

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS GODOY CALIXTO

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA MOVIMENTAÇÃO DA QUINTA
RODA EM UMA LINHA DE MONTAGEM DE CAMINHÕES**

PONTA GROSSA

2026

LUCAS GODOY CALIXTO

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA MOVIMENTAÇÃO DA QUINTA
RODA EM UMA LINHA DE MONTAGEM DE CAMINHÕES**

Development of a device for handling the fifth wheel in a truck assembly line

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Zammar

PONTA GROSSA

2026



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUCAS GODOY CALIXTO

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA MOVIMENTAÇÃO DA QUINTA
RODA EM UMA LINHA DE MONTAGEM DE CAMINHÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 02/Julho/2026

GILBERTO ZAMMAR

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

OSCAR REGIS JÚNIOR

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

ROGER NAVARRO VERÁSTEGUI

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2026

Não creio que haja uma emoção, mais intensa
para um inventor do que ver suas criações
funcionando. Essa emoção faz você esquecer de
comer, de dormir, de tudo. (TESLA, Nikola, s.d.).

RESUMO

A movimentação de componentes pesados na indústria automotiva demanda sistemas que conciliem segurança, ergonomia e eficiência operacional. Na linha de montagem estudada, o processo de movimentação da componente de acoplamento da carreta apresentava limitações relacionadas à instabilidade da carga, à necessidade de correções manuais durante o posicionamento e à operação da talha por meio de comando separado, condição que expunha o operador a riscos de esmagamento e sobrecarga física. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver, fabricar e validar uma solução para a movimentação da quinta roda em uma linha de montagem de caminhões, visando à melhoria da segurança operacional, das condições ergonômicas e do desempenho do processo. A metodologia compreendeu a análise do sistema existente, o levantamento de requisitos operacionais, a concepção da solução, a modelagem tridimensional em CAD, a fabricação do dispositivo e sua validação prática em ambiente real de produção. A solução implementada foi composta por um painel controlador modular com acionamento bimanual, parada de emergência e intertravamento por acoplamento, associado à adaptação do sistema de apoio da quinta roda, com o objetivo de aumentar a estabilidade da peça durante a movimentação. Os resultados obtidos demonstraram redução dos riscos do processo, melhora expressiva nas avaliações ergonômicas internas, aceitação positiva pelos operadores e ganho operacional, com redução do tempo de execução da atividade. Assim, conclui-se que a solução desenvolvida apresentou viabilidade técnica e operacional, representando uma alternativa aplicável para a melhoria da movimentação da quinta roda em ambiente industrial.

Palavras-chave: segurança do trabalho; ergonomia; movimentação de cargas; dispositivos industriais.

ABSTRACT

The handling of heavy components in the automotive industry requires systems that combine safety, ergonomics, and operational efficiency. In the assembly line studied, the fifth wheel handling process showed limitations related to load instability, the need for manual corrections during positioning, and hoist operation through a separate control unit, a condition that exposed the operator to crushing risks and physical overload. In this context, this study aimed to develop, manufacture, and validate a solution for fifth wheel handling in a truck assembly line, seeking to improve operational safety, ergonomic conditions, and process performance. The methodology comprised analysis of the existing system, identification of operational requirements, conception of the solution, three-dimensional CAD modeling, device manufacturing, and its practical validation in a real production environment. The implemented solution consisted of a modular control panel with two-hand operation, emergency stop, and coupling interlock, associated with the adaptation of the fifth wheel support system in order to increase part stability during handling. The results obtained demonstrated a reduction in process risks, significant improvement in the company's internal ergonomic assessments, positive operator acceptance, and operational gains, with a reduction in task execution time. Thus, it is concluded that the developed solution showed technical and operational feasibility, representing an applicable alternative for improving fifth wheel handling in an industrial environment.

Keywords: occupational safety; ergonomics; material handling; industrial devices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Linha de pré montagem da quinta roda	11
Figura 2 – Simulação da ocorrência de acidente	12
Figura 3 – Layout da pré montagem dimensionado	13
Figura 4 – Componentes da talha elétrica	19
Figura 5 – Desenho técnico da quinta roda	23
Figura 6 – Antigo dispositivo de elevação da quinta roda	26
Figura 7 – Antigo dispositivo de elevação da sela	27
Figura 8 – Vista em explosão do modelo 3D do painel controlador modular	30
Figura 9 – Modelo 3D do painel controlador modular	31
Figura 10 – Componentes frontais do painel de controle	32
Figura 11 – Sistema de acoplamento do painel ao suporte do dispositivo	34
Figura 12 – Novo sistema de apoio da quinta roda no dispositivo de movimentação	36
Figura 13 – Operador utilizando o dispositivo de movimentação equipado com o painel bimanual	38
Figura 14 – Antes e depois do posicionamento da sela no carrinho	41
Figura 15 – Operação de elevação da sela com o sistema desenvolvido	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Contextualização	10
1.2	Caracterização do problema	11
1.3	Justificativa.....	13
1.4	Objetivos	15
1.4.1	Objetivo Geral	15
1.4.2	Objetivos Específicos	15
2.1	Projeto e desenvolvimento de máquinas	17
2.2	Princípios de talhas de elevação	18
2.3	Ergonomia e segurança: normas técnicas	19
2.4	Sensores e sua função na automação e segurança.....	20
3.1	Levantamento de requisitos do projeto	22
3.2	Desenvolvimento do projeto conceitual.....	22
3.3	Modelagem 3D	22
3.4	Fabricação e teste na linha de montagem	23
3.5	Avaliação do processo homem x máquina	23
3.6	Validação dos resultados	24
4.1	Contexto operacional e sistema de movimentação existente	25
4.2	Concepção da solução	28
4.3	Modelagem 3D e estrutura construtiva do painel.....	29
4.4	Sistema de comando e dispositivos de segurança.....	31
4.5	Sistema de acoplamento modular e integração com os dispositivos	34
4.6	Adaptação do dispositivo da quinta roda	35
5.1	Implementação e validação do sistema desenvolvido.....	38
5.2	Avaliação da segurança e ergonomia do processo	39
5.3	Avaliação da aceitação dos operadores	42
6	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45
	APÊNDICE	46

1 INTRODUÇÃO

A indústria de fabricação de automóveis é um setor dinâmico e competitivo, com um mercado global em constante crescimento. As empresas desse ramo buscam continuamente aprimorar seus processos produtivos, visando garantir a qualidade de seus produtos, a segurança de seus trabalhadores e a eficiência de suas operações.

A montagem de componentes em veículos é uma etapa crucial do processo produtivo, que exige precisão, agilidade e segurança. Os componentes são essenciais para o funcionamento adequado do veículo, e sua montagem inadequada pode acarretar em acidentes graves. As indústrias de fabricação de automóveis fabricam veículos de alta qualidade, que atendem aos mais rigorosos padrões de segurança e desempenho. Nesse contexto, a montagem de componentes em veículos exige atenção meticulosa aos detalhes e o uso de ferramentas adequadas. A ergonomia do posto de trabalho é fundamental para prevenir lesões e acidentes, garantindo a integridade física dos trabalhadores (DUL; WEERDMEESTER; FRENS, 2003)

Atualmente, o processo de montagem de certos componentes pesados na indústria é realizado de forma manual, o que demanda tempo, esforço físico e pode acarretar em erros e acidentes. A introdução de um dispositivo semiautomático, como o proposto neste trabalho, visa automatizar parte do processo, agilizando a montagem, diminuindo a necessidade de intervenção humana e garantindo a padronização do produto.

A automação industrial é um elemento chave para o sucesso de qualquer indústria moderna. Ela permite otimizar processos, reduzir custos, aumentar a qualidade dos produtos e garantir a segurança dos trabalhadores. (GROOVER, M. P. *Automation and Control Systems*. Pearson Education, 2016.) A automação de processos repetitivos e manuais, como a montagem de componentes, permite que os trabalhadores se concentrem em tarefas mais estratégicas e que exigem maior capacidade cognitiva, além de reduzir o risco de lesões por esforço repetitivo e outros problemas de saúde.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo ergonômico para a montagem de componentes em veículos, que visa a capacidade de posicionar a peça com precisão e rapidez, além de garantir a sua fixação segura. O dispositivo

será projetado e construído com base em princípios de ergonomia e segurança, visando garantir a integridade física dos trabalhadores e a qualidade do produto final.

Acredita-se que este projeto trará diversos benefícios para a indústria de fabricação de automóveis em questão, como o aumento da produtividade, a redução de custos, a melhora da qualidade dos produtos, ergonomia operacional e a garantia da segurança no trabalho. Além disso, o projeto poderá servir de base para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas que contribuam para a automação de outros processos industriais.

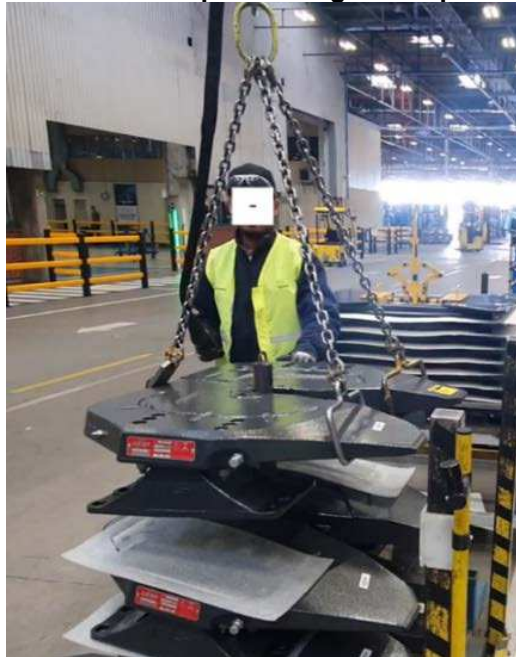
1.1 Contextualização

Em uma montadora de caminhões localizada na capital do Paraná, são fabricados cerca de 90 veículos pesados por dia, distribuídos em dois turnos de 8 horas. Em uma das linhas de montagem, responsável pela instalação da quinta roda — dispositivo de acoplamento entre o cavalo-mecânico e o semirreboque, responsável pela conexão e transferência de esforços entre esses componentes — os operadores realizam revezamento diário da atividade devido aos elevados riscos ergonômicos e de segurança. Neste trabalho, será utilizado o termo quinta roda para facilitar a leitura.

A movimentação e montagem da quinta roda na linha de produção de caminhões pesados é uma operação crítica que demanda precisão, segurança e ergonomia. No entanto, o método atualmente, na empresa em questão este processo apresenta deficiências que resultam em riscos ocupacionais significativos, baixa eficiência e retrabalho na fixação do componente.

Na Figura 1, nota-se uma parte do processo da montagem da quinta roda nesta indústria, onde o operador utiliza de uma talha de elevação para içar a componente, removendo-a do kit entregue pela logística de materiais.

Figura 1 – Linha de pré montagem da quinta roda.



Fonte: Autoria própria (2025)

1.2 Caracterização do problema

O sistema atual da empresa utiliza um conjunto de correntes e ganchos acoplados a uma talha elétrica para a movimentação da quinta roda, e outros sistemas similares com dispositivo de garra para a movimentação das diferentes selas e chapas para fixação da quinta roda no chassi do caminhão. Ambos os sistemas exigem que o operador alinhe manualmente as peças sobre a estrutura, enquanto manipula simultaneamente o controle de elevação. Este processo não só aumenta a possibilidade de desalinhamentos e erros de montagem, mas também expõe o operador a riscos diretos de esmagamento das mãos, sobrecarga muscular e movimentação inesperada da peça

Ocorrências de acidentes já registrados reforçam a necessidade de um novo dispositivo. Entre os principais incidentes, destacam-se:

- a) Esmagamento das mãos do operador ao alinhar manualmente os furos da quinta roda quando elevada, com as furações da chapa durante o abaixamento da peça.
- b) Deslocamento inesperado da sela, causado por assentamento incorreto no carrinho de movimentação, resultando em riscos de queda e instabilidade.
- c) Esmagamento durante a rotação da peça, exigindo esforço manual excessivo do operador para realizar o ajuste necessário.

A operação de remoção da última peça do kit apresenta ergonomia inadequada devido à altura de operação, exigindo que o operador flexione a coluna e estenda os membros superiores. Essa postura inadequada expõe o operador a riscos de lesões musculoesqueléticas e outros problemas de saúde relacionados ao trabalho.

Além dos problemas de segurança e ergonomia, a falta de precisão na movimentação manual compromete a qualidade do processo produtivo, demandando ajustes frequentes e aumentando o tempo de montagem. O não atendimento às diretrizes da NR-12 (Norma Regulamentadora de Segurança do trabalho em Máquinas e Equipamentos) e da NR-17 (Norma Regulamentadora de Ergonomia) reforça a necessidade de melhorias para garantir um ambiente de trabalho seguro e eficiente.

A Figura 2, representa uma simulação sobre um dos acidentes em questão, onde o indicador da mão esquerda do operador foi prensado sobre as duas faces das componentes desta pré-montagem.

Figura 2 – Simulação da ocorrência de acidente.



Fonte: Autoria própria (2025)

Esse cenário tem resultado em ocorrências de acidentes por esmagamento e esforço excessivo, além de reduzir a precisão no posicionamento da peça, aumentando o tempo de execução da atividade. Segundo Iida (2005), a falta de

equipamentos ergonômicos adequados pode impactar diretamente a produtividade, além de elevar os índices de afastamento por lesões musculoesqueléticas.

A Figura 3 representa o layout atual da linha de pré-montagem, incluindo a posição precisa de todos os componentes pertencentes ao processo, como a localização dos pallets de fornecimento de cada componente, as componentes pesadas e o local de montagem desses itens. Atualmente, existem quatro modelos diferentes de quinta rodas, diferenciados apenas pela altura da coluna de encaixe com o pino rei de acoplamento da carreta. As selas, também denominadas chapas, possuem quatro variantes, diferenciadas pelo seu modo de encaixe. O atual processo de montagem consiste, basicamente, no posicionamento de uma chapa sobre o carro de montagem, seguido pela união da chapa com a quinta roda utilizando 3 dispositivos diferentes para o içamento.

Figura 3 – Layout da pré montagem dimensionado.



Fonte: Autoria própria (2025)

1.3 Justificativa

A busca por processos produtivos mais seguros e eficientes tem sido uma constante na indústria automobilística, especialmente em setores que lidam com peças de grande porte e elevado peso, como a montagem de caminhões pesados. A movimentação da quinta roda, componente essencial para o acoplamento da carreta ao veículo, exige equipamentos que garantam precisão e segurança durante a operação. No entanto, os dispositivos atualmente utilizados apresentam riscos significativos de acidentes e falhas ergonômicas, comprometendo tanto a integridade dos operadores quanto a eficiência do processo produtivo.

O processo atual apresenta limitações operacionais e ergonômicas que comprometem a segurança do operador e a eficiência da atividade, justificando o desenvolvimento de uma solução mais estável, controlada e compatível com as condições reais da linha de montagem.

Diante disso, este trabalho justifica-se pela necessidade de desenvolver um dispositivo mais seguro e ergonômico, que reduza os esforços manuais dos operadores e elimine os principais riscos associados à manipulação da quinta roda. A introdução de um novo sistema de fixação estruturada, combinado com um painel de controle bimanuais, permitirá que o operador mantenha as mãos afastadas da área de risco, garantindo maior precisão e segurança durante o processo.

Além da segurança operacional, o desenvolvimento desse novo dispositivo trará ganhos significativos em termos de produtividade e padronização do processo, reduzindo o tempo necessário para montagem e minimizando a necessidade de retrabalho. Estudos demonstram que a implementação de dispositivos ergonômicos e automatizados pode reduzir em até 30% o tempo de montagem e melhorar a qualidade do processo ao eliminar desalinhamentos e falhas causadas pela manipulação manual (SHIGLEY; MISCHKE, 2011).

A correta compreensão do projeto de máquinas é fundamental para garantir a robustez e a eficiência estrutural do novo dispositivo, assegurando que ele suporte as cargas envolvidas no processo sem comprometer a segurança. Dentro desse contexto, a metodologia de desenvolvimento de projetos apresentada por Norton (2013) será utilizada como referência para estruturar a concepção e a validação da solução.

Além disso, o estudo das talhas de elevação e seus princípios de funcionamento permitirá a definição de um mecanismo adequado para a movimentação da quinta roda, garantindo um transporte estável e seguro da peça. Como a manipulação de cargas pesadas pode gerar riscos significativos aos operadores, a consideração das normas técnicas vigentes, como a NR-12, NR-17 e ISO 13849, é essencial para garantir que o dispositivo esteja em conformidade com os requisitos legais e técnicos de segurança e ergonomia.

Por fim, a utilização de sensores na automação e segurança será explorada, considerando sua aplicação como poka-yoke, ou seja, mecanismos de prevenção de falhas que impedem operações inadequadas ou perigosas. A integração desses

sensores no dispositivo permitirá um controle mais eficiente e seguro do processo de movimentação da quinta roda, reduzindo a necessidade de intervenção manual e minimizando riscos de acidente.

Este projeto também se alinha às diretrizes da Indústria 4.0, que busca integrar novas tecnologias aos processos produtivos, tornando-os mais seguros, inteligentes e eficientes. Embora o dispositivo proposto ainda exija a interação humana, ele representa um avanço significativo na redução de riscos ocupacionais e na melhoria das condições de trabalho dos operadores. Além disso, o projeto atende às normas regulatórias da área, como NR-12 (Segurança em Máquinas e Equipamentos), NR-17 (Ergonomia) e ISO 13849 (Segurança de Sistemas de Controle), garantindo conformidade com os requisitos legais e de segurança exigidos pela indústria automobilística.

Assim, a proposta deste trabalho não apenas visa aprimorar a segurança e a ergonomia dos operadores envolvidos na montagem da quinta roda, mas também melhorar a eficiência operacional, reduzindo riscos e otimizando o fluxo produtivo da linha de montagem. O impacto positivo esperado inclui menores índices de afastamento por lesões ocupacionais, maior precisão no posicionamento da peça e maior confiabilidade do processo de montagem, consolidando um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver, fabricar e validar uma solução para a movimentação da quinta roda em uma linha de montagem de caminhões, com foco na melhoria da segurança operacional, das condições ergonômicas e do desempenho do processo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar o processo atual de movimentação da quinta roda, identificando riscos ergonômicos e de segurança associados ao método existente.
- b) Desenvolver um conceito de controle modular capaz de ser integrado aos dispositivos de movimentação já existentes na linha de montagem.

- c) Projetar e fabricar um painel de comando com acionamento bimanual, dispositivos de segurança e sistema de acoplamento.
- d) Avaliar a aplicação do sistema desenvolvido em ambiente produtivo, considerando aspectos de segurança, ergonomia, aceitação dos operadores e desempenho operacional

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho aborda os fundamentos teóricos necessários para o desenvolvimento de um dispositivo seguro e ergonômico para movimentação da quinta roda na linha de montagem de caminhões. Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento da solução proposta, com foco em projeto de máquinas, movimentação de cargas, segurança e ergonomia em ambiente industrial.

Dessa forma, os tópicos abordados neste capítulo fornecerão uma base teórica essencial para o desenvolvimento do dispositivo, garantindo que o projeto seja concebido com embasamento técnico sólido e alinhado às melhores práticas da indústria automotiva.

2.1 Projeto e desenvolvimento de máquinas

O desenvolvimento de dispositivos industriais, como o proposto neste trabalho, exige um planejamento estruturado baseado nos princípios do projeto de máquinas. De acordo com Norton (2013), um projeto eficiente deve considerar aspectos como resistência mecânica, segurança, ergonomia, custo e viabilidade de fabricação. O autor destaca que o processo de desenvolvimento pode ser dividido em três fases principais: concepção, síntese e análise/detalhamento, garantindo que a solução proposta atenda aos requisitos funcionais e operacionais do ambiente de aplicação.

Na fase de concepção, são levantados os requisitos do projeto, as restrições operacionais e as necessidades ergonômicas, levando em consideração as condições da linha de montagem e os riscos envolvidos. Para a movimentação da quinta roda, a concepção do dispositivo deve priorizar um sistema de fixação estável, evitando desalinhamentos e reduzindo a necessidade de ajustes manuais por parte do operador.

Durante a fase de síntese, ocorre a geração de alternativas e a escolha da melhor configuração mecânica para o dispositivo. Segundo Norton (2013), essa fase inclui a definição dos materiais e a seleção de componentes críticos, como atuadores e mecanismos de travamento. No caso deste projeto, a escolha de um frame

estruturado substituindo os ganchos atuais é um fator determinante para garantir segurança e eficiência no manuseio da peça.

Por fim, a fase de análise e detalhamento envolve a validação do projeto por meio de simulações e verificações de montagem, garantindo que o dispositivo atenda aos requisitos de segurança e funcionalidade antes da fabricação. Conforme indicado por Norton (2013), simulações computacionais são essenciais para prever falhas estruturais e otimizar o design antes da fabricação

Dessa maneira, a abordagem metodológica adotada neste trabalho assegura que o dispositivo projetado atenda às exigências do ambiente industrial, proporcionando segurança, ergonomia e eficiência operacional.

2.2 Princípios de talhas de elevação

A movimentação de cargas pesadas em ambientes industriais exige equipamentos específicos que garantam segurança e eficiência operacional. Entre esses dispositivos, as talhas de elevação desempenham um papel essencial na manipulação de componentes de grande porte, como a quinta roda dos caminhões. Segundo Norton (2013), dispositivos de elevação devem ser projetados considerando fatores como capacidade de carga, controle de movimentação e redundância para evitar falhas mecânicas.

As talhas podem ser classificadas em manuais, elétricas e pneumáticas, sendo que a escolha do modelo depende do nível de automação desejado e da frequência de uso. No contexto da linha de montagem de caminhões, as talhas elétricas são amplamente utilizadas devido à sua capacidade de movimentação controlada e ao menor esforço exigido do operador.

O funcionamento básico de uma talha elétrica envolve um motor de acionamento, um sistema de engrenagens de redução para controle de velocidade e um gancho ou mecanismo de fixação para sustentação da carga. No entanto, sistemas convencionais de talha podem apresentar riscos quando não possuem mecanismos adequados de segurança, como sensores de limite e controles que exijam ambas as mãos do operador para ativação, garantindo que ele não esteja fisicamente exposto à carga suspensa.

A Figura 4 ilustra as componentes de uma talha elétrica, evidenciando a forma como a transmissão de força é realizada para permitir a movimentação controlada de

cargas. O uso adequado dessas talhas, aliado a um sistema de controle bimanual no lugar da botoeira controladora, pode reduzir significativamente os riscos de acidentes, garantindo um ambiente de trabalho mais seguro e ergonômico.

Figura 4 – Componentes da talha elétrica.



Fonte: Disponível em dutramaquinas.com.br (2024)

2.3 Ergonomia e segurança: normas técnicas

A utilização de dispositivos de movimentação industrial deve estar em conformidade com normas técnicas que assegurem a proteção dos operadores e a eficiência do processo produtivo. Na indústria automobilística, as regulamentações normativas desempenham um papel crucial na concepção e na implementação de equipamentos seguros e confiáveis. As principais normas aplicáveis ao desenvolvimento deste projeto incluem:

- NR-12 (Segurança em Máquinas e Equipamentos): Determina requisitos essenciais para a proteção dos operadores, incluindo dispositivos de parada de emergência, sistemas de redundância para evitar falhas e requisitos de manutenção preventiva.
- NR-17 (Ergonomia): Estabelece diretrizes para a adaptação do ambiente de trabalho às condições fisiológicas dos operadores, minimizando esforços excessivos e prevenindo lesões ocupacionais.

- c) NR-11 (Transporte e Movimentação de Materiais): Define critérios para o manuseio seguro de cargas, especificando equipamentos adequados para minimizar riscos de queda e impacto.
- d) ISO 13849 (Segurança de Sistemas de Controle): Regulamenta a segurança de sistemas de comando de máquinas, garantindo que falhas em circuitos elétricos não comprometam a integridade do operador.
- e) TSPE e TSSPE (Normas Internas da empresa): Especificam critérios específicos para o desenvolvimento de dispositivos dentro da linha de produção, assegurando conformidade com os padrões da montadora.

A aplicação dessas normas ao projeto do novo dispositivo de movimentação da quinta roda garante que ele atenda aos requisitos legais e técnicos de segurança, proporcionando um ambiente de trabalho mais confiável e reduzindo a incidência de acidentes. Além disso, ao adotar medidas ergonômicas alinhadas à NR-17, o novo dispositivo contribuirá para a redução da fadiga dos operadores e a melhoria da produtividade.

2.4 Sensores e sua função na automação e segurança

Os sensores exercem papel importante em sistemas industriais ao permitirem o monitoramento de condições de operação, presença, posição e estado de determinados componentes do processo. Em aplicações voltadas à segurança, sua função principal não está apenas na automação do movimento, mas na criação de condições de controle que impeçam o funcionamento do equipamento quando requisitos mínimos de operação segura não forem atendidos.

Em sistemas de movimentação de carga, esse tipo de recurso é especialmente relevante, pois contribui para reduzir a probabilidade de falhas associadas ao uso inadequado do equipamento, ao acionamento em condição incorreta ou à ausência de posicionamento adequado dos elementos de comando. Dessa forma, os sensores passam a atuar como parte da lógica de segurança do sistema, auxiliando na prevenção de acidentes e na padronização da operação.

No contexto deste trabalho, a utilização de sensor está relacionada à necessidade de garantir que o painel controlador só permita o acionamento da talha quando estiver corretamente acoplado ao dispositivo de movimentação. Essa

condição é importante porque o conceito desenvolvido neste projeto depende da integração física entre painel, operador e manipulador, de modo que a interface de comando acompanhe a condução da carga durante a operação.

Quando o painel não está devidamente posicionado em seu suporte, a operação deixa de atender à condição prevista de uso. Nessa situação, o acionamento da talha poderia ocorrer com o painel solto, fora da posição adequada ou sem estabilidade suficiente para uma operação segura. Por esse motivo, a solução proposta incorpora um sensor de segurança associado ao sistema de acoplamento, responsável por monitorar a presença correta do painel em sua base de operação.

Esse princípio se aproxima do conceito de poka-yoke, amplamente utilizado em sistemas produtivos para prevenir erros humanos por meio de dispositivos que impedem a continuidade do processo em condição inadequada. No caso estudado, o sensor não tem como objetivo automatizar integralmente a movimentação da peça, mas sim evitar que o sistema opere fora da condição prevista de montagem e uso. Assim, sua função está diretamente associada à prevenção de falhas operacionais.

Além disso, a aplicação do sensor está alinhada aos princípios de segurança de sistemas de comando discutidos na ISO 13849, especialmente no que se refere à necessidade de impedir condições perigosas decorrentes de falhas ou usos incorretos do sistema. Embora o presente trabalho não desenvolva uma análise aprofundada da arquitetura de desempenho do circuito de segurança, a adoção do intertravamento por acoplamento representa uma medida coerente com a lógica de prevenção de riscos na interface homem-máquina.

Portanto, no desenvolvimento da solução proposta, os sensores não foram tratados como elementos genéricos de automação industrial, mas como componentes aplicados a uma função específica de segurança operacional. Sua incorporação ao painel controlador contribuiu para tornar o sistema mais confiável, reduzir a possibilidade de acionamento indevido e reforçar a consistência da operação em ambiente real de produção.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo segue uma abordagem estruturada para garantir que a solução proposta atenda aos requisitos de segurança, ergonomia e eficiência na movimentação da quinta roda na linha de montagem. A metodologia adotada abrange desde a análise do processo atual até a validação prática do dispositivo, passando por etapas de modelagem estrutural e testes em ambiente real.

3.1 Levantamento de requisitos do projeto

Esta etapa consistiu na realização de observações diretas da operação de pré-montagem da quinta roda na linha de montagem de caminhões. O levantamento teve como objetivo compreender o processo de movimentação da peça, a interação entre o operador e os equipamentos utilizados, bem como identificar fatores relacionados à segurança, ergonomia e eficiência operacional. Para isso, foram analisadas as condições de trabalho, os métodos de movimentação de carga e os dispositivos empregados na atividade, fornecendo informações para a definição dos requisitos do projeto e para o desenvolvimento da solução proposta.

3.2 Desenvolvimento do projeto conceitual

Com base nas limitações observadas, definiu-se como estratégia de projeto a melhoria da interface entre operador, comando e dispositivo de movimentação, sem a substituição completa da infraestrutura de elevação já existente.

3.3 Modelagem 3D

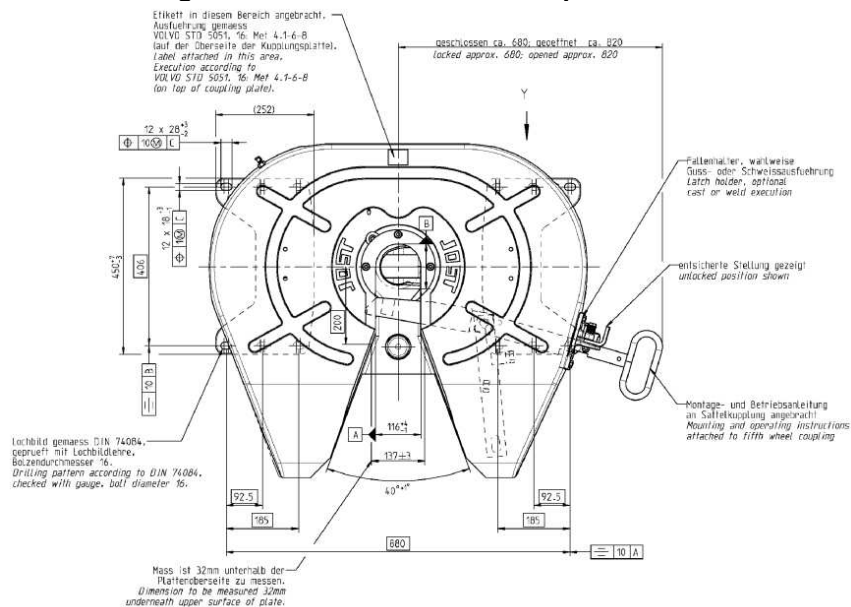
Após a definição conceitual da solução, o painel controlador modular foi desenvolvido em ambiente de modelagem tridimensional, com a finalidade de definir sua geometria, os alojamentos dos comandos, os pontos de fixação e a integração com os suportes dos dispositivos de movimentação.

A Figura 5, que apresenta o desenho técnico da quinta roda, foi utilizada como referência nessa etapa, pois permitiu compreender as dimensões da peça, sua forma de apoio e as dificuldades associadas ao posicionamento durante a montagem. Essa figura reforça que o problema não se limitava ao içamento do componente, mas

também à sua estabilidade e ao controle geométrico durante a aproximação ao ponto de montagem.

Após a finalização do projeto, o conjunto foi fabricado e integrado aos dispositivos de movimentação da linha, permitindo sua utilização em ambiente real de produção.

Figura 5 – Desenho técnico da quinta roda.



Fonte: Arquivo técnico da empresa (2022)

3.4 Fabricação e teste na linha de montagem

Após a finalização do projeto digital, o dispositivo será fabricado e testado em ambiente real na linha de produção, permitindo a avaliação prática de sua eficiência e segurança. Durante essa fase, serão realizados testes com operadores e especialistas de diferentes áreas, buscando validar a redução do esforço físico necessário para a movimentação da peça e a conformidade com as diretrizes ergonômicas e normativas. Serão coletados dados sobre tempo de montagem, facilidade de operação e feedback dos trabalhadores, possibilitando ajustes no projeto, caso necessário.

3.5 Avaliação do processo homem x máquina

Como complemento à validação operacional, foram considerados instrumentos adicionais de avaliação com foco nos aspectos ergonômicos, de segurança e de percepção dos operadores quanto à solução implantada.

Foi aplicado um formulário estruturado aos operadores que utilizaram o novo dispositivo durante o período de testes, contendo questões relacionadas ao esforço físico, conforto da posição de trabalho, fadiga, adequação dos comandos, contribuição do sistema bimanual para a segurança, facilidade de alinhamento da peça, controle da movimentação, agilidade da operação e confiança no uso do dispositivo. O formulário com as questões e estatística pode ser observado no Apendice A.

Também foram considerados dados de avaliação ergonômica interna da empresa, baseados em sua guideline corporativa para análise da execução do processo, bem como dados da análise interna de riscos do processo, utilizados para complementar a interpretação dos resultados observados em campo.

3.6 Validação dos resultados

A validação da solução foi realizada em ambiente real de produção, diretamente na linha de montagem, entre outubro de 2024 e março de 2025. Essa etapa contou com a participação de 10 operadores que atuam regularmente na estação analisada, distribuídos entre os diferentes turnos de trabalho.

Durante o período de validação, o dispositivo foi utilizado nas atividades de movimentação e posicionamento da quinta roda, possibilitando a avaliação de seu funcionamento nas condições normais de operação. Foram acompanhados aspectos relacionados à movimentação da carga, à interação do operador com o sistema e à adequação do dispositivo ao processo produtivo.

Além dos testes em linha, foi realizada a verificação documental do equipamento por meio da análise do atestado de conformidade e dos requisitos aplicáveis aos sistemas de segurança. O dispositivo avaliado, denominado "Dispositivo Montagem 5ª Roda".

4 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

Este capítulo contempla o procedimento e como foi desenvolvido o dispositivo e as discussões acerca da aplicação.

4.1 Contexto operacional e sistema de movimentação existente

A movimentação da quinta roda na linha de montagem analisada neste trabalho era realizada por meio de uma talha elétrica de corrente com capacidade nominal de 500 kg, instalada em um trilho suspenso simples fixado à estrutura superior da linha de produção. Esse sistema era responsável pelo movimento vertical da carga, enquanto o deslocamento horizontal ocorria pelo movimento do carro da talha no trilho e pela condução manual do manipulador pelo operador. Dessa forma, embora a capacidade de elevação fosse adequada à aplicação, a eficiência e segurança da operação dependiam principalmente da forma de suspensão da peça e da interface de controle disponível ao trabalhador.

Durante a operação, a quinta roda era elevada pela talha e posicionada por meio dos movimentos laterais realizados pelo operador através dos guidões ou alças de condução do dispositivo. A peça utilizada na linha apresenta massa variável conforme o modelo do veículo, podendo atingir aproximadamente 250 kg, sendo esse valor considerado como condição crítica de operação neste trabalho. Assim, o principal desafio identificado não estava relacionado ao içamento da carga, mas ao controle do componente durante o posicionamento final, etapa que exigia estabilidade, precisão e interação direta do operador.

O sistema anteriormente utilizado, apresentado na Figura 6, consistia em um conjunto de correntes e ganchos conectados diretamente à talha elétrica. Essa configuração apresentava baixa restrição geométrica da carga, favorecendo oscilações e desalinhamentos durante a movimentação. Como consequência, o posicionamento da quinta roda dependia de ajustes manuais frequentes realizados pelo operador durante a aproximação ao ponto de montagem.

Figura 6 – Antigo dispositivo de elevação da quinta roda.



Fonte: Autoria própria (2024)

Além do acionamento do comando portátil da talha, o operador precisava acompanhar visualmente o deslocamento da peça e realizar correções durante o posicionamento final. Essa condição resultava na necessidade de conciliar o controle do equipamento com a estabilização manual da carga, aumentando a exposição às regiões próximas ao componente suspenso.

Do ponto de vista ergonômico, o método anterior também apresentava limitações devido à necessidade de aproximação corporal, ajustes repetitivos e esforço manual para correção da posição da peça. Em uma operação realizada de forma seriada, essas características poderiam aumentar o desgaste físico do operador e tornar o processo dependente da experiência individual de cada trabalhador.

Além do dispositivo utilizado para a quinta roda, a linha possuía outros manipuladores destinados à movimentação de componentes semelhantes, como selas e diferentes modelos de quinta roda, conforme apresentado na Figura 7. Apesar das diferenças construtivas entre os equipamentos, todos utilizavam o mesmo princípio geral de elevação por talha elétrica, indicando a possibilidade de desenvolvimento de uma solução integrada aos diferentes dispositivos presentes na área.

Figura 7 – Antigo dispositivo de elevação da sela.



Fonte: Autoria própria (2024)

A análise do sistema existente permitiu identificar as principais limitações da operação:

- 1) Necessidade de manipulação simultânea da peça e do comando da talha;
- 2) Maior exposição das mãos durante o alinhamento do componente;
- 3) Instabilidade da carga devido ao uso de correntes e ganchos;
- 4) Dependência da habilidade individual do operador;
- 5) Condições ergonômicas desfavoráveis durante o posicionamento.

Portanto, o diagnóstico operacional indicou que a principal limitação do processo não estava na capacidade do sistema de elevação, mas na interação entre operador, dispositivo de movimentação e interface de comando. O método anterior permitia a realização da atividade, porém com baixa estabilidade e necessidade de correções manuais frequentes, justificando o desenvolvimento de uma solução voltada à melhoria da operação e compatível com a infraestrutura já existente na linha de montagem.

A solução desenvolvida consisti em permitir que o operador conduzisse a movimentação mantendo ambas as mãos na interface de comando durante a operação, reduzindo a necessidade de contato direto com a carga suspensa.

Além do painel de controle, o projeto também envolveu adaptações nos dispositivos existentes. Nos manipuladores destinados às selas, a intervenção concentrou-se na instalação dos suportes de acoplamento. No dispositivo da quinta roda, foi necessário também reformular o sistema de apoio da peça, substituindo o arranjo anterior com correntes e ganchos por uma configuração mais estável.

4.2 Concepção da solução

A partir do diagnóstico apresentado, a solução foi concebida com foco na melhoria da interface de operação, buscando reduzir a necessidade de contato manual com a peça suspensa, aumentar o controle sobre o movimento da carga e manter compatibilidade com os equipamentos já existentes na linha de montagem.

O conceito central do projeto consistiu no desenvolvimento de um painel de controle modular com acionamento bimanual, capaz de ser utilizado em diferentes dispositivos de movimentação presentes na área analisada. A proposta adotada não envolveu a substituição completa da infraestrutura de elevação existente, mas uma intervenção direcionada na interface entre operador, comando e carga, considerada o principal ponto crítico identificado durante a análise da operação.

A escolha por um painel controlador integrado ao dispositivo de movimentação teve como objetivo aproximar a interface de comando da região de atuação do operador. No sistema anterior, o comando portátil da talha era utilizado separadamente do manipulador, fazendo com que o trabalhador dividisse sua atenção entre o acionamento do equipamento e o controle manual da peça. Com a solução proposta, o comando passou a acompanhar o próprio dispositivo, tornando a operação mais integrada ao processo de movimentação.

Outro requisito fundamental do projeto foi a modularidade do sistema. A área analisada possuía diferentes dispositivos destinados à movimentação de quinta roda e selas, com características construtivas distintas, porém baseados no mesmo princípio de elevação por talha elétrica. Dessa forma, optou-se pelo desenvolvimento de um único painel controlador, capaz de ser compartilhado entre diferentes equipamentos por meio de suportes específicos de acoplamento.

Essa abordagem possibilitou a padronização da interface de operação, uma vez que diferentes atividades passaram a utilizar o mesmo conceito de comando. Além disso, evitou a necessidade de instalação de múltiplos sistemas independentes na linha, reduzindo a complexidade de integração e manutenção dos equipamentos existentes.

Além da modularidade, o desenvolvimento considerou requisitos relacionados à segurança operacional. O sistema foi projetado para permitir o acionamento da talha somente em condições previstas de funcionamento, incorporando recursos como

acionamento bimanual, parada de emergência e detecção de acoplamento do painel ao dispositivo.

No caso específico da movimentação da quinta roda, a solução não se limitou ao desenvolvimento do painel de comando. A análise do sistema anterior demonstrou que o uso de correntes e ganchos contribuía para a instabilidade da carga durante o posicionamento. Dessa forma, foi necessária também uma adaptação no sistema de apoio da peça, buscando maior controle da movimentação e compatibilidade com a nova lógica de operação.

Assim, a solução desenvolvida foi baseada em três diretrizes principais: melhoria da interface de comando, um dispositivo que aproveite a infraestrutura existente e aplicação de um conceito modular para diferentes dispositivos de montagem com a utilização do sensor de presença conforme citado na metodologia. A partir desses requisitos, iniciou-se o desenvolvimento construtivo do painel controlador e dos elementos necessários para sua integração à linha de produção.

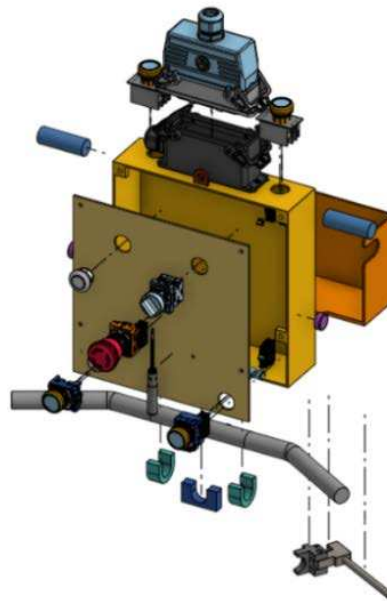
4.3 Modelagem 3D e estrutura construtiva do painel

O desenvolvimento do sistema foi realizado a partir da modelagem tridimensional dos componentes utilizando o software CAD Onshape, permitindo a definição da geometria, análise da montagem dos componentes e elaboração dos desenhos técnicos necessários para fabricação.

A utilização da modelagem 3D possibilitou avaliar previamente a integração entre os elementos mecânicos e elétricos do painel controlador, considerando restrições dimensionais, posicionamento dos componentes de comando e compatibilidade com os dispositivos auxiliares existentes na linha de montagem.

A Figura 8 apresenta a representação tridimensional do painel controlador desenvolvido, evidenciando a organização dos componentes internos e a disposição dos elementos estruturais responsáveis pela proteção e fixação do conjunto.

Figura 8 – Vista em explosão do modelo 3D do painel controlador modular.

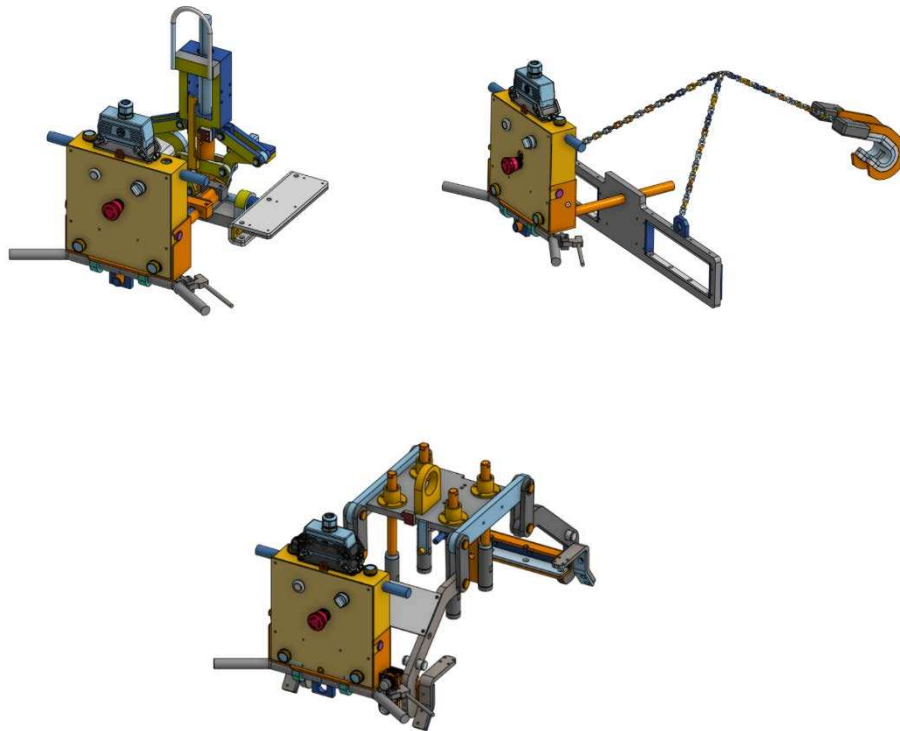


Fonte: Autoria própria (2024)

A estrutura do painel foi desenvolvida em aço carbono SAE 1020, utilizando chapas dobradas e elementos soldados. A escolha desse material considerou sua disponibilidade industrial, facilidade de fabricação e características mecânicas adequadas para uma aplicação submetida ao uso contínuo, movimentações frequentes e possíveis impactos durante a operação.

Conforme apresentado na Figura 9, o painel possui dimensões externas aproximadas de 255 mm × 255 mm × 68,4 mm, resultando em um conjunto compacto e adequado para manipulação pelo operador durante a utilização nos dispositivos auxiliares.

Figura 9 – Modelo 3D do painel controlador modular.



Fonte: Autoria própria (2024)

O peso aproximado do conjunto desenvolvido é de 3,6 kg, considerando a estrutura metálica, chapas, barras e componentes utilizados na fabricação. Esse valor foi considerado durante o desenvolvimento para garantir que o painel permanecesse suficientemente robusto para aplicação industrial, porém com possibilidade de movimentação e troca entre os diferentes dispositivos.

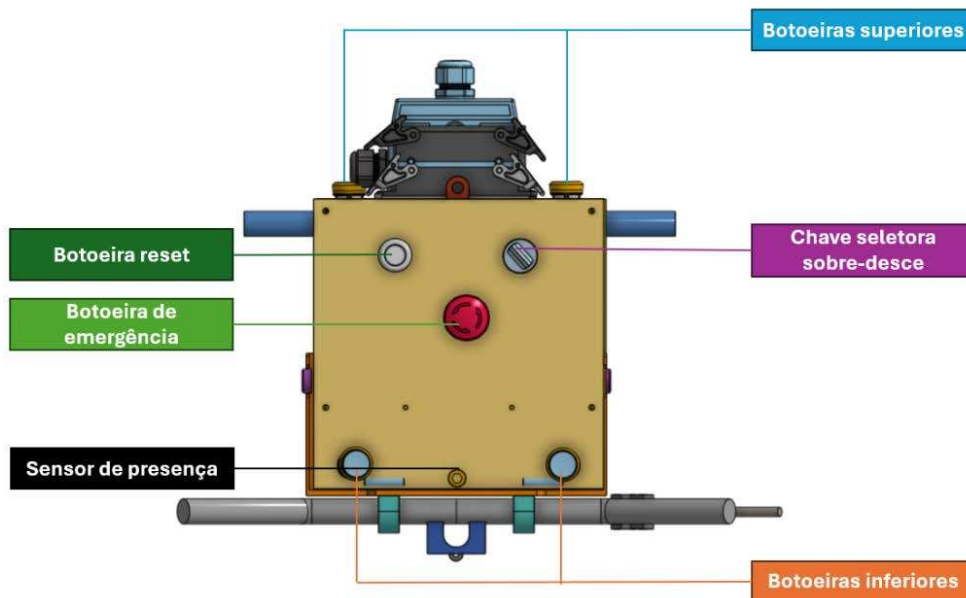
4.4 Sistema de comando e dispositivos de segurança

O painel controlador desenvolvido para a operação da talha foi concebido para concentrar, em uma única interface, os elementos de comando e as funções de segurança necessárias à movimentação da carga. Essa configuração foi adotada com o objetivo de tornar a operação mais intuitiva e, ao mesmo tempo, reduzir a exposição do operador à zona de risco durante a elevação e o posicionamento da quinta roda.

Do ponto de vista funcional, o painel reúne os comandos necessários para definir o sentido de movimento da talha e autorizar sua operação somente em condições adequadas de uso. A interface frontal do conjunto, mostrada na Figura 10,

permite visualizar a organização desses elementos e compreender a lógica de operação adotada no projeto.

Figura 10 – Componentes frontais do painel de controle.



Fonte: Autoria própria (2024)

Entre os principais elementos do painel, destaca-se a chave seletora de três posições, responsável pela seleção dos estados de subida, neutro e descida. A posição neutra atua como condição segura de repouso, impedindo o acionamento involuntário do sistema quando não há comando intencional do operador. Essa solução contribui para tornar o funcionamento mais previsível e compatível com a rotina de operação na linha de montagem.

Outro componente essencial é o botão de parada de emergência do tipo cogumelo, com retenção mecânica, destinado à interrupção imediata do movimento em situações anormais. Sua presença no painel garante ao operador um recurso de parada rápida diretamente na interface de uso, o que é especialmente importante em uma operação que envolve componentes pesados suspensos. Conforme o atestado de conformidade do equipamento implantado, o botão de emergência é monitorado por interface de segurança e atua com parada de categoria 0, isto é, por remoção imediata de energia do sistema.

O sistema de comando também incorpora a lógica de operação bimanual. No dispositivo implantado, o acionamento da talha depende da atuação do comando BI-manual presente no controle, com par de acionamento superior ou inferior,

conforme descrito no laudo técnico de conformidade. Essa característica é relevante porque obriga o operador a manter as mãos na região de comando do painel durante a movimentação, reduzindo a possibilidade de que uma delas permaneça próxima à carga em deslocamento. Em termos práticos, trata-se de uma medida que atua diretamente sobre o principal problema identificado no sistema anterior.

Além do comando bimanual, o painel utiliza um sensor de segurança para monitoramento do seu acoplamento ao berço do dispositivo. Esse recurso impede a liberação dos comandos de subida e descida caso o painel não esteja corretamente posicionado em sua base de uso. Dessa forma, evita-se a operação do sistema com o painel solto, mal encaixado ou fora da condição prevista de funcionamento. No contexto do trabalho, esse intertravamento representa uma medida importante de prevenção de erro operacional.

O texto original do projeto já indicava a presença desse sensor como dispositivo de intertravamento, e o atestado de conformidade complementa essa informação ao registrar que o sistema implantado utiliza sensor indutivo de segurança para monitorar o acoplamento do controle ao berço, juntamente com uma interface de segurança dedicada a essa função. O documento também informa que o sistema possui rearme manual, o que significa que, após a interrupção da condição segura, o equipamento só volta a operar mediante ação intencional do operador. Essa lógica evita reinício automático e reforça a segurança do conjunto.

Do ponto de vista elétrico, o sistema de controle opera em 24 V em corrente contínua, padrão amplamente utilizado em circuitos de comando industriais por oferecer maior segurança ao operador e menor exposição a riscos de choque elétrico na interface de uso. O atestado de conformidade também registra que o equipamento possui quadro de comando identificado, aterramento, dispositivos de proteção elétrica e sinalização de segurança compatíveis com a avaliação realizada.

Assim, a arquitetura de comando do painel não se limita à simples substituição da botoeira portátil anteriormente utilizada. Na prática, ela representa uma reorganização da interface de operação da talha, combinando seletividade de movimento, comando bimanual, parada de emergência, intertravamento por acoplamento e rearme manual. Esse conjunto de recursos permitiu alinhar a solução desenvolvida às necessidades reais da operação, contribuindo para maior controle, previsibilidade e segurança no processo de movimentação da quinta roda.

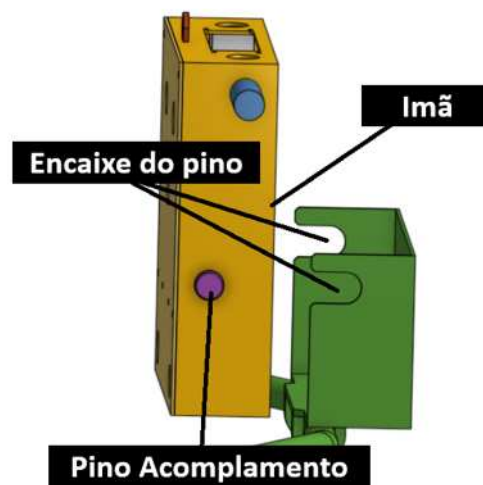
4.5 Sistema de acoplamento modular e integração com os dispositivos

A solução proposta neste trabalho exigiu que o painel controlador pudesse ser utilizado em diferentes equipamentos da linha, sem comprometer a praticidade de operação nem exigir alterações estruturais extensas nos manipuladores existentes. Para atender a esse requisito, foi desenvolvido um sistema de acoplamento modular, permitindo que o mesmo painel fosse instalado e removido de acordo com o dispositivo utilizado em cada operação.

O acoplamento foi concebido para ocorrer de forma rápida, com posicionamento definido e estabilidade durante o uso. Para isso, o painel possui pinos guia laterais, responsáveis por orientar o encaixe no suporte instalado em cada dispositivo de movimentação. Esse recurso reduz a possibilidade de desalinhamento no momento da instalação e contribui para a repetibilidade da posição de uso do controle, aspecto importante para a padronização da operação.

Além do encaixe mecânico, o painel conta com um ímã permanente integrado à sua estrutura, cuja função é auxiliar na fixação ao suporte metálico do dispositivo como é possível visualizar na Figura 11. Esse arranjo aumenta a estabilidade do conjunto durante a operação e reduz a possibilidade de deslocamentos indesejados do painel enquanto o operador conduz a carga. Ao mesmo tempo, a solução preserva a praticidade de remoção quando o painel precisa ser transferido para outro manipulador da linha.

Figura 11 – Sistema de acoplamento do painel ao suporte do dispositivo.



Fonte: Autoria própria (2024)

A integração do painel aos dispositivos existentes foi tratada como premissa de projeto desde o início do desenvolvimento. Isso ocorreu porque a área analisada não utilizava apenas um equipamento de movimentação, mas três dispositivos com funções semelhantes, embora com geometrias e sistemas de apoio distintos. Assim, em vez de desenvolver comandos independentes para cada caso, optou-se por uma única interface de operação compartilhável, associada a suportes específicos de acoplamento instalados em cada equipamento.

Essa decisão trouxe como principal benefício a padronização da interface de comando. Independentemente do dispositivo utilizado, o operador passou a interagir com a mesma lógica de operação, o que tende a reduzir a variabilidade do processo e facilitar o treinamento. Além disso, o compartilhamento do painel reduz a necessidade de múltiplos conjuntos de comando na linha, simplificando aspectos de manutenção e organização do posto de trabalho.

Durante a implementação, os três dispositivos da área receberam adaptações para permitir o uso do painel modular. Em dois deles, destinados à manipulação de selas, a intervenção consistiu basicamente na instalação do suporte de acoplamento. Já no dispositivo da quinta roda, além desse suporte, foi necessária uma modificação mais ampla no sistema de apoio da peça, tema tratado na seção seguinte.

Portanto, o sistema de acoplamento modular não teve apenas a função de fixar o painel ao manipulador, mas de viabilizar a aplicação prática do conceito desenvolvido neste trabalho. Ao permitir integração com diferentes dispositivos da linha, a solução preservou a infraestrutura de elevação existente e concentrou a melhoria no modo de operação do sistema, reforçando seu caráter aplicado e sua viabilidade industrial.

4.6 Adaptação do dispositivo da quinta roda

Entre os três dispositivos de movimentação existentes na área analisada, o destinado à quinta roda exigiu a adaptação mais significativa. Nos manipuladores utilizados para selas, a integração do painel modular foi viabilizada principalmente pela instalação do suporte de acoplamento. No caso da quinta roda, entretanto, a

melhoria da operação dependia não apenas da nova interface de comando, mas também da reformulação do sistema de apoio da peça.

No método anteriormente utilizado, a quinta roda era movimentada por meio de um arranjo com correntes e ganchos conectado à talha elétrica. Embora esse sistema permitisse o içamento do componente, sua configuração favorecia oscilações durante a movimentação e exigia frequentes correções manuais de alinhamento. Assim, a simples substituição do comando portátil por um painel bimanual não seria suficiente para resolver integralmente o problema operacional identificado na linha.

Diante disso, foi desenvolvido um novo sistema de apoio para a quinta roda, compatível com o conceito de operação proposto neste trabalho, presente na Figura 12. A alteração teve como objetivo principal tornar a movimentação mais estável e previsível, reduzindo a liberdade excessiva de movimento presente no sistema anterior. Com isso, a quinta roda passou a ser conduzida de forma mais estável e controlada, reduzindo a necessidade de correções manuais durante o posicionamento final.

Figura 12 – Novo sistema de apoio da quinta roda no dispositivo de movimentação.



Fonte: Autoria própria (2024)

A adaptação do dispositivo permitiu que a quinta roda passasse a ser conduzida de forma mais controlada, em consonância com o uso do painel bimanual acoplado ao manipulador. Na prática, isso significou uma melhoria conjunta entre suporte mecânico e interface de comando, o que contribuiu para reduzir o risco de esmagamento e aumentar a precisão da operação.

Além do ganho em segurança, a nova configuração favoreceu a ergonomia da atividade. Com maior estabilidade da peça durante a elevação e o posicionamento, o operador deixou de depender com tanta frequência de ajustes manuais próximos à

carga suspensa. Dessa forma, a adaptação do dispositivo da quinta roda representou uma etapa essencial para que a solução proposta atingisse os resultados observados na validação em linha.

Portanto, a modificação realizada nesse equipamento foi decisiva para o desempenho do sistema desenvolvido. Mais do que permitir a instalação do painel modular, ela tornou o processo de movimentação da quinta roda coerente com a nova lógica de operação adotada, baseada em maior estabilidade, padronização e segurança.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o desenvolvimento do sistema de controle modular bimanual, foram realizadas avaliações em ambiente real de produção com o objetivo de verificar sua aplicabilidade, segurança, ergonomia e impacto operacional. Os resultados apresentados nesta seção consideram a utilização do dispositivo na linha de montagem, a percepção dos operadores envolvidos e as avaliações internas realizadas pela empresa.

5.1 Implementação e validação do sistema desenvolvido

Após a conclusão do desenvolvimento e fabricação do dispositivo, o sistema foi instalado na linha de montagem e submetido a testes em condição real de operação. A validação ocorreu entre outubro de 2024 e março de 2025, envolvendo aproximadamente dez operadores durante o período de avaliação.

A aplicação prática do sistema permitiu verificar o funcionamento do painel controlador, sua integração aos dispositivos existentes e a adaptação dos operadores ao novo método de movimentação.

A utilização do novo sistema modificou a interação entre operador e equipamento, substituindo o comando separado anteriormente utilizado por uma interface integrada ao próprio dispositivo de movimentação. Dessa forma, o operador passou a realizar o controle da talha e o direcionamento da carga utilizando o mesmo conjunto de acionamento. É possível verificar na Figura 13 onde apresenta a utilização do dispositivo equipado com o painel de controle modular durante a operação de movimentação.

Figura 13 – Operador utilizando o dispositivo de movimentação equipado com o painel bimanual.



Fonte: Autoria própria (2024)

Durante o período inicial de utilização, foi observada uma necessidade de adaptação ao novo método de operação, devido à alteração da interface de controle. Entretanto, após a familiarização com o sistema, os operadores apresentaram maior facilidade na condução da peça e maior confiança durante a execução da atividade, como é visto o resultado do Formulário no Apêndice A.

Após a conclusão dos testes e aprovação junto às áreas responsáveis, o dispositivo foi incorporado definitivamente ao processo produtivo, demonstrando a viabilidade da aplicação do conceito modular desenvolvido.

5.2 Avaliação da segurança e ergonomia do processo

A principal melhoria proporcionada pelo sistema desenvolvido está relacionada à redução da exposição do operador aos riscos associados à movimentação de componentes pesados. O método anterior exigia que o operador alternasse entre o acionamento da talha e o direcionamento da carga, aumentando a possibilidade de posicionamento inadequado das mãos durante a movimentação.

Com a implementação do painel bimanual, o acionamento da talha passou a depender da utilização simultânea dos dois comandos, mantendo as mãos do operador posicionadas no sistema de controle durante toda a operação. Além disso, foram incorporados recursos adicionais de segurança, como botão de emergência e sensor de presença para liberação dos comandos somente após o correto acoplamento do painel ao dispositivo.

A avaliação dos riscos foi realizada por meio da metodologia utilizada internamente pela empresa, considerando os principais perigos identificados no

processo anterior. A Tabela 1 apresenta a comparação dos riscos avaliados antes da implementação do novo sistema. O NPR é o índice de periculosidade de acordo com os padrões internos da empresa, decidido e avaliado por uma equipe multi departamental em conjunto. Quanto maior o valor, maior o perigo identificado.

Tabela 1 – Avaliação dos riscos identificados no processo de movimentação

Perigo identificado	NPR antes da implementação
Esmagamento ao posicionar a chapa no carrinho	576
Esmagamento ao posicionar a quinta roda sobre a sela no carrinho	567
Esmagamento ao realizar o giro do conjunto	486
Queda da quinta roda por encaixe inadequado	360

Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados demonstram que os principais riscos estavam relacionados à movimentação manual e ao posicionamento dos componentes durante o processo, pois estes estavam diretamente relacionado a operação da movimentação da quinta roda. A solução desenvolvida atuou diretamente nesses pontos ao reduzir a necessidade de intervenção manual próxima à carga e estabelecer condições mais controladas de operação.

Além da avaliação de segurança, foi realizada uma análise ergonômica utilizando a ferramenta interna da empresa. A Tabela 2 apresenta a comparação entre a condição anterior e posterior à implementação do sistema com os numeros referentes a classificação ergonômica de acordo com os padrões internos da empresa, dividindo-se quanto a sua criticidade e frequência.

Tabela 2 – Comparação da avaliação ergonômica antes e após a implementação do sistema desenvolvido

Classificação ergonômica	Situação anterior	Situação após implementação
Pontos vermelhos (condição crítica)	4	0
Pontos amarelos (condição de atenção)	20	3
Pontos verdes (condição adequada)	21	38
Total de pontos avaliados	45	41

Fonte: Autoria própria (2024)

Antes da implementação, a avaliação apresentava quatro pontos classificados como críticos, vinte pontos intermediários e vinte e um pontos

adequados. Após a aplicação do novo sistema, houve redução dos pontos críticos para zero, redução dos pontos intermediários para três e aumento dos pontos adequados para trinta e oito.

Os resultados indicam uma melhoria significativa das condições ergonômicas do processo, principalmente devido à alteração da postura operacional, melhor posicionamento das mãos e eliminação da necessidade de manipulação simultânea da carga e do comando da talha.

A Figura 14 apresenta a comparação do posicionamento da sela no carrinho antes e depois a implementação das melhorias propostas. Observa-se que o novo método proporciona uma condição de operação mais favorável, reduzindo movimentos inadequados e melhorando o controle do operador durante o posicionamento do componente.

Figura 14 – Antes e depois do posicionamento da sela no carrinho

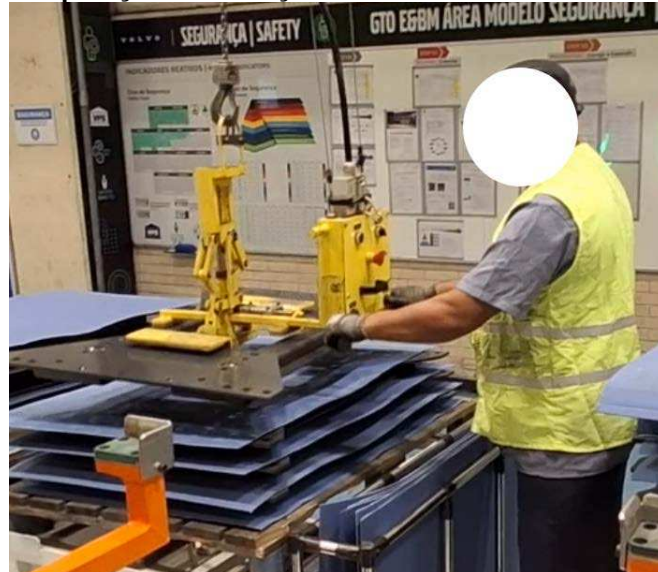


Fonte: Autoria própria (2024)

Outro diferencial da solução desenvolvida foi a aplicação do conceito modular, permitindo que o mesmo painel controlador fosse utilizado em diferentes dispositivos de movimentação presentes na linha.

A Figura 15 mostra a utilização do sistema durante a elevação da sela, evidenciando a aplicação do mesmo painel em outro dispositivo da área.

Figura 15 – Operação de elevação da sela com o sistema desenvolvido



Fonte: Autoria própria (2024)

A modularidade permitiu padronizar a interface de operação, reduzindo a necessidade de desenvolvimento de diferentes sistemas de comando para cada equipamento existente.

5.3 Avaliação da aceitação dos operadores

Além das avaliações técnicas, foi realizada uma pesquisa com os operadores envolvidos na utilização do sistema, buscando identificar a percepção dos usuários quanto à segurança, facilidade de operação e adequação ergonômica do dispositivo.

Questionário (localizado no Anpendice A) foi aplicado a dez operadores da linha de montagem, resultando em uma avaliação média de 9,0 para o sistema desenvolvido.

Tabela 3 – Resultado da avaliação dos operadores sobre o sistema desenvolvido

Critério avaliado	Resultado
Percepção de segurança durante a operação	Positiva
Facilidade de utilização após adaptação	Positiva
Melhoria do controle da movimentação	Positiva
Nota média atribuída ao dispositivo	9,0

Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados indicam uma boa aceitação do sistema pelos usuários finais. Apesar da existência de uma curva inicial de aprendizado, relacionada principalmente

à mudança do método tradicional de operação, os operadores relataram maior segurança e facilidade após o período de adaptação.

A percepção positiva dos usuários reforça os resultados observados durante os testes em linha, indicando que a solução desenvolvida apresentou compatibilidade com as necessidades operacionais do processo.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver, fabricar e validar uma solução para a movimentação da quinta roda em uma linha de montagem de caminhões, com foco na melhoria da segurança operacional, das condições ergonômicas e do desempenho do processo. A partir da análise do sistema existente, foi possível identificar limitações relacionadas à instabilidade da carga, à necessidade de intervenções manuais durante o posicionamento e à exposição dos operadores a riscos ocupacionais.

Como solução, foi desenvolvido um painel controlador modular com acionamento bimanual, parada de emergência e intertravamento por acoplamento, além da adaptação do sistema de apoio da quinta roda para aumentar sua estabilidade durante a movimentação. A solução foi implementada e validada em ambiente real de produção.

Os resultados obtidos demonstraram que o sistema desenvolvido atendeu aos requisitos definidos para o projeto, contribuindo para a melhoria das condições de segurança, ergonomia e operação do processo. Dessa forma, conclui-se que a solução apresentada mostrou-se tecnicamente viável e adequada às necessidades da linha de montagem analisada, atingindo os objetivos propostos neste trabalho..

REFERÊNCIAS

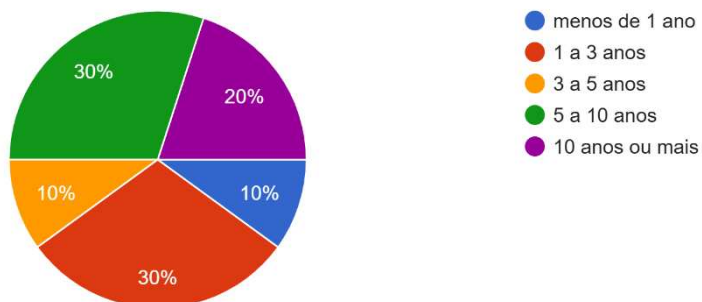
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 13849**: Segurança de máquinas – Partes dos sistemas de comando relativas à segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-17 – Ergonomia**. Brasília, 1990. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-11 – Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais**. Brasília, 1978. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GROOVER, M. P. **Automation and Control Systems**. London: Pearson Education, 2016.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2013.
- SHIGLEY, J. E.; MISCHE, C. R. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- DUL, J.; WEERDMEESTER, B.; FRENS, J. **Ergonomia prática**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE PESQUISA

Formulário de Avaliação do Novo Dispositivo de Movimentação da Quinta Roda

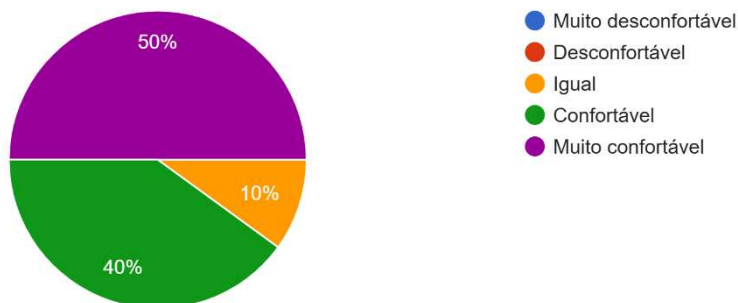
Tempo de experiência na linha de montagem :

10 respostas



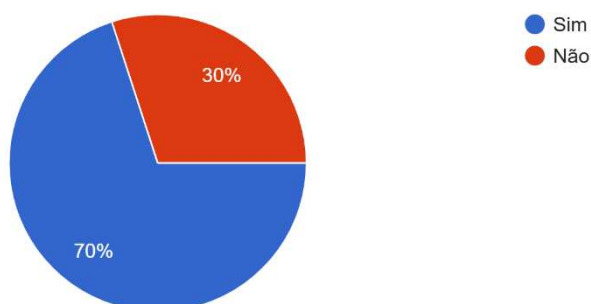
Como você avalia o conforto da posição de trabalho durante a operação?

10 respostas



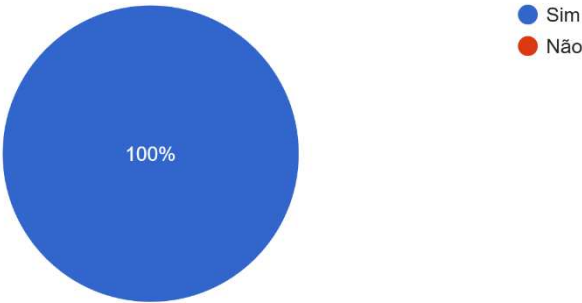
Você sente redução de dor ou fadiga em alguma região do corpo com o novo dispositivo?

10 respostas



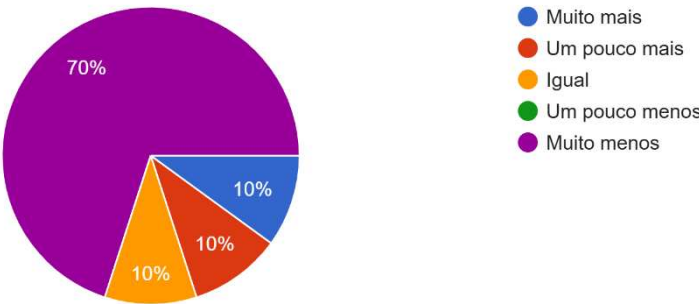
A altura e posição das botoeiras estão adequadas?

10 respostas



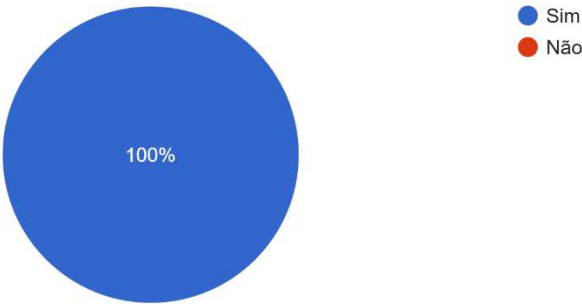
O novo dispositivo exige menos esforço físico do que o anterior?

10 respostas



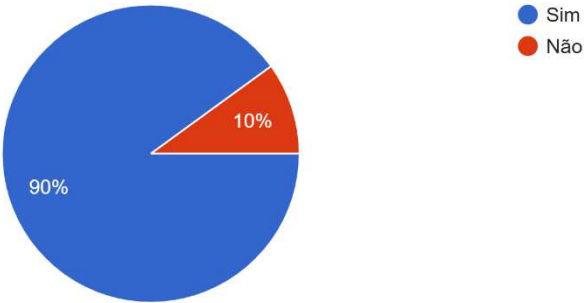
O sistema bimanual (botões com duas mãos) contribui para a segurança da operação?

10 respostas



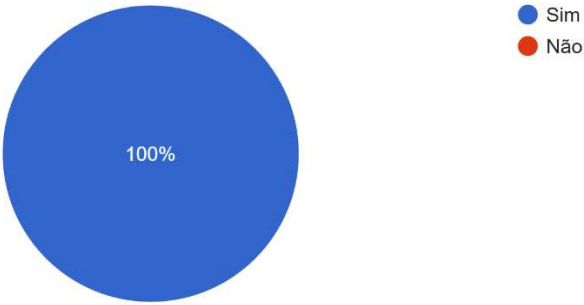
O botão de emergência é de fácil acesso e entendimento?

10 respostas



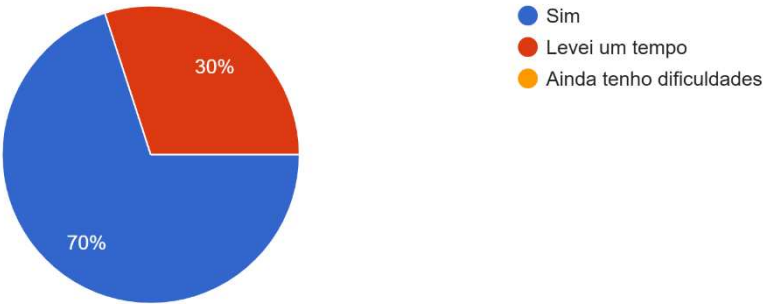
Em sua percepção, o novo sistema reduz o risco de esmagamento?

10 respostas



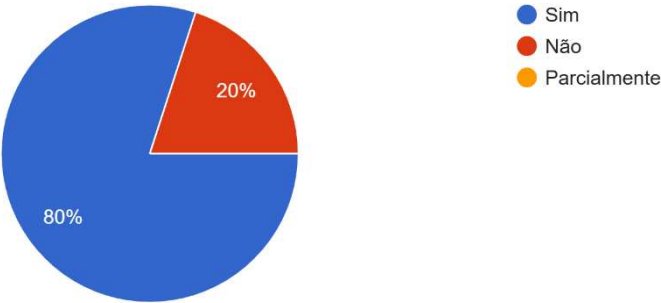
Você se adaptou rapidamente ao uso do novo dispositivo?

10 respostas



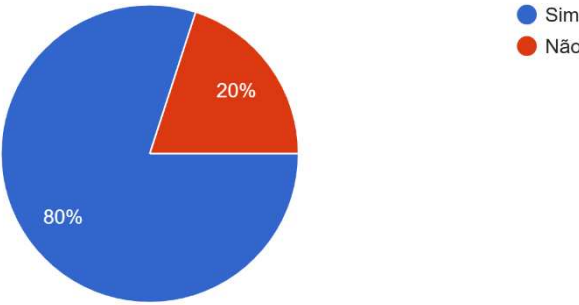
O guidão ajuda no controle da movimentação da peça?

10 respostas



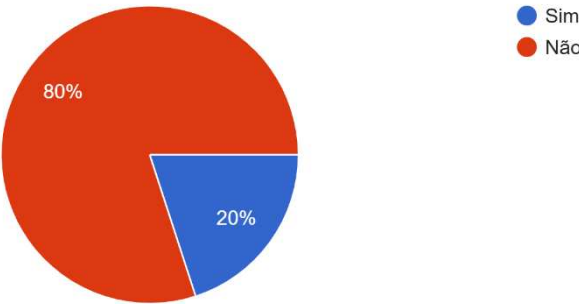
Você consegue realizar o alinhamento da peça com facilidade?

10 respostas



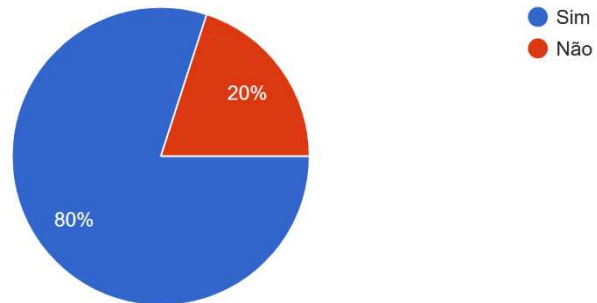
Você teve alguma dificuldade para encaixar ou desacoplar o módulo de controle?

10 respostas



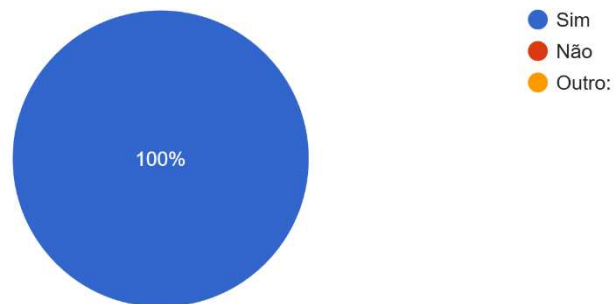
Você acredita que o novo dispositivo agiliza a operação?

10 respostas



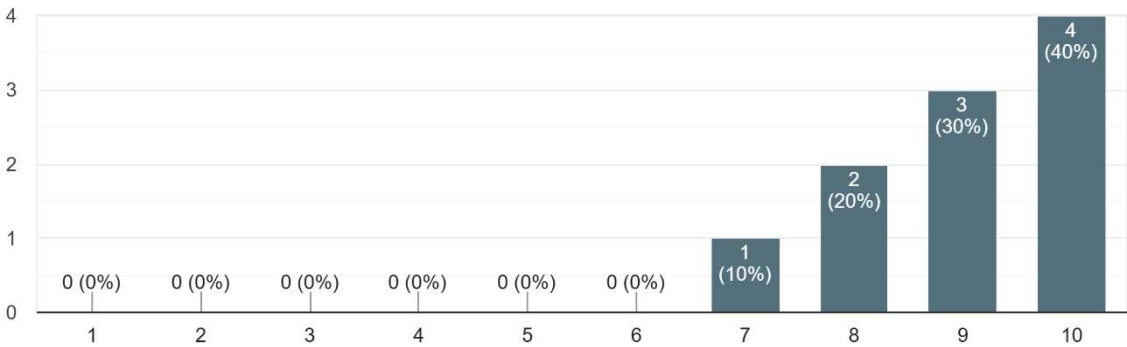
Você se sente confiante para operar o dispositivo sozinho após o período de testes?

10 respostas



De 0 a 10, qual nota você dá para o novo dispositivo?

10 respostas



Como o novo dispositivo exige esforço físico do que o anterior?

10 respostas

