



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

CONCEPÇÃO DE ALINHADOR E ENGATE RÁPIDO PARA BARRA DE TRAÇÃO DO TRATOR

São Cristóvão – Sergipe

2025

Milena Luiza Lima de Rezende

CONCEPÇÃO DE ALINHADOR E ENGATE RÁPIDO PARA BARRA DE TRAÇÃO DO TRATOR

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. DSc. Weligton Gonzaga do Vale

São Cristóvão – Sergipe

2025

Milena Luiza Lima de Rezende

CONCEPÇÃO DE ALINHADOR E ENGATE RÁPIDO PARA BARRA DE TRAÇÃO DO TRATOR

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrícola.

Trabalho aprovado. São Cristóvão – Sergipe, 19 de Maio de 2025:

Orientador

Prof. DSc. Weligton Gonzaga do Vale

Avaliador

Prof. DSc. Adilson Machado Enes

Avaliador

MSc. Valfran José Andrade

São Cristóvão – Sergipe

2025

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me amparou e fortaleceu em todos os momentos, abençoando-me e concedendo sabedoria e paciência para concluir a tão sonhada graduação, permitindo que meus objetivos fossem alcançados. Toda honra e glória ao Senhor, que tanto fez por mim.

À Universidade Federal de Sergipe (UFS), especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), pelo suporte e pelos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação.

À minha amada mãe, Simone Carla Lima Vaz, minha maior incentivadora e fortaleza, que nunca deixou de acreditar em mim e sempre moveu céus e terras para que todos os meus objetivos fossem realizados. Sem seu apoio, eu não teria conseguido chegar até aqui.

À minha querida filha, Angelina de Rezende Chaves, que, mesmo tão pequena, já me ensina tanto. Com sua doçura e maturidade, acompanhou-me durante toda esta trajetória.

Ao meu orientador, Professor Dr. Wellington Gonzaga do Vale, que foi inspiração desde o primeiro semestre e se tornou um grande amigo e conselheiro.

Estendo meus agradecimentos a todos os professores e técnicos do Departamento de Engenharia Agrícola da UFS, que sempre estiveram presentes, oferecendo suporte e dedicando seu tempo para compartilhar conhecimento e promover discussões enriquecedoras sobre a graduação e o mercado de trabalho. Em especial, agradeço aos técnicos Flávia, Diego e Valfran, que se tornaram amigos e incentivadores, presentes nos momentos de dúvida e angústia, assim como nas comemorações e conquistas.

À Professora Dra. Nara Velloso, que representa força e inspiração em um ambiente ainda predominantemente masculino. Sua presença foi essencial para empoderar e motivar as alunas do DEAGRI, além de ser uma grande amiga.

Agradeço especialmente à Ysabelle, a irmã que a UFS me deu. Não sei como descrever o quanto sua presença foi importante para mim neste período, mas sei que ela foi fundamental para que eu chegasse até aqui. Obrigada por toda a parceria e irmandade. À Karen Myllena, minha xará, uma amiga que levarei comigo por toda a vida.

À Janyelle, uma das redes de apoio mais importantes que tive. Apesar de todos os conflitos, sempre fomos alicerces uma da outra. Sem você, esta graduação teria sido quase impossível. Obrigada por todo o carinho e apoio comigo, e principalmente com a Angelina.

Aos amigos que a graduação me deu, que com certeza foram meus maiores apoiadores e incentivadores: foi incrível compartilhar este tempo com vocês, “apesar de tudo”. Cito com muito carinho: Inácio, Iran, Agnaldo, Eduardo, André, Marielly, Raul e Jlyel. Agradeço pela parceria, paciência e palavras de apoio.

À minha família, que mesmo à distância sempre foi meu alicerce. Aos meus irmãos, Maruan L. L. V. Rezende e Marvan L. L. V. Rezende, que sempre foram meu porto seguro. Ao meu pai, Gil Luiz de Rezende, que sempre me ensinou tudo ao pé da letra e despertou minha curiosidade por aprender cada vez mais. Ao meu padrasto, Marcos Luiz Gomes, que me ensinou o amor e o respeito pela agricultura e pela manutenção. E ao pai da Angelina, Diego dos Santos Chaves, que foi meu maior provedor durante a graduação.

Por fim, agradeço a todas as pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e, de alguma forma, contribuíram para a minha formação acadêmica.

Resumo

A mecanização agrícola tem sido fundamental para promover maior eficiência, segurança e produtividade no campo. No entanto, processos como o acoplamento e desacoplamento de implementos à barra de tração dos tratores ainda são realizados manualmente em muitas propriedades, o que acarreta riscos operacionais e perdas de tempo. Este trabalho propôs o desenvolvimento conceitual de um dispositivo de engate rápido com alinhador automatizado para tratores agrícolas, com base em uma metodologia de projeto que permite revisões e iterações com as etapas anteriores para correções e melhorias quando necessário e em conformidade com a Norma Regulamentadora NR 31. Foram exploradas tecnologias como válvulas direcionais, atuadores eletro-hidráulicos, eletropneumáticos e elétricos, com o objetivo de eliminar a necessidade de intervenção manual do operador. Os resultados apontam para uma solução viável e adaptável a diferentes modelos de tratores, que pode melhorar significativamente a ergonomia, segurança e padronização das operações agrícolas. O estudo também reforça a importância da inovação no campo por meio da automação e do uso de metodologias estruturadas de desenvolvimento de produtos.

Palavras-chave: acoplamento de implemento; automação; NR-31; mecanização agrícola.

Abstract

Agricultural mechanization has been essential in promoting greater efficiency, safety, and productivity in the field. However, operations such as hitching and unhitching implements to the tractor drawbar are still performed manually on many farms, leading to operational risks and time losses. This work proposes the conceptual development of a quick hitch device with an automated aligner for agricultural tractors, based on a design methodology that allows revisions and iterations with previous stages for corrections and improvements when necessary, in compliance with Regulatory Standard NR 31. Technologies such as directional valves, electro-hydraulic, electropneumatic, and electric actuators were explored with the goal of eliminating the need for manual operator intervention. The results indicate a feasible solution adaptable to different tractor models, which can significantly improve ergonomics, safety, and the standardization of agricultural operations. The study also highlights the importance of innovation in the field through automation and the use of structured product development methodologies.

Keywords: quick hitch; automation; NR-31; agricultural mechanization.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama conceitual do engate.	22
Figura 2 – Modelagem do conjunto de engate rápido.	24
Figura 3 – Vista detalhada do conjunto.	24
Figura 4 – Diagrama conceitual do engate.	25
Figura 5 – Diagrama conceitual do engate.	25
Figura 6 – Suporte da articulação lateral/horizontal, vertical e fixação no cabeçalho. . .	26

Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos para o sistema de fixação.	18
Tabela 2 – Tipos de sistema para fixação do pino de engate.	19
Tabela 3 – Características relevantes para o alinhador.	20

Lista de abreviaturas e siglas

DER	Departamento de Estradas de Rodagem
EPI	Equipamento de Proteção Individual
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPC	Classificação Internacional de Patentes
MVP	Produto Mínimo Viável
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	NR 31.12	12
2.2	Barra de Tração	13
2.3	Dispositivos existentes	14
2.4	Riscos e acidentes no engate e desengate de implementos agrícolas . . .	15
2.5	Propriedade industrial de dispositivos similares	16
2.6	Possíveis formas de acionamento do pino de engate	17
2.7	Metodologia de Pahl	17
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	18
3.1	Sistema de Fixação	18
3.2	Sistema de Alinhamento	19
3.3	Materiais e Métodos	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1	Sistema de Fixação	21
4.2	Sistema de Alinhamento	23
4.3	Modelagem	23
5	CONCLUSÃO	26
	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola representa um dos pilares da modernização do setor agropecuário, promovendo o aumento da produtividade, eficiência e segurança nas operações de campo. Dentre os processos operacionais mecanizados, destaca-se o acoplamento de implementos à barra de tração dos tratores, procedimento que, embora rotineiro, ainda é realizado de forma manual em muitas propriedades, o que compromete tanto a segurança dos operadores quanto a agilidade operacional.

A Norma Regulamentadora nº 31 (NR-31), especificamente em seu capítulo 12, determina que o acoplamento de implementos agrícolas deve ser realizado por meio de sistemas de engate rápido e, preferencialmente, sem a intervenção de terceiros, garantindo maior segurança aos operadores (BRASIL, 2005). Contudo, conforme observado em uma fazenda de grande porte durante visitas técnicas, nenhum dos tratores possuía sistemas de engate rápido na barra de tração, tornando o processo moroso, inseguro e altamente dependente da experiência do operador.

O desenvolvimento de dispositivos que automatizam ou facilitam o acoplamento e desacoplamento de implementos não é inédito. Souza (2021) desenvolveu um dispositivo para montagem de implementos florestais que resultou em ganhos significativos em ergonomia, segurança e redução de esforço físico no processo fabril. De forma semelhante, Mattos (2022) propôs o conceito de uma semeadora de precisão autônoma, ressaltando o impacto positivo de soluções tecnológicas no aumento da eficiência operacional no campo. Já Koenig (2019), ao conceber um veículo elétrico portátil para mobilidade urbana, empregou a metodologia de Pahl *et al.* (2005) para guiar o processo criativo e técnico do projeto, demonstrando a aplicabilidade dessa abordagem em diferentes áreas da engenharia.

Nesse mesmo sentido, Borges e Rodrigues (2010) reforçam a importância da metodologia de Pahl e Beitz ao abordar melhorias que aumentem a segurança no desenvolvimento de produtos, apontando que falhas em estágios iniciais do projeto podem comprometer significativamente o desempenho e a confiabilidade do produto final.

Além disso, a segurança na operação de máquinas agrícolas é um aspecto crítico, envolvendo o uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPIs), manutenção regular das máquinas e treinamento adequado dos operadores (AMG Saúde, 2023).

Os sistemas hidráulicos e pneumáticos desempenham um papel crucial na automação e eficiência das máquinas agrícolas. Os sistemas hidráulicos são ideais para aplicações que exigem alta força a velocidades moderadas, enquanto os sistemas pneumáticos são mais adequados para aplicações de alta velocidade com força moderada (Farquar, 2023).

Assim, a proposta visa preencher uma lacuna identificada em campo, contribuindo com soluções inovadoras para o setor agrícola nacional. Além disso, espera-se que o dispositivo concebido possa ser adaptado a diferentes modelos de tratores, promovendo a padronização e facilitando a disseminação de práticas seguras e eficientes no uso de máquinas agrícolas. Diante

desse contexto, o objetivo geral do presente trabalho é desenvolver um dispositivo conceitual de engate rápido e seguro de implementos na barra de tração dos tratores conforme NR 31.12 de 2005, otimizando o tempo de acoplamento/desacoplamento e aumentando a segurança operacional.

Como objetivos específicos, têm-se: (1) Compreender as exigências da NR 31.12 quanto ao engate de implementos nos tratores agrícolas; (2) Identificar soluções utilizadas e propor possíveis melhorias; (3) Desenvolver o projeto conceitual aplicando a metodologia de projeto de produto, de modo a viabilizar o projeto definitivo do engate rápido.

1.1 Justificativa

Segundo a NR 31, no capítulo 12, que trata sobre Segurança no trabalho em Máquinas e Implementos Agrícolas, o acoplamento dos implementos deve ser feito por meio de um engate rápido e sem ajuda de terceiros para garantir a segurança na operação (NR-31).

Outro ponto importante, é o tempo de acoplamento e desacoplamento do implemento. Sem o engate rápido, o operador precisa descer da máquina, retirar o pino de fixação, retorna à cabine do trator, alinhar a barra de tração do trator com a cabeça de engate do implemento, alinhar os furos, sair da cabine colocar o pino de fixação, travar o pino e colocar a corrente. E para o desacoplamento ocorre a situação com a cronologia inversa.

Com o dispositivo a ser desenvolvido, as máquinas atenderiam o padrão exigido pela NR 31, reduziria o tempo de acoplamento/desacoplamento, garantiria maior segurança na operação, além de maior confiabilidade no acoplamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 NR 31.12

A Norma Regulamentadora de número 31, que trata sobre Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura, possui um capítulo exclusivo para lidar com a segurança no trabalho de máquinas e implementos agrícolas, o capítulo em questão é o de número 12.

Este capítulo estabelece diretrizes para minimizar riscos e garantir a integridade dos trabalhadores. Aqui estão os principais pontos focados no acoplamento seguro:

- **Treinamento e Capacitação** – Os trabalhadores devem ser devidamente treinados para operar e acoplar máquinas e implementos agrícolas, conhecendo detalhadamente os procedimentos corretos de segurança.
- **Inspecção Antes do Acoplamento** – Antes de realizar o acoplamento, é imprescindível verificar o estado geral do equipamento, incluindo engates, eixos, pontos de fixação e

sistemas hidráulicos, a fim de identificar possíveis defeitos ou desgastes que possam comprometer a segurança.

- **Procedimentos Seguros** – O acoplamento deve ser executado com o motor desligado, freio acionado e em terreno plano para evitar movimentações inesperadas que possam causar acidentes.
- **Uso de Dispositivos de Proteção** – O eixo cardã e outras partes móveis devem estar protegidos por guarda-corpos ou dispositivos que impeçam o contato direto, prevenindo lesões.
- **Equipamentos de Proteção Individual (EPI)** – É obrigatório que os trabalhadores utilizem EPIs adequados durante o processo de acoplamento, como luvas, botas de segurança, capacete, óculos de proteção e vestimenta apropriada, para reduzir riscos de acidentes e exposição a perigos.
- **Distância Segura** – Durante o acoplamento, outras pessoas devem manter distância segura da zona de perigo para evitar acidentes decorrentes de movimentações involuntárias do equipamento.
- **Manutenção Preventiva** – As máquinas e implementos agrícolas devem passar por inspeções e manutenções regulares para garantir seu funcionamento seguro e prevenir falhas durante a operação.
- **Comunicação e Sinalização** – Os operadores devem manter comunicação eficiente e utilizar sinais padronizados para garantir a coordenação segura durante o processo de acoplamento.

Essas medidas garantem que o processo de acoplamento ocorra de maneira segura, prevenindo acidentes e protegendo os trabalhadores.

2.2 Barra de Tração

A barra de tração é um dos principais pontos de conexão entre o trator agrícola e os implementos rebocados. Sua função é transmitir a força de tração gerada pelo trator, garantindo a mobilidade e o funcionamento adequado dos implementos durante as operações de campo.

Existem diferentes tipos de barras de tração, sendo os mais comuns:

- Barras retas - com altura fixa em relação ao solo;
- Barras com degrau - que permitem ajuste na altura do ponto de acoplamento.

Em ambas as barras citadas pode ser parafusado o cabeçote para formar a “boca de lobo”.

A posição correta da barra de tração é fundamental para garantir estabilidade, reduzir esforços mecânicos e prevenir acidentes. Conforme estudo de Silva *et al.* (2021), muitos modelos de tratores apresentam não conformidade com as dimensões e posicionamento exigidos pela norma NBR 7811, o que pode comprometer a ergonomia e segurança nas operações agrícolas.

O terminal da barra de tração, que é composto pela barra e o cabeçote onde ocorre o encaixe mecânico com o cabeçalho do implemento por meio de um pino de fixação. Este componente é projetado para suportar esforços de tração e impactos durante o trabalho em campo. Em tratores modernos, o cabeçote pode apresentar dispositivos de travamento automático, que facilitam o engate rápido, reduzindo a necessidade de intervenção manual.

Segundo Prado *et al.* (2022), a barra de tração com cabeçote deve estar devidamente alinhada com o cabeçalho do implemento para evitar desgaste excessivo e garantir o acoplamento seguro. Ainda de acordo com o mesmo autor, seu formato facilita o posicionamento do pino, mas requer cuidados quanto ao alinhamento, principalmente em terrenos irregulares.

A eficiência na barra de tração é influenciada pela relação peso-potência do trator e pela carga exercida na conexão. Anselmo *et al.* (2021) destacam que relações equilibradas e cargas adequadas garantem maior rendimento e menor consumo de combustível. Além disso, o uso correto da barra com cabeçote reduz o esforço do operador, melhora a ergonomia e aumenta a segurança durante o acoplamento e desacoplamento dos implementos.

2.3 Dispositivos existentes

Foi identificado um dispositivo similar no trator John Deere, modelo 7J. No vídeo disponível no YouTube com o título “Barra de tração - Entrega Técnica TR 7J (Maqcampo | John Deere)”, o técnico responsável pela entrega técnica menciona que se trata de um dispositivo de segurança que dispensa a necessidade de o operador descer do trator para realizar o acoplamento com o implemento. Contudo, para o desacoplamento, ainda é necessário que o operador desça e retire o pino manualmente. Durante o vídeo, com duração aproximada de 1 minuto e 30 segundos, é possível observar que o acionamento do dispositivo é feito por um botão localizado no fundo do cabeçote da barra de tração. Esse botão aciona mecanicamente a liberação da peça que trava o pino no momento da fixação do implemento à barra de tração do trator.

Também é possível citar, como exemplo de tecnologia semelhante, os engates automáticos empregados em combinações veiculares de carga, como os rodotrens, que utilizam o chamado “dolly” — equipamento intermediário que conecta o reboque ao semirreboque traseiro. Popularmente conhecido como sistema “Romeu e Julieta”, esse tipo de engate é amplamente utilizado no setor de transporte rodoviário por permitir o acoplamento automático entre os módulos, aumentando a eficiência e a segurança da operação. Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG), o dolly proporciona maior flexibilidade de articulação

e facilita manobras, contribuindo para a fluidez do trânsito e para a segurança operacional em rodovias. Esses sistemas, que dispensam a intervenção direta do operador entre os pontos de acoplamento, servem como referência técnica para o desenvolvimento de soluções similares em tratores agrícolas.

Em pesquisa realizada nos sites e manuais das principais fornecedoras de máquinas agrícolas, não foram encontrados outros dispositivos semelhantes que automatizam completamente o processo de acoplamento e desacoplamento de implementos.

2.4 Riscos e acidentes no engate e desengate de implementos agrícolas

O engate e desengate de implementos à barra de tração do trator representa uma das etapas operacionais mais críticas no contexto da mecanização agrícola. Quando realizado de forma manual e sem o apoio de dispositivos de automação, esse processo expõe os operadores a riscos significativos, como esmagamentos, quedas, amputações e capotamentos, principalmente devido à necessidade de saída da cabine para ajustes e posicionamentos manuais.

Dados da Organização Internacional do Trabalho (OIT) indicam que o Brasil registra, anualmente, cerca de 3.000 mortes envolvendo tratores agrícolas, sendo que aproximadamente um terço desses acidentes resulta em incapacidades permanentes. Em determinadas regiões, como nos vales do Rio Pardo, Jacuí e Taquari (RS), 42,5% das mortes relacionadas ao trabalho rural estão associadas a acidentes com tratores.

De forma mais específica, a literatura técnica aponta o engate inadequado de implementos como uma das principais causas de acidentes graves e fatais. Segundo a Revista Cultivar (2020), práticas como a utilização incorreta dos pontos de acoplamento contribuem para o aumento de capotamentos traseiros, fenômeno recorrente entre as ocorrências fatais com tratores agrícolas. Além disso, a falta de capacitação dos operadores é um agravante recorrente. Pesquisa publicada por Gonçalves *et al.* (2019) revela que 60,74% dos operadores de tratores entrevistados nunca participaram de cursos de operação ou segurança no trabalho, o que compromete a execução segura do engate e desengate de implementos.

A Norma Regulamentadora NR-31.12 (BRASIL, 2005) reforça a obrigatoriedade de realizar o acoplamento de implementos por meio de sistemas de engate rápido e sem a intervenção direta do operador entre os pontos de conexão, visando reduzir os riscos de acidentes e promover condições adequadas de ergonomia e segurança.

Diante deste panorama, ressalta-se a importância de desenvolver e adotar soluções tecnológicas que automatizam e padronizam o engate de implementos, como o dispositivo proposto neste trabalho. A implementação dessas tecnologias pode contribuir de forma significativa para mitigar riscos, aumentar a segurança operacional e melhorar a eficiência das operações agrícolas.

2.5 Propriedade industrial de dispositivos similares

Uma pesquisa nos bancos de dados do INPI, Google Patents, Espacenet e Patentscope revelou a existência de nove patentes relacionadas a dispositivos de engate para tratores agrícolas. Dentre elas, destacam-se cinco patentes que apresentam soluções inovadoras aplicáveis ao acoplamento automatizado. Todas classificadas sob os códigos IPC B60D, que tratam de conexões de tração e engates com funções específicas.

A patente BR 10 2018 001677 6 B1 descreve um conjunto de montagem de engate de queda de pino com mecanismo de retenção por mola. O sistema permite que o pino seja mantido em uma posição retraída até que ocorra o acionamento para seu travamento automático no engate. Essa configuração visa aumentar a segurança do operador ao reduzir a necessidade de intervenção manual (INPI, 2025).

Já a patente BR 10 2018 001671 7 B1 apresenta um método semelhante, com variação no acionamento do pino de fixação, permitindo o controle do engate por diferentes posições de operação. A solução é voltada à eficiência em operações agrícolas repetitivas, onde o engate e desengate ocorrem frequentemente (INPI, 2025).

A patente BR 10 2018 001673 3 B1 introduz uma terceira posição ao pino: além das posições estendida (travada) e retraída (livre), há uma posição intermediária que permite ajustes finos no momento do acoplamento. Esse recurso é especialmente útil em situações de solo irregular ou desalinhamento entre trator e implemento (INPI, 2025).

Mais avançada, a patente BR 102018001668-7 A2 incorpora um membro de alinhamento que move mecanicamente o receptor do pino para alinhar sua abertura com o furo da barra de tração. Além disso, conta com uma janela de visualização, permitindo ao operador verificar se a barra de tração está corretamente posicionada dentro da cavidade do receptor, aumentando assim a confiabilidade do engate (INPI, 2025).

Por fim, a patente BR 102014021089-0 A2, de titularidade da Forage Innovations B.V., descreve um conjunto de montagem de acoplamento com capacidade de rotação relativa entre o cabeçalho do implemento e o veículo de reboque. Esse movimento rotacional facilita o acoplamento em terrenos desnivelados ou com variações de posição, agregando flexibilidade ao sistema (Google Patents, 2025).

Essas patentes demonstram o contínuo esforço das indústrias no desenvolvimento de soluções que promovam maior eficiência, segurança e autonomia no processo de acoplamento de implementos agrícolas. Os princípios técnicos apresentados nessas invenções serviram como base para a concepção do dispositivo proposto neste trabalho.

2.6 Possíveis formas de acionamento do pino de engate

O acionamento do pino de engate e implementos agrícolas pode ser realizado de diversas maneiras. Atualmente, em grande parte dos equipamentos, esse processo ainda é executado manualmente, exigindo que o operador desça da cabine do trator para alinhar os furos da barra de tração com os do cabeçalho do implemento e inserir o pino de fixação. O mesmo procedimento é necessário para o desengate.

Alguns modelos mais modernos, como o trator John Deere 7J, apresentam acionamento automático para o travamento do pino por meio de botões na parte interna do cabeçote, porém o processo de desacoplamento continua exigindo ação manual do operador.

Com o objetivo de modernizar e automatizar esse processo, são consideradas alternativas como o uso de válvulas direcionais, microcontroladores, atuadores lineares eletro-hidráulicos, eletropneumáticos ou elétricos. Essas tecnologias vêm sendo aplicadas na automação agrícola, com resultados positivos em segurança e eficiência.

As válvulas direcionais controlam o fluxo de fluido em sistemas hidráulicos ou pneumáticos, sendo caracterizadas por número de vias e posições, tipo de acionamento (manual, elétrico, hidráulico ou pneumático), tipo de retorno e vazão. Elas são indispensáveis em circuitos eletrohidráulicos e eletropneumáticos (Danfoss, 2024).

Os atuadores lineares realizam movimentos retilíneos e podem ser operados por força elétrica, hidráulica ou pneumática. Atuadores de ação simples utilizam molas para retornar à posição inicial, enquanto os de ação dupla exercem força nos dois sentidos. A possibilidade de integração com sistemas eletrônicos embarcados tem ampliado sua aplicação em mecanismos de engate automático (Kyntronics, 2020).

Essas soluções eliminam a necessidade de o operador sair da cabine, aumentando a produtividade e reduzindo os riscos de acidentes.

2.7 Metodologia de Pahl

O desenvolvimento do conceito do dispositivo de engate rápido na barra de tração seguiu a abordagem metodológica de projeto proposta por Pahl *et al.* (2005). Essa metodologia organiza o processo em quatro fases principais: Planejamento e Esclarecimento da Tarefa, Concepção, Desenvolvimento e Detalhamento. O método é iterativo, permitindo revisões contínuas para aprimoramento da solução.

Na fase de planejamento, são definidos os objetivos e restrições do projeto, resultando em uma lista de requisitos que será atualizada conforme o avanço do desenvolvimento. A fase de concepção trata da geração de soluções iniciais, por meio da análise funcional do problema. Nessa etapa, diferentes alternativas podem ser exploradas com representações como diagramas, fluxogramas ou esboços.

Este trabalho considera apenas as duas primeiras etapas da metodologia, com foco na formulação da lista de requisitos e na proposição de soluções preliminares para o problema em estudo.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O conceito do dispositivo de engate rápido foi baseado nos requisitos identificados em uma fazenda de grande porte, observando-se a ausência de soluções automatizadas, e apoiado nas diretrizes estabelecidas pela NR-31.12. O processo de desenvolvimento do projeto conceitual teve como guia a metodologia de Pahl et. al (2005), pensando primeiramente na segurança do operador, simplicidade mecânica e a viabilidade de automação.

Para este projeto o desenvolvimento foi dividido em duas etapas, o sistema de fixação e o alinhador ou receptor da barra de tração.

3.1 Sistema de Fixação

A partir da análise do problema, foram estabelecidos os seguintes requisitos listados na Tabela 1:

Tabela 1 – Requisitos para o sistema de fixação.

Requisito	Tipo	Observações
Eliminar necessidade de saída da cabine	Funcional	Segurança do operador
Acoplamento seguro e automático	Funcional	Redução de tempo e esforço físico
Compatibilidade com tratores existentes	Técnico	Adaptável à barra de tração
Baixo custo de produção	Econômico	Possibilidade de fabricação nacional
Controle elétrico com botão	Operacional	Facilidade de acionamento

Visando uma solução inovadora com o intuito de registrar de patente, iniciou-se as buscas por novas soluções e a possibilidade do desacoplamento automático do implemento, com objetivo de reduzir o tempo e aumentar a segurança na operação. Foram realizadas buscas através do uso de palavras chaves, como: engate rápido, engate automático, acoplamento, barra de tração, tratores, máquinas e implementos agrícolas, alinhador de barra de tração com cabeçote e similares. Os principais sites de busca foram: Google Acadêmico, SciELO. As buscas também foram realizadas em manuais técnicos das concessionárias de máquinas agrícolas como a John Deere, Massey Ferguson e New Holland. E as buscas de patentes no site do INPI, Google Patents, Spacenet e Patentscope.

Com isso, foi considerado para o sistema de acionamento do pino de fixação do engate rápido três hipóteses, apresentadas na Tabela 2.

A escolha recaiu sobre o sistema elétrico, por sua simplicidade e compatibilidade com a realidade de propriedades rurais de médio porte.

Tabela 2 – Tipos de sistema para fixação do pino de engate.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Eletropneumático	Rápido, silencioso	Requer compressor, mais complexo
Eletro-hidráulico	Alta força, robustez	Sistema pesado, manutenção complexa
Elétrico (escolhido)	Simples, compatível com 12V, fácil instalação	Força moderada, depende da qualidade do atuador

O conceito desse dispositivo pode consistir em um pino móvel acionado por um atuador linear elétrico, controlado por um botão na cabine. O sinal é enviado a uma central de controle simples, podendo ser um relé ou microcontrolador, que comanda o avanço ou recuo do pino de fixação.

3.2 Sistema de Alinhamento

Para facilitar o sistema de acoplamento pode ser utilizado um sistema de alinhamento guiado, as patentes BR 102018001668-7 A2 e BR 102014021089-0 A2 já descrevem mecanismos similares. A Patente BR 102018001668-7 A2 (Deere & Company) apresenta um membro de alinhamento que move o receptor do pino para alinhar sua abertura com o furo da barra de tração, além de conter uma janela de visualização que permite ao operador verificar o encaixe correto. Já a Patente BR 102014021089-0 A2 (Forage Innovations B.V.) descreve um conjunto de engate com capacidade de movimento rotacional entre o cabeçalho e o trator, permitindo pequenos ajustes de posição durante o acoplamento, o que é ideal para terrenos inclinados ou desníveis.

Baseando se nas patentes citadas e com objetivo de otimizar o processo, é proposto o conceito de um alinhador que permite o engate mesmo em condições de solos irregulares ou com pequenas variações dimensionais dos implementos. Para a solução deste problema, deve ser considerado que o receptor da barra de tração deve ter uma articulação lateral limitada que permita alinhar a barra de tração e o implemento lateralmente, um guia cônico macho na barra de tração e uma guia cônica fêmea no cabeçalho do implemento para realizar o auto alinhamento responsável por centralizar os furos de passagem do pino. Para sistema mais moderno pode ser inserido um sensor de alinhamento, para sinalizar o que o implemento está posicionado corretamente, porém o custo de implementação e manutenção é elevado e requer mão de obra especializada.

O sistema deve ter como requisitos, a correção automática de posição, redução do tempo de acoplamento, menor desgaste por desalinhamento e maior segurança operacional. A Tabela 3 mostra os benefícios operacionais que o dispositivo com estas características deve ter.

Além dos benefícios, esse sistema pode ser adaptado com materiais simples e resistentes, como aço carbono ou liga leve, podendo até utilizar sucatas de implementos e máquinas agrícolas, com isso mantendo custo de fabricação baixo, o que está alinhado ao objetivo do trabalho de desenvolver uma solução viável para o ambiente agrícola nacional. Porém o aço SAE 4140 é muito

utilizado para a fabricação da estrutura da barra de tração, do cabeçote e demais componentes submetidos a esforços mecânicos significativos (Turatti; Birck; Toso, 2017).

Tabela 3 – Características relevantes para o alinhador.

Característica	Benefício Operacional
Correção automática de posição	Reduz necessidade de manobras com o trator
Redução de tempo de acoplamento	Alinhamento mais rápido e eficiente
Menor desgaste por desalinhamento	Prolonga vida útil do pino e da barra
Maior segurança operacional	Reduz riscos de falhas no encaixe

3.3 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do projeto conceitual do dispositivo de engate rápido com alinhamento automatizado, foram adotadas abordagens baseadas na engenharia do produto, utilizando como principal diretriz a metodologia de Pahl *et al.* (2005), conforme descrito na Seção 2.5.

Embora se trate de um projeto conceitual, a seleção dos materiais e componentes considerou a viabilidade de aplicação prática. A seleção considerou resistência mecânica, disponibilidade no mercado nacional e compatibilidade com condições de operação no meio agrícola. Os principais elementos materiais do projeto são:

- **Aço SAE 4140:** uma liga de médio carbono com adição de cromo e molibdênio, classificada como aço de baixa liga temperável. Apresenta alta resistência mecânica, boa tenacidade, resistência à fadiga e excelente desempenho em aplicações sujeitas a torção, impacto e desgaste. Além disso, responde bem a tratamentos térmicos como têmpera e revenimento, sendo amplamente utilizado em componentes críticos de máquinas agrícolas, como eixos, pinos e barras de tração. Sua aplicação é recomendada em situações que exigem robustez estrutural e durabilidade em ambientes severos (Turatti; Birck; Toso, 2017).
- **Atuador linear elétrico 12V:** responsável pelo movimento do pino de engate, com capacidade de força e curso compatíveis com o sistema proposto;
- **Microcontrolador (ex. Arduino) ou relé de controle:** para acionar o atuador elétrico a partir de um comando da cabine; Botão de acionamento: instalado na cabine do trator para acionar o sistema de fixação;
- **Guias cônicos (macho e fêmea):** empregados para o autoalinhamento entre a barra de tração e o cabeçalho do implemento;
- **Elementos de fixação:** como parafusos, pinos, buchas e chapas metálicas.

O desenvolvimento do projeto seguiu uma abordagem sistemática dividida em duas frentes: **sistema de fixação** e **sistema de alinhamento**. As etapas metodológicas foram:

1. **Levantamento de requisitos:** a partir de observações realizadas em uma fazenda de grande porte, onde o acoplamento de implementos ainda era feito de forma manual e da análise das exigências normativas da NR 31.12;
2. **Revisão técnica e tecnológica:** incluindo análise de patentes, manuais de fabricantes e literatura científica;
3. **Geração de soluções conceituais:** com alternativas fundamentadas em princípios de funcionamento eletromecânicos e de segurança;
4. **Seleção da solução ideal:** com base em critérios como simplicidade construtiva, custo estimado, segurança operacional e compatibilidade com tratores nacionais;
5. **Modelagem tridimensional das peças:** realizada no ambiente CAD do Onshape, que permitiu a criação individual de cada componente;
6. **Montagem virtual do conjunto:** feita no SolidWorks, permitindo verificar o encaixe e o funcionamento das partes em conjunto e gerar vistas explodidas e detalhadas do protótipo virtual.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos sistemas de engate rápido foi dividida em duas frentes: o sistema de fixação e o sistema de alinhamento do implemento, com base nos requisitos levantados durante o desenvolvimento do trabalho com base em literatura técnica sobre mecanização agrícola.

4.1 Sistema de Fixação

Dentre as tecnologias analisadas, optou-se pelo sistema de fixação com atuador linear elétrico, operado por meio de botoeiras instaladas na cabine do trator. A escolha pelo sistema elétrico justifica-se por sua simplicidade de implementação, compatibilidade com a estrutura elétrica padrão de tratores (12VDC), menor custo e facilidade de manutenção quando comparado aos sistemas hidráulicos e eletropneumáticos.

Segundo Silva, Oliveira e Pereira (2024), os atuadores elétricos representam uma alternativa eficaz para a automação de implementos em propriedades de médio porte, pois operam com baixo consumo de energia, exigem manutenção mínima e podem ser facilmente integrados a controles simples, como relés ou microcontroladores. Isso os torna ideais para aplicações que demandam baixo custo e alta confiabilidade, características desejadas no meio rural.

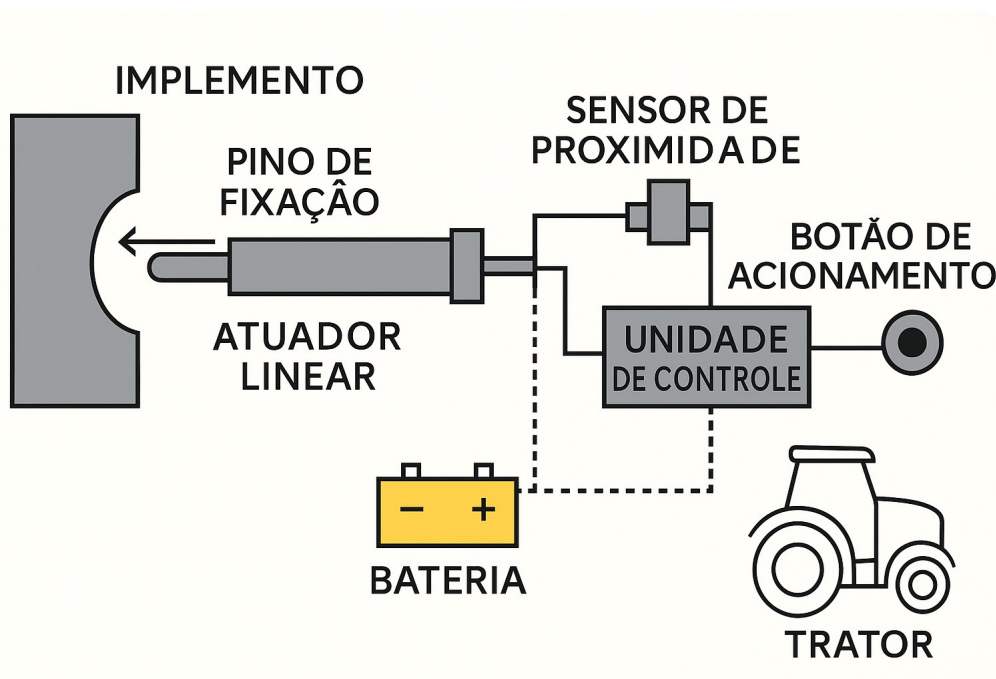
Além disso, Porto (2015) destaca que, embora os sistemas hidráulicos e eletropneumáticos ofereçam alto desempenho, sua implementação em tratores que não dispõem de infraestrutura específica (como compressores ou válvulas proporcionais) é limitada, além de requerer mão de obra técnica especializada para manutenção. Portanto, esses sistemas se mostram mais viáveis em ambientes industriais ou em propriedades com elevado grau de mecanização.

Essa abordagem está em conformidade com os princípios da NR-31.12, que determina que o operador não deve estar exposto à zona de perigo durante o acoplamento de implementos (Brasil, 2005). Ao eliminar a necessidade de descida do operador para fixação manual do pino, o sistema proposto contribui para a prevenção de acidentes por esmagamento e escorregamento, conforme observado por Souza (2021) em projetos similares.

Por fim, o conceito adotado é compatível com soluções já exploradas na indústria, como na patente BR 10 2018 001677 6 B1, que utiliza um sistema interno de retenção do pino de engate com atuação mecânica, também operado sem intervenção manual. Assim, o sistema proposto cumpre requisitos de funcionalidade, segurança, ergonomia e viabilidade econômica.

A Figura 1 ilustra o diagrama conceitual proposto para esse sistema. A atuação ocorre a partir da botoeira de comando, que aciona o microcontrolador ou relé responsável por enviar o sinal ao atuador linear, que movimenta o pino de fixação. Essa lógica de funcionamento é frequentemente aplicada em implementos modernos e sistemas retrofit de tratores antigos (Porto, 2015).

Figura 1 – Diagrama conceitual do engate.



Vale salientar que o atuador não realizará nenhuma força externa, o único ponto para ter atenção são os esforços sofrido pelo pino de tração, compressão e cisalhamento, porém o

material a ser utilizado pode ser o mesmo já utilizado para fabricação do pino convencional, visto que os estudos a respeito dos esforços já foram realizados.

Pode ser citado a redução do tempo de acoplamento e também a redução dos riscos de acidentes, visto que não haverá a necessidade de o operador descer da cabine, atendendo aos requisitos de ergonomia e segurança ocupacional.

4.2 Sistema de Alinhamento

Para facilitar o processo de engate, foi concebido um sistema de alinhamento guiado mecanicamente, baseado na aplicação de guias cônicos macho/fêmea e articulações com movimento lateral limitado. O objetivo é permitir a correção de desalinhamentos laterais comuns durante o acoplamento em terrenos irregulares ou com pequenas variações dimensionais entre a barra de tração e o cabeçalho do implemento.

De acordo com Prado *et al.* (2022), o desalinhamento entre os pontos de engate pode causar danos estruturais ao pino de tração, dificultar o acoplamento e aumentar o desgaste dos componentes. O uso de mecanismos passivos, como guias cônicos e articulações com folga controlada, promove o centramento automático dos furos, reduzindo o tempo de operação e o esforço do operador.

Esse princípio é amplamente aplicado em sistemas de acoplamento de implementos rodoviários e agrícolas de maior porte, como o sistema “Romeu e Julieta” com dolly, utilizado em rodotrens. Conforme o DER-MG, esse tipo de conexão automática aumenta a segurança e a eficiência nas manobras, o que justifica seu uso como referência técnica para a agricultura.

A proposta deste trabalho incorpora elementos descritos nas patentes BR 102018001668-7 A2 e BR 102014021089-0 A2, que apresentam mecanismos de alinhamento lateral e visualização do posicionamento do pino. Tais soluções foram adaptadas de forma simplificada para garantir viabilidade técnica e econômica. O sistema mecânico proposto pode ser construído com materiais como aço carbono ou peças reaproveitadas de implementos, alinhando-se ao objetivo de propor uma alternativa acessível e eficiente.

Portanto, o sistema de alinhamento, além de funcional, contribui diretamente para a redução de erros operacionais, aumento da durabilidade dos componentes e melhoria da segurança, consolidando-se como solução viável e replicável no contexto da mecanização agrícola brasileira.

4.3 Modelagem

A modelagem tridimensional das peças foi realizada com base nos conceitos desenvolvidos nas seções anteriores. A Figura 2 apresenta o conjunto completo do engate rápido e, na Figura 3, observa-se a vista explodida do conjunto.

Figura 2 – Modelagem do conjunto de engate rápido.

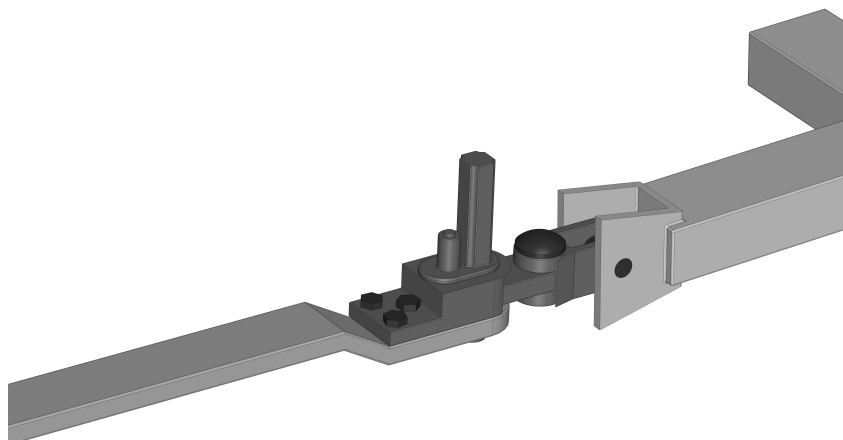
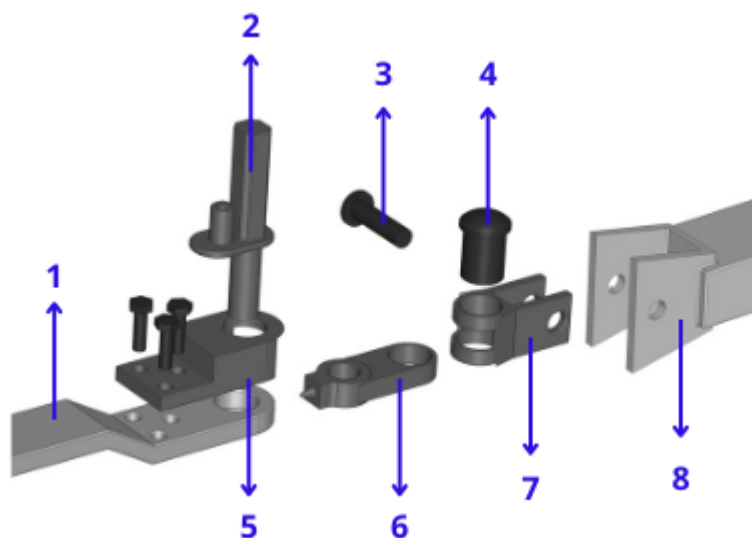


Figura 3 – Vista detalhada do conjunto.



1. Barra de tração;
2. Atuador linear elétrico;
3. Eixo da articulação vertical;
4. Eixo da articulação lateral/horizontal;
5. Cabeçote com câmara de fixação;
6. Articulação lateral/horizontal, com furo de fixação do pino e guia cônico macho;

7. Suporte da articulação lateral/horizontal, vertical e fixação no cabeçalho;

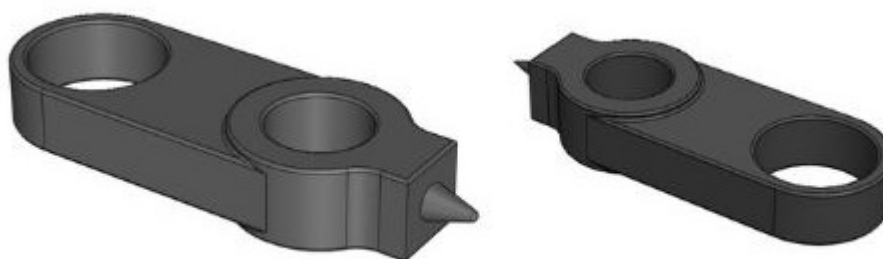
8. Cabeçalho do Implemento.

O cabeçote da barra de tração foi adaptado para receber uma câmara de fixação com chanframento, que, em conjunto com os guias cônicos, facilita o encaixe do implemento. As Figuras 4 a 5 mostram os elementos responsáveis pela articulação e fixação.

Figura 4 – Diagrama conceitual do engate.



Figura 5 – Diagrama conceitual do engate.



Essa solução foi pensada para ser simples, de baixo custo e passível de ser implementada com materiais recicláveis, como peças de sucata ou aço carbono. Isso contribui para a viabilidade de aplicação em propriedades rurais de médio porte, respeitando o princípio de adequação tecnológica à realidade do agricultor brasileiro.

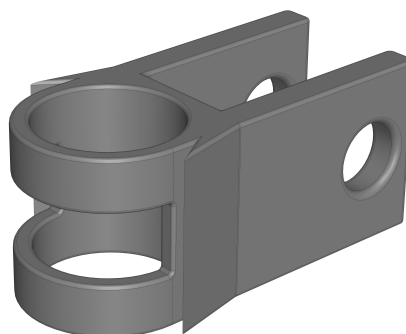
O cabeçote com a câmara de fixação e a sede do guia cônico fêmea é representado na Figura 4. A câmara de fixação é composta pelas laterais do cabeçote adaptado junto com a superfície da barra de tração. As paredes laterais e a parte superior do cabeçote possuem um chanfro para ajudar no alinhamento da articulação que possui o furo para o engate do pino. Em amarelo é representado o guia cônico fêmea.

A articulação que realiza o movimento lateral, representada na Figura 5, tem o giro limitado pelo suporte da articulação lateral/horizontal, representado na figura 6. A extremidade da

articulação que possui o furo de fixação é a mesma do guia cônico macho, na outra extremidade fica o furo para o eixo da articulação lateral.

Na Figura 6, que representa o suporte da articulação lateral/horizontal, vertical e fixação no cabeçalho, é possível observar os limitadores laterais, furos de fixação no cabeçalho, furo do pino articulado para movimentação vertical, representado no detalhamento da Figura 3, item 8.

Figura 6 – Suporte da articulação lateral/horizontal, vertical e fixação no cabeçalho.



5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento conceitual de um dispositivo de engate rápido automatizado para tratores agrícolas, com foco na melhoria da segurança, eficiência e ergonomia nas operações de acoplamento e desacoplamento de implementos. A análise realizada durante o estágio curricular evidenciou a ausência de sistemas de engate rápido nos tratores da propriedade avaliada, em desacordo com as exigências da NR-31.

A proposta de solução envolveu a aplicação de atuadores lineares e válvulas direcionais, que possibilitam a automação do processo, eliminando a necessidade de que o operador desça do trator. Isso reduz o risco de acidentes, otimiza o tempo de operação e contribui para a padronização das práticas no campo.

Além de apresentar uma alternativa técnica viável, o projeto evidencia a relevância da aplicação de metodologias sistematizadas de engenharia, como a de Pahl *et al.* (2005), para garantir maior eficácia e segurança no desenvolvimento de soluções inovadoras para o setor agrícola. Sugere-se para um trabalho futuro a construção de um protótipo funcional e a realização de testes em campo para validar o desempenho do dispositivo em condições reais de operação.

REFERÊNCIAS

- AMG SAÚDE. Segurança no trabalho com máquinas agrícolas. AMG Saúde, 2023. Disponível em: <https://www.amgsaude.com.br/seguranca-no-trabalho/>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- ANSELMO, Luiz César et al. Eficiência na barra de tração de tratores agrícolas em função da relação peso-potência e da carga. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 3, p. 452–460, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/g4W5xwMw477DyXPwJyyFSfr/> Acesso em: 15 abr. 2025.
- BORGES, F. M.; RODRIGUES, C. L. Pontos passíveis de melhoria no método de projeto de produto de Pahl e Beitz. *Gestão & Produção*, v. 17, n. 2, p. 271–281, 2010.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 31 – Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura. Brasília: MTE, 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partiaria-permanente/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-31-nr-31>. Acesso em: 09 abr. 2025.
- DA SILVA, Éder Luiz dos Santos et al. Análise ergonômica da barra de tração de tratores agrícolas. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 17, n. 46, 2021. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/13619>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- DEERE & COMPANY. Conjunto de montagem de engate de queda de pino, e, método para afixar um conjunto de montagem de engate a uma barra de tração. BR 102018001668-7 A2. Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, 04 dez. 2018.
- DEERE & COMPANY. Conjunto de montagem de engate de queda de pino, e, método para operar um conjunto de montagem de engate de queda de pino. BR 102018001671-7 A2. Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, 04 dez. 2018.
- DEERE & COMPANY. Conjunto de montagem de engate de queda de pino, e, método para operar um conjunto de montagem de engate de queda de pino. BR 102018001673-3 B1. Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, 26 mar. 2019.
- DEERE & COMPANY. Dispositivo de engate para barra de tração com sistema de pino automático. Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, BR 10 2018 001677-6 B1, 2018.
- DEERE & COMPANY. Pin-drop hitch mount assembly with alignment features for aligning drawbar and drawbar receiver. Patente US 10,618,362 B2, 14 abr. 2020.

DEERE & COMPANY. Pin-drop hitch mount assembly with biased pin retainer mechanism. Patente US 10,556,472 B2, 11 fev. 2020.

DEERE & COMPANY. Pin-drop hitch mount assembly with biased pin retainer mechanism. Patente US 10,589,580 B2, 17 mar. 2020.

DEERE & COMPANY. Pin-drop hitch mount assembly with biased pin retainer mechanism. Patente US 10,618,361 B2, 14 abr. 2020.

DER-MG. Fluidez e segurança no trânsito da rodovia MGC-497 entre Iturama e a Rodovia LMG-864. Belo Horizonte: Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais, [s.d.]. Disponível em: <https://www.der.mg.gov.br/files/335/Trabalhos-Academicos/2320/Fluidez-e-seguranca-no-transito-da-rodovia-MGC-497-entre-Iturama-e-a-Rodovia-LMG-864.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.

FARQUAR, J. Hydraulic vs. Pneumatic Systems: Key Differences. FarmTech Journal, 2023. Disponível em: <https://www.farmtechjournal.org/tech/hydraulic-vs-pneumatic>. Acesso em: 10 abr. 2025.

GONÇALVES, A. C. A. et al. Perfil de operadores de tratores agrícolas em relação a aspectos de segurança no trabalho. Ciência Rural, Santa Maria, v. 49, n. 7, p. 1–7, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/gpNTSnRTSkXhBdqYNZvKPTN/>. Acesso em: 22 maio 2025.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL – INPI. Dispositivo de engate rápido para barra de tração. BR 102014021089 A2, 2014.

KOENIG, F. Concepção de veículo elétrico portátil para transporte individual urbano. Passo Fundo: UPF, 2019.

KYNTRONICS. How electro-hydraulic linear actuators work. Kyntronics Knowledge Center, 2020. Disponível em: <https://www.kyntronics.com/knowledge-center/blog/how-does-an-electro-hydraulic-linear-actuator-work/>. Acesso em: 11 abr. 2025.

MAQCAMPO JOHN DEERE. Barra de tração - Entrega Técnica TR 7J (Maqcampo | John Deere). [S.l.]: YouTube, 2023. 1 vídeo (1min32s). Publicado em: 6 dez. 2023. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=z2am_9Gor9M&ab_channel=Maqcampo%7CJohnDeere. Acesso em: 22 maio 2025.

MATTOS, É. de. Desenvolvimento do conceito de uma semeadora de precisão autônoma. Passo Fundo: UPF, 2022.

PAHL, G. et al. Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos – métodos e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PORTAL ARAUTO. Acidentes com tratores representam 42,5% das mortes relacionadas ao trabalho rural. **Portal Arauto**, 2023. Disponível em: <https://portalarauto.com.br/22-02->

2023/acidentes-com-tratores-representam-425-das-mortes-relacionadas-ao-trabalho-rural/. Acesso em: 22 maio 2025.

PORTAL DO TRÂNSITO. Brasil tem alto índice de fatalidades envolvendo tratores. **Portal do Trânsito**, 2022. Disponível em: <https://www.portaldotransito.com.br/noticias/fiscalizacao-e-legislacao/projetos-de-lei/brasil-tem-alto-indice-de-fatalidades-envolvendo-tratores-2/>. Acesso em: 22 maio 2025.

PORTO, Eduardo Almeida. Automação de sistemas hidráulicos de máquinas agrícolas com a utilização de controladores lógicos programáveis. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/930/1/Automação%20de%20sistemas%20hidráulicos%20de%20máquinas%20agrícolas%20com%20a%20utilização%20de%20controladores%20lógicos%20programáveis.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.

PRADO, Jefferson D. et al. Operação de tratores agrícolas. Curso Técnico em Agropecuária - Apostila PR-0339, IFPR, 2022. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0339-Operacao-de-tratores_web.pdf Acesso em: 15 abr. 2025.

DEBIASI, Henrique; SCHLOSSER, José Fernando. Acidentes com tratores: conheça as seis principais causas e como evitá-las. **Cultivar Máquinas**, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/acidentes-com-tratores>. Acesso em: 22 maio 2025.

SANTOS, Fábio Henrique dos et al. Análise comparativa de sistemas de engate de reboques agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 5, p. 341–347, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/WFVXKkGpW6z9gXGJjDkT5ps/>. Acesso em: 21 maio 2025.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, M. F.; PEREIRA, L. A. Estado da arte do acionamento elétrico de implementos agrícolas no Brasil. ResearchGate, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/386170062_ESTADO_DA_ARTE_DO_ACIONAMENTO_ELETRICO_DE_IMPLEMENTOS_AGRICOLAS_NO_BRASIL. Acesso em: 22 maio 2025.

SOUZA, Anderson de. Projeto e desenvolvimento de um dispositivo para montagem de implementos florestais. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2021.

TURATTI, Ednildo; BIRCK, Gabriel; TOSO, Marcelo André. Avaliação do comportamento mecânico do aço SAE 4140. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 9, n. 4, p. 204–223, 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/130251419.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.