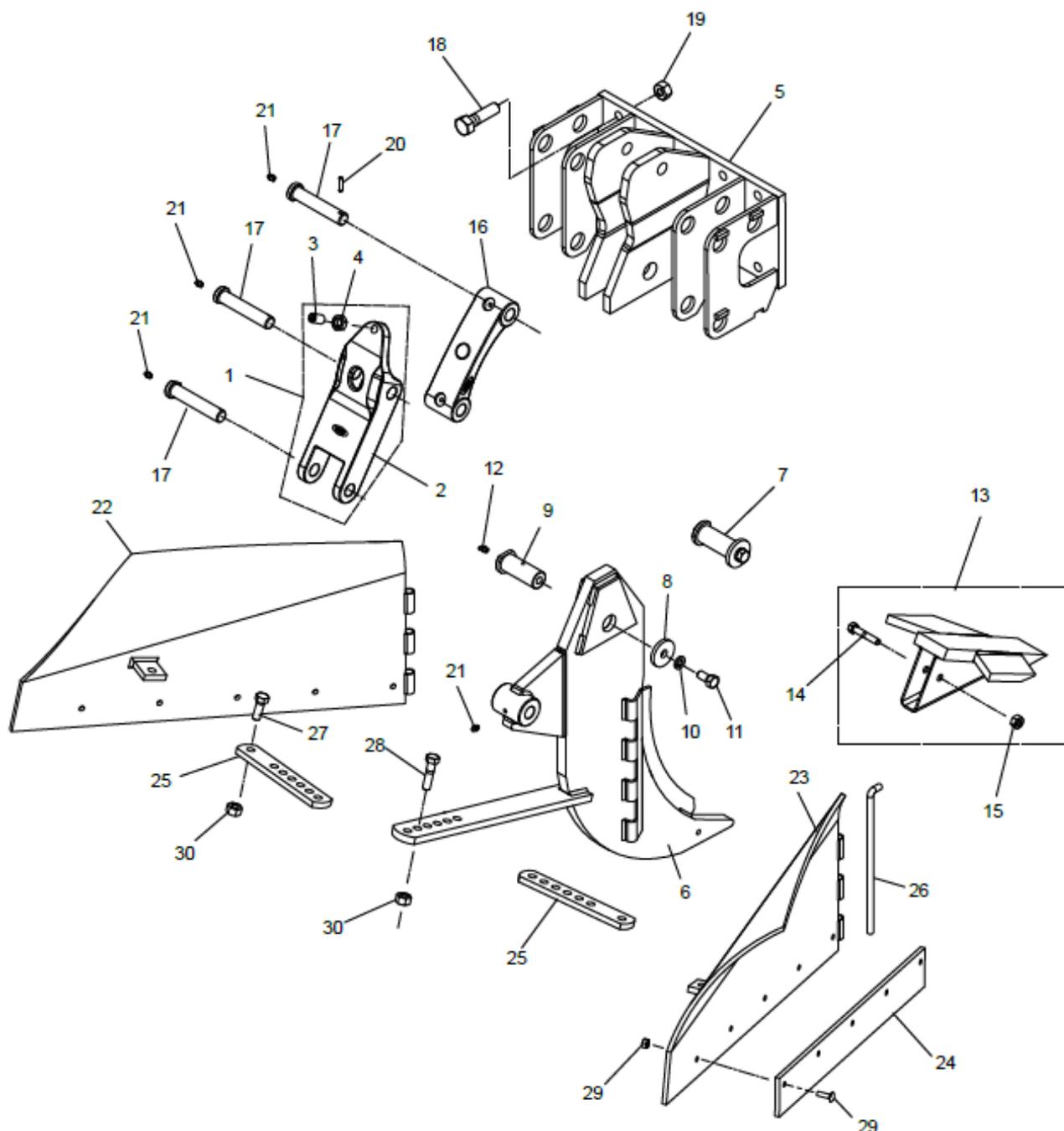
Destaca-se que a pressão na superfície, o tempo de contato e a velocidade do contato são fatores cruciais no desgaste por abrasão [18,19]. Além disso, as propriedades e características dos materiais constituintes das ferramentas, como composição química, resistência mecânica, resistência à propagação de fissuras, dureza e aptidão aos tratamentos térmicos, devem ser consideradas. No solo, a textura e o teor de água são também de significativa importância.

A seleção de um material para ferramentas de corte leva em consideração propriedades físicas, mecânicas, elétricas, químicas, térmicas e nucleares, bem como diversos fatores, como fabricação, disponibilidade presente e futura, limitações de tamanho e tolerâncias, variabilidade do material, custos, exposição ao ambiente, requisitos de acabamento, reciclagem, poluição ambiental e certificações [12]. Essa complexidade é ampliada pela diversidade de materiais disponíveis.

O desgaste de uma ferramenta de corte do solo depende das condições do solo, fatores operacionais e características da ferramenta [16]. Destaca a dificuldade prática de abranger simultaneamente todos os fatores de influência na pesquisa, observando que geralmente apenas alguns desses fatores são investigados, enquanto outros são mantidos fixos. Resumidamente, o desgaste das ferramentas de corte do solo é influenciado pela composição química do aço e seu tratamento térmico, tipo do solo, grau de compactação do solo, profundidade da operação, distância percorrida e localização da parte desgastada na ferramenta.

A ação do atrito entre os implementos e o solo é de extrema importância devido às vastas quantidades de solo movidas anualmente nas operações agrícolas e de engenharia civil [20]. As características de fricção do solo no aço afetam o desempenho dos implementos de três maneiras: o desgaste é um problema tanto no equipamento de preparo do solo quanto no cultivo; a força necessária para separar ou mover o solo depende das propriedades físicas do solo e do atrito solo/implemento; e a magnitude do atrito interno do solo determina o grau de abrasividade do solo na interface.

A Figura 2 ilustra a montagem detalhada de um sulcador de solo, um implemento agrícola utilizado para criar sulcos no solo, fundamental no plantio de culturas como a cana-de-açúcar. Cada componente desempenha um papel essencial na estrutura e funcionamento do sulcador, apresentando uma descrição dos principais componentes mostrados na figura, com um foco especial na parte identificada como a ponteira alada (parte 13)



**Figura 2 -** Visão explodida de um sulcador beija-flor por acionamento mecânico [29]

A prática do cultivo do solo torna-se possível quando as condições físicas, como o índice de umidade, são favoráveis, resultando em valores mais baixos de resistência ao atrito [17]. No entanto, a probabilidade de distúrbio e compactação limita a gama de condições físicas nas quais o cultivo pode ser realizado.

O carregamento estático de uma porção de solo sobre um plano metálico é semelhante ao carregamento de dois planos metálicos em conjunto, onde o contato ocorre nos pontos discretos onde as partículas do solo encontram

a aspereza da superfície do metal. Ao contrário do contato metal com metal, quando a carga é aumentada, as partículas do solo se rearranjam sem uma deformação significativa, produzindo uma carga extra quando a porção de solo se torna mais densa [20].

A plantação é uma etapa crucial do processo agrícola em que as sementes são depositadas no solo para germinar e crescer. Uma produção agrícola bem-sucedida depende da eficiência desse processo [21]. Nesse contexto, as plantadeiras desempenham um papel central, sendo

responsáveis pela distribuição uniforme das sementes no solo.

O sulcador é um componente crítico das plantadeiras e desempenha uma função importante na criação de sulcos no solo. Esses sulcos garantem a profundidade certa de plantio e as condições ideais para a germinação, criando um ambiente adequado para o depósito das sementes [22]. Ao facilitar a absorção de água pelas sementes e criar um ambiente favorável para o desenvolvimento das plantas, o sulcador aumenta a eficiência do processo, conforme a figura 2 é possível ver o esquema de montagem do sulcador beija-flor de acionamento mecânico, modelo este que será utilizado neste estudo.

A parte que efetivamente entra em contato com o solo é a ponteira do sulcador (item 13). Seu valor está diretamente relacionado à eficiência do processo de plantio que pode ser visualizado na figura 3. A escolha do material para a ponteira é muito importante porque afeta a durabilidade, a resistência ao desgaste e a capacidade de manter o sulco em uma forma saudável. Além disso, a ponteira desempenha um papel importante na criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular das plantas, reduzindo a compactação do solo. O objetivo da busca de materiais mais eficientes para as ponteiras das sulcadoras é maximizar o desempenho durante o plantio. Materiais mais resistentes ao desgaste, como revestimentos cerâmicos ou ligas metálicas avançadas, podem prolongar a vida útil da ponteira, o que significa que ela não precisará ser substituída com frequência. Além disso, usar materiais leves e duráveis pode melhorar a eficiência da plantação e reduzir o consumo de combustível [23].

Manutenção preditiva que tem como objetivo o estudo e acompanhamento de máquinas ou peças através de monitoramento, controles estatísticos ou medições buscando encontrar os pontos de ocorrência de falhas, determinando o tempo necessário para a manutenção, além de utilizar o máximo da vida útil do equipamento [24]. Com isto é possível estudar-se os pontos de falha dos equipamentos e os melhores momentos para se substituir

as peças, o que é de grande valor em cenários de produção agrícola, onde são trabalhadas diversas horas seguidas, principalmente no ramo de cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras, onde a produção de açúcar e álcool depende da produção agrícola, logo, planos de manutenção que tendem a evitar paradas excessivas de manutenção são essenciais nesse meio produtivo.



**Figura 3.** - Ponteira Alada.

Ao analisar um experimento é frequentemente um desafio determinar a influência de uma ou mais variáveis sobre a variável de interesse [23]. Em outras palavras, para obter as respostas desejadas, é necessário considerar todos os fatores do experimento e determinar quais deles terão seus níveis alterados.

Escolher quais fatores serão manipulados e quais respostas são relevantes é fundamental no processo de planejamento do experimento. As variáveis que podem ser controladas pelo experimentador são conhecidas como fatores, as respostas se referem às variáveis de saída do sistema. Essas variáveis podem ser quantitativas ou qualitativas [3].

Quando há mais de um fator a ser considerado, o planejamento fatorial completo é usado. É o método mais adequado para conduzir experimentos, especialmente quando o número de fatores e experimentos é controlável [25].

## METODOLOGIA

Os corpos de prova utilizados com o novo material serão partes fabricados na GSV MONSTAGENS INDUSTRIAIS LTDA, enquanto os com material original serão adquiridos diretamente da fabricante original das ponteiros aladas, aplicando testes preliminares de inspeção de solda em todas as amostras para garantir a qualidade dos corpos de prova e consequentemente maior eficácia do

experimento.

Os materiais utilizados serão o material da ponteira alada original (Ferro Fundido) e o novo material (Aço QUARD 450) na tabela 1, 2, 3 e 4 se encontra as características físicas dos materiais.

O aço Quard 450 é um aço martensítico resistente a desgaste com alta dureza, sendo um excelente material para durabilidade ao desgaste e impacto [27].

**Tabela 1** - Características do aço QUARD 450 [27]

Dureza (HBW)	Charpy-V Energia de Impacto	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Ruptura Transversal (MPa)	Alongamento A5 (%)
420 -480	35 J	1250	1400	3

**Tabela 2** - Composição química do aço QUARD 450 [27]

Análises máx. no cadinho, %									
Espessura	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
4-20 mm	0,2	0,6	1,4	0,025	0,01	0,2	0,1	0,25	0,005
20,1-40 mm	0,21	0,6	1,6	0,025	0,01	0,75	0,1	0,3	0,005
40,01-64 mm	0,23	0,6	1,6	0,025	0,01	1,3	0,5	0,5	0,005

**Tabela 3** - Características do ferro fundido [27]

Dureza (HBW)	Charpy-V Energia de Impacto	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Ruptura Transversal (MPa)	Alongamento A5 (%)
241-302	27	425-450	700	3

**Tabela 4** - Composição química do ferro fundido [27].

SAE J	C	Si	Mn	P	S
4034					
G 1800	3,7	2,8	0,9	0,225	0,14
G 2500	3,65	2,5	0,9	0,25	0,12
G 3000	3,6	2,3	0,9	0,2	0,12

Para o desenvolvimento do projeto foram utilizados os seguintes componentes e equipamentos:

- Máquina de corte CNC Metálica PLSM :máquina de corte a plasma sendo responsável pelos cortes das chapas de aço para fabricação das ponteiros aladas, garante alta precisão de corte de forma a equalizar as medidas das ponteiros evitando um alto erro.
- Máquina de solda MIG SMASHWELD 408 TOPFLEX: após o corte na máquina CNC das chapas, elas serão soldadas conforme as normas de soldagem e por um profissional qualificado de forma a garantir que o corpo de prova tenha uma excelente qualidade.
- Plantadora de Cana Inteira (PCI 4000 GERAÇÃO IV): máquina de teste, as ponteiros aladas utilizadas serão testadas em 2 plantadeiras de modelos idênticos
- Software CAD– SolidWorks: utilizado para desenhar o modelo 3d com as medidas da ponteira alada.
- Software estatístico - Minitab; utilizado para realizar os cálculos estatístico do experimento fatorial completo de forma a encontrar o gráfico de efeitos e as médias dos experimentos
- Software matemático – Scilab: utilizado para extrair as curvas de eficiência e durabilidade das ponteiros aladas.

Este estudo avaliou o desempenho e a durabilidade de ponteiras aladas em plantadeiras durante uma safra completa. Para isso, serão selecionadas duas plantadeiras de mesmo modelo, ambas em condições equivalentes de manutenção, para garantir a consistência dos resultados.

Duas plantadeiras foram utilizadas no experimento, identificadas pelos números 12818 e 11651. A plantadeira 12818 será equipada com ponteiras de ferro quard 450, A plantadeira 11651 será equipada com ponteiras de material original, para servir como controle comparativo, ambas com a mesma condição de manutenção, pois serão enviados para revisão antes do experimento.

O experimento foi realizado ao longo de uma safra inteira, correspondendo a 270 dias de trabalho. As plantadeiras operarão em condições normais de campo, assegurando que os dados coletados reflitam o uso real, trabalhando 24 horas por dia em 3 turnos de 8 horas.

O principal indicador de desempenho que foi o número de substituições de ponteiras necessárias devido a falhas. A falha é definida como a incapacidade da ponteira de realizar sua função primária devido a danos ou desgaste excessivo. Os operadores de máquinas foram responsáveis por registrar o horário inicial das atividades diárias e o momento exato das falhas das ponteiras, onde foram substituídas as 2 ponteiras, mesmo que somente uma tenha falhado, por um motivo e eficiência, já que ambas estão em desgaste com o solo ao mesmo tempo, logo a que não falhou, falharia em pouco tempo e seria necessário trocar a mesma, o que aumenta o tempo de substituição, o que tornaria o processo mais lento.

O principal indicador de desempenho a ser avaliado é o número de substituições de ponteiras por dia, a substituição ocorre após a falha da ponteira. A falha é definida como o ponto em que as ponteiras não podem mais desempenhar sua função devido a danos ou desgaste excessivo.

Durante toda a safra, os operadores de máquinas registavam o horário inicial das atividades e anotavam o

horário de falha das ponteiras. Ao final do dia, eles compilavam um relatório com a quantidade de substituições e a média de tempo de substituição das ponteiras.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido ao grande volume de dados, foram separadas em subgrupos de forma a simplificar a análise, os subgrupos possuem tamanhos diferentes entre o material original e os feitos em ferro quard 450, e devido as propriedades de resistência mecânica do ferro quard 450 serem superiores ao material original, é esperado que o número de substituições das ponteiras feitas do material original sejam maiores, logo ela possua um subgrupo maior para o teste.

A combinação de subgrupos de tamanhos diferentes é uma prática comum em análises estatísticas e não tende a enviesar os resultados ou fornecer resultados incorretos. Isso ocorre porque a análise estatística se baseia na média dos dados, e não no tamanho do subgrupo. Portanto, mesmo que um subgrupo seja maior que o outro, a média de cada subgrupo ainda fornece uma representação válida do desempenho desse subgrupo [28].

É importante destacar que a interação qualitativa, na qual a direção do efeito varia entre os subgrupos, é um fenômeno raro. Na maioria dos casos, observamos a interação quantitativa, onde o tamanho do efeito varia, mas a direção do efeito permanece constante [28]. Ou seja, mesmo que a magnitude do efeito seja diferente entre os subgrupos, a direção do efeito analisado continua a mesma.

Após o fim da safra, ao juntar os relatórios, se verificou que na plantadora 11651, foram realizadas 1545 substituições de ponteiras aladas do material original e na plantadora 12818, foram realizadas 210 substituições das ponteiras aladas utilizando o ferro quard 450, após utilizar o software Minitab para realizar a divisão e a média dos subgrupos, chegou-se a um total de subgrupos, nas ponteiras aladas do material original foram divididas em 15 subgrupos de 103 substituições conforme figura 5 e 6, já nas ponteiras aladas utilizando ferro quard 450 foram

dividas em 15 subgrupos de 14 substituições conforme figura 6.

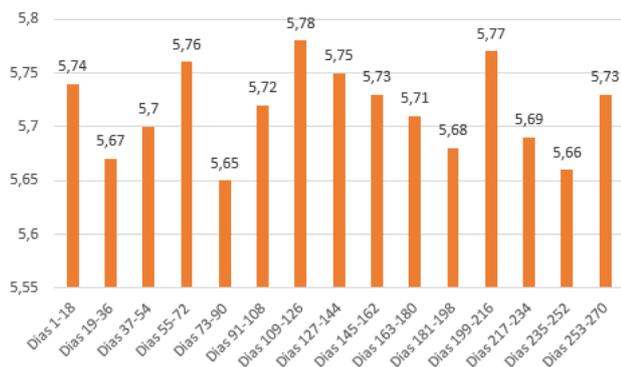


Figura 5 – Média de substituições por dia Material original.

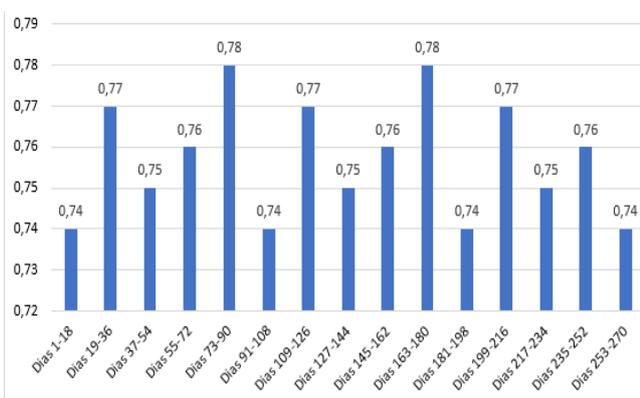


Figura 6 – Média de substituições por dia Ferro Quard 450.

Utilizando o software Minitab, foram calculadas as médias finais do experimento conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Média das substituições por dia do experimento.

Material da ponteira alada	Média de peças substituídas por dia
Material Original	5,72
Ferro quard 450	0,76

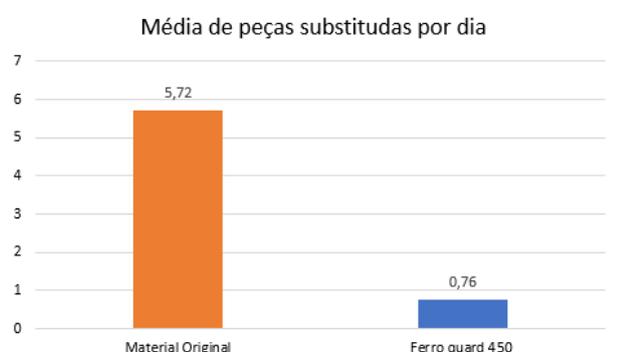


Figura 7 - Média de peças substituídas por dia.

Considerando os seguintes pontos:

- Tempo de Substituição: Cada substituição leva 40 minutos.

- São substituídas 2 peças por substituição
- Produção: Uma plantadeira produz em média 8 hectares por dia, o que equivale a aproximadamente 0,3333 hectare por hora.

É possível calcular o tempo total gasto com substituições para cada tipo de ponteira durante toda a safra:

**Material Original:**

- Média de peças substituídas por dia: 5,72
- Total de dias: 270
- Tempo por substituição: 40 minutos.

Tempo total gasto em substituições, o mesmo se da pela mutiplicação da média de substituições por dia vezes a quantidade de dias vezes o tempo em minutos para cada substiuições, dividido por 2 já que se substiui 2 ponteiras aladas por vez vezes 60 para ter o resultado em horas:

$$\frac{5,72 \times 270 \times 40 \text{ min}}{2 * 60} = 514,8 \text{ horas}$$

**Material de Ferro Quard 450:**

- Média de peças substituídas por dia: 0,76
- Total de dias: 270
- Tempo por substituição: 40 minutos

Tempo total gasto em substituições:

$$\frac{0,76 \times 270 \times 40mn}{2 * 60} = 68,4 \text{ horas}$$

Agora, vamos calcular a diferença de tempo gasto entre os dois materiais e converter em hectares:

**Diferença de tempo gasto:**

$$514,8 \text{ horas} - 68,4 \text{ horas} = 446,4 \text{ horas}$$

A conversão para hectares ficaria:

$$446,4 \text{ horas} \times 0,3333 \text{ hectare/hora} = 148,79 \text{ hectares}$$

A utilização das ponteiras de Ferro Quard 450 resultou em uma economia significativa de tempo, totalizando 446,4 horas a menos em substituições quando comparado com as ponteiras de material original. Isso

equivale a uma produção adicional de 148,79 hectares ao longo da safra de 270 dias. Portanto, a escolha do Ferro Quard 450 para as ponteiras demonstrou ser mais eficiente, reduzindo o tempo de inatividade da máquina e aumentando a produção total. A durabilidade superior do Ferro Quard 450 contribuiu para diminuir as interrupções e garantir uma operação mais contínua, o que é crucial para maximizar a eficiência e a produção.

Considerando o valor para a plantadora parada conforme informado pela empresa dona das plantadeiras, o valor estipulado para plantadora parada e de R\$ 4,00 o minuto, sabendo também que a plantadora com a ponteira alada com o material original para 514,8 horas durante toda a safra o que equivale a R\$ 123.552,00 durante todo o período da safra, enquanto a feita em Ferro Quard 450 gera um custo de R\$16.416,00, o que gera uma economia de 86,72%, ou R\$ 107.136,00.

Além do fator de custo de parada, entra o custo das ponteiras, hoje a ponteira original é adquirida por R\$ 60,00, já a GSV fornece suas ponteiras em Ferro Quard 450 a um valor de R\$ 100,00, e ao fazer o comparativo com a quantidade de peças utilizadas durante a safra, pode-se observar que os valores gastos são:

#### Material Original:

- Total de peças substituídas: 1545
- Valor da ponteira alada: R\$ 60,00

Valor gasto com ponteiras alada do material original:

$$1545 * R\$ 60 = R\$92.700,00$$

#### Material de Ferro Quard 450:

- Total de peças substituídas: 210
- Valor da ponteira alada: R\$ 100,00

Valor gasto com ponteiras alada Ferro Quard 450

$$210 * R\$ 100 = R\$ 21.000,00$$

Agora, vamos calcular a diferença do valor gasto  
Diferença de valor gasto:

$$R\$92.700,00 - R\$21.000 = R\$ 71.700,00$$

Ao se considerar o custo de parada da plantadora com o custo das ponteiras aladas, chega-se na seguinte conclusão sobre o custo com as plantadeiras.

A plantadeira 11651 com ponteira alada com material original:

$$R\$123.552,00 + R\$ 92.700,00 = R\$ 216.252,00$$

A plantadeira 12818 com ponteira alada com Ferro Quard 450:

$$R\$16.416,00 + R\$21.000,00 = R\$ 37.416,00$$

Calcula-se a diferença dos custos das plantadeiras como consta na figura 8.

$$R\$ 216.252,00 - R\$ 37.416,00 = R\$ 178.836,00$$

Ou seja, a plantadeira utilizando a ponteira alada feita em Ferro Quard 450, obteve uma economia de 82,70% em comparação a plantadeira utilizando a ponteira alada com o material original.

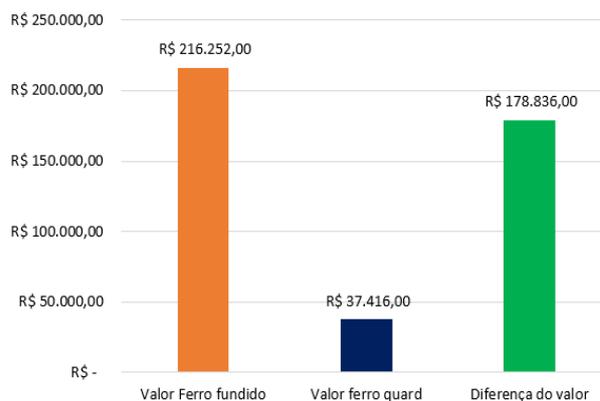


Figura 8 - Custos das plantadeiras

## CONCLUSÃO

A conclusão deste estudo destaca de forma clara e objetiva os benefícios econômicos e operacionais do uso das ponteiras aladas em Ferro Quard 450 em comparação com as ponteiras de material original nas plantadeiras.

A análise detalhada dos dados coletados durante uma safra inteira revelou que as ponteiras de Ferro Quard 450 reduziram significativamente o tempo de inatividade devido a substituições, resultando em um aumento de 148,79 hectares na produção. Além disso, a economia no tempo de parada foi expressiva, totalizando 26.784

minutos a menos de máquina parada e uma redução de custo de R\$ 107.136,00. Quando se considera o custo de aquisição das ponteiros, o Ferro Quard 450 também mostrou uma vantagem substancial, com uma economia total de R\$ 71.700,00 em relação às ponteiros de material original.

No geral, a plantadeira equipada com ponteiros de Ferro Quard 450 apresentou um custo total de operação de R\$ 37.416,00, comparado aos R\$ 216.252,00 da plantadeira com ponteiros de material original, resultando em uma economia total de 82,70%. Esses resultados demonstram que a escolha de ponteiros de Ferro Quard 450 não só melhora a eficiência operacional, mas também proporciona uma significativa redução de custos, tornando-se uma escolha altamente vantajosa para maximizar a produtividade e reduzir os gastos durante a safra.

## REFERÊNCIAS

1. GALVANI, E., BARBIERI, V., PEREIRA, A. B., & VILLA NOVA, N. A. (1997). **EFEITOS DE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS ENTRE SULCOS NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR** (*Saccharum spp.*). *Scientia Agricola*, 54(1-2), 62–68. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000100009>> Acesso em 05 de out. 2023.
2. RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Os autores, 2006.
3. ARÁUJO, A.G., Casão Júnior, R., Siqueira, R., 2001. **Máquinas para semear**. *Cultivar Máquinas*, Ano I, n.2, p.10-11
4. QUINTELA, A. C. R.; ANDRADE, L. A. B.; CARVALHO, G. J.; BOCARDO, M. R. **Efeito do plantio de cana inteira, com e sem desponete, e da compactação pós-cobertura, em duas variedades de cana-de-açúcar**. *Stab*, Piracicaba, v. 15, n. 3, p.22-24. 1997.~
5. MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B., ALONÇO, A. S. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. 2ª ed. Pelotas:Gráfica e Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, 2005.
6. ANTUNES, R. **Os Sentidos do Trabalho**. 12ª reimpressão. São Paulo: Boitempo, 2010.
7. LIMA, A. C., & FERRARESI, V. A. **Análise da microestrutura e da resistência ao desgaste de revestimento duro utilizado pela indústria sucroalcooleira**. *Soldagem & Inspeção*, 14(2), 140–150, 2009.
8. MACHADO, A. L. T. **Metodologia para avaliação do desgaste em ferramentas simétricas de mobilização do solo**. *Rev bras eng agríc ambient*, 2009.
9. SILVA, L. C. **Comportamento da rebarba no fresamento de faceamento do aço inoxidável PH 13 8Mo**. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
10. SIQUEIRA, R, QUEIROZ, G.A.C., CASÃO JUNIOR, R., 2002. **Predição de esforços em hastes sulcadoras para semeadoras de plantio direto**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador, Bahia. Anais, Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002.
11. HERZOG, L.S.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. **Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado**. *Eng. Agríc.*, v.24, n.3, p.771-780, Jaboticabal, SP, 2004
12. REIS, A. V.; FORCELLINI, F. A. **Análise da precisão funcional da semeadora**. *Tecno Lógica*, Santa Cruz do Sul, v. 6, n. 2, p. 91-104. 2002.
13. MCKYES, E. **The calculation of draft forces and soil failure boundaries of narrow cutting blades**. *Transaction of the ASAE.*, 1978. St Joseph, v.21, p. 20-24.
14. PAULETTO, E. A. **Determinação de Atributos Físicos do Solo – Manual de Laboratório** UFPel, 59p. Departamento de Solos, Faculdade de

- Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 1997.
15. LANÇAS, H. P. **Subsolagem ou escarificação**. Cultivar Máquinas, Ano III, n.14, p.38-41, 2002.
  16. OWSIAK, Z. **Wear of spring tine cultivator points in sandy loam and light clay soils in southern Poland**. Soil & Tillage Research, v.50 (1999), p.333-340. Institute of Agricultural Engineering, Agricultural University of Wrocław ul. Chełmonięskiego 37/41, 51- 630 Wrocław, Poland, 1999.
  17. BROLE, S. D.; Yu, H. **Abrasive wear evaluation of tillage tool materials**. Lubrication Engineering, v.48, n.12, p.925-34, 1992.
  18. GILL, W. R.; BERG, G. E. V. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: U.S. Department of Agriculture, p.511 ,1968.
  19. KEPNER, R. A.; BAINER, R.; BARGER, E. L. **Principles of farm machinery**. 2nd ed., Westport: Avi Publishing Company, p.487, 1972
  20. STAFFORD, J. V.; TANNER, D. W. **The frictional characteristics of a steel sliding on soil**. National Institute of Agricultural Engineering, West Park, Silsoe, Bedford. 1976.
  21. DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. de; LANDELL, M. G. de A. **Aspectos fitotécnicos do plantio**. Campinas: Instituto Agronômico; 2008.
  22. BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J. **Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. Revista Coplana, Guariba, n. 52, p. 26-28, 2008.
  23. BARROS NETO B.; SCARMINIO S. I.; BRUNS E.R. **Como fazer experimentos, pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2ª edição. São Paulo: Unicamp, 2001
  24. VIANA, H. R. G. **PCM PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO**. Qualitymark Editora Ltda. 2006
  25. SILVA, J. G.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. **Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto**. Scientia Agricola, 57(1), 7–12, 2000.
  26. MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. Saraiva Educação SA, 2017.
  27. NMLK. **AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA AO DESGASTE QUARD 450**. 2021
  28. Cochrane Collaboration. **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions**. Second edition. edited by J. P. T. Higgins. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. 2019
  29. DMB; **CATÁLOGO DE PEÇAS SULCADOR BEIJA-FLOR ACIONAMENTO MECÂNICO**. DMB, 2023. Disponível em <<https://www.dmb.com.br/linha-canavieira/sulcadores/sulcador-de-2-linhas-com-adubadeiras>> Acesso em 07 de Dez. 2023
  30. KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção - Função Estratégica**. Segunda edição. Rio de Janeiro: QualityMark, 2001.
  31. RICHARDSON, R. C. D. **The wear of metallic materials by soil**. Journal of Agricultural Engineering Research, p.22-39, 1967.
  32. HETTIARATCHI, D. R. P.; WITNEY, B.D.; REECE, A. R., **The calculation of passive pressure in two-dimensional soil failure**. Journal of Agricultural Engineering Research, v.11, p.89-107. 1966.
  33. SILVA, R.B.; LANÇAS, K. P.; DIAS JUNIOR, M.S. **O limite da terra**. Cultivar Máquinas, Ano III, n.25, p.12-19. 2003
  34. ASA **IMPLEMENTOS. PLANTADEIRA DE CANA DE AÇÚCAR 2 LINHAS PLATAFORMA TRASEIRA**. Disponível em <[https://asaimplementos.com.br/site/portofolio/plantadeira\\_cana\\_2\\_linhas\\_de\\_acucar/#](https://asaimplementos.com.br/site/portofolio/plantadeira_cana_2_linhas_de_acucar/#)> Acesso em 07 de Dez. 2023.