



# ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03  
de dezembro 2021

## Desenvolvimento de projeto – Plataforma Pantográfica Móvel Com Dimensões Especiais Para o Setor Industrial

**Ana Beatriz Rodrigues Santos**

Faculdade de Ciências Exatas, Engenharia Mecânica, Universidade São Judas Tadeu

**Verônica Yumi Orui Eiro**

Faculdade de Ciências Exatas, Engenharia Mecânica, Universidade São Judas Tadeu

**Wesley Neves de Matos**

Faculdade de Ciências Exatas, Engenharia Mecânica, Universidade São Judas Tadeu

**Felipe Gamarano Wieler**

Faculdade de Ciências Exatas, Engenharia Mecânica, Universidade São Judas Tadeu

**Carlos L. Noriega**

Faculdade de Ciências Exatas, Engenharia Mecânica, Universidade São Judas Tadeu

**Resumo:** A Toyota desenvolveu e implementou o *Lean Manufacturing*, que é uma metodologia de gestão contínua para melhora de eficiência dentro do setor aplicado. Seguindo essa linha, o presente artigo aborda a questão de tempo improdutivo na realização de processos em uma empresa que atua na reposição de peças no mercado paralelo, o que consiste em uma qualidade e rapidez na produção através da eliminação de desperdícios de tempo no percurso de pessoas/funcionários, por conta do deslocamento na elevação das caixas de gravações. Após uma análise foi proposto uma solução referente a implementação de uma plataforma pantográfica personalizada com as medidas necessárias para otimizar o processo estudado. O objetivo geral do trabalho é demonstrar todo o processo de projeto e desenvolvimento do equipamento citado, passando assim por uma análise prévia de requerimentos, o modelamento 3D dos componentes, a simulação por elementos finitos, análise das simulações baseados na norma NBR8400 (direcionada ao cálculo de equipamentos para levantamento e movimentação de cargas), detalhamento técnico dos desenhos necessários para a confecção do equipamento, levantamento de custos gerais do projeto, testes físicos e de tempos economizados na produção com a implementação do projeto.

**Palavras-chave:** movimentação de cargas, plataforma pantográfica, manufatura enxuta.

## Project Development - Mobile Pantographic Platform with Special Dimensions for the Industrial Sector

**Abstract:** Toyota has developed and implemented Lean Manufacturing, which is a continuous management methodology to improve efficiency within the applied sector. Following this line, this article addresses the issue of unproductive time in the realization of processes in a company that operates in the replacement of parts in the parallel market, which consists of a quality and speed in production through the elimination of waste of time in the path of people / employees, because of the displacement in the elevation of the recording boxes. After an analysis, a solution was proposed regarding the implementation of a customized pantographic platform with the necessary measures to optimize the studied process. The general objective of the work is to demonstrate the entire process of design and development of the equipment cited, thus going through a prior analysis of requirements, 3D modeling of the components, finite element simulation, analysis of simulations based on the NBR8400 standard (directed to the calculation of equipment for lifting and handling loads), technical detailing of the drawings needed for the manufacture of the equipment, survey of overall project costs, physical tests and times saved in production with the implementation of the project.

**Keywords:** load handling, pantographic platform, lean manufacturing.

### 1. Introdução

Podemos descrever a engenharia como um ato de utilizar conhecimentos para simplificação de tarefas complexas e resolução de problemas em diversas áreas e setores. (BEER; JOHNSTON JR, 1991)

Sabendo-se disso empresas buscam ações que permitam a melhoria contínua em seus processos produtivos, melhorando a utilização dos seus recursos, ocasionando uma redução de perdas e custos, com isso otimizam seus processos, elevando a qualidade do seu produto final. (OHNO et al., 1988a)

A indústria brasileira pode avançar no uso das técnicas de produção enxuta, que são decisivas para melhorar a gestão, reduzir desperdícios e aumentar a produtividade. Atualmente, um terço utiliza técnicas de manufatura enxuta. Uma pesquisa ouviu 2.338 indústrias em todo o país, de pequeno a grande porte. Conforme indicado nos dados acima podemos ver que há falta de conhecimento das técnicas. (CNI, 2019a)

Tabela 1 – Utilização das técnicas de produção enxuta na indústria. Fonte: (CNI, 2019a) (compilado pelos autores)

Técnicas	Percentual utilizado
0	8%
De 1 a 3	19%
De 4 a 9	39%

Com devida atenção dada pela empresa é possível eliminar as perdas referentes aos movimentos desnecessários, e em paralelo com a aplicação de métodos pertinentes à gestão estratégica, obter benefícios da sua aplicação. Baseados em informações de empresas atuantes no segmento de plataformas pantográficas (CHRILU, 2021), (DGRANDE, 2021), (HBZ, 2021), (NIVELARTEC, 2021), (NAUTILUS, 2021), a mesma recebe diferentes nomes como “Plataforma Tesoura”, “Plataforma Elevatória Pantográfica”, “Tesoura Pantográfica”, “Mesa Elevatória”, etc. e pode ser confeccionada para diversas aplicações e em cada uma delas tendo a sua peculiaridade, porém em todas elas o princípio de funcionamento é semelhante, podendo ser utilizada somente na vertical pois possui somente função de içamento, trabalhando na subida e na descida, a mesma pode ser aplicada em funções como elevação e movimentação de cargas e de funcionários para execução de serviços, por suas características é muito utilizada no setor de logística e manutenção. A plataforma pantográfica consiste em suportes dobráveis e interligados em padrão cruzado “X” podendo ser hidráulica, pneumática ou mecânica e normalmente utiliza-se o aço como matéria prima para sua estrutura. O movimento para cima é obtido através da aplicação de uma força diretamente nas ligações cruzadas, alongando o padrão de cruzamento, e impulsionando a plataforma verticalmente.

A causa da implementação da plataforma pantográfica, foi o pouco espaço exigido para sua utilização, baixo custo de manutenção, simplicidade na confecção e alta eficiência de trabalho. A plataforma será projetada e construída com base nas necessidades e no espaço disponível para sua utilização, com a implementação da plataforma podemos reduzir os tempos improdutivos dos funcionários, melhorando a ergonomia laboral. No estudo em questão, foram detectadas etapas que estavam gerando desperdício de tempo na execução das tarefas, tempos estes relacionados à espera e a locomoção de um funcionário até o outro, para auxiliar no posicionamento de uma caixa de peça na altura adequada, para que o funcionário possa manusear as peças sem maiores complicações, para execução do projeto visamos especificamente o setor responsável pela gravação de produtos, para futura identificação e rastreabilidade. Com o objetivo principal de auxiliar neste processo, possibilitando posicionar de uma vez 9 caixas na plataforma e poder manusear o equipamento sem o auxílio de mais funcionários.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. Estudo dos tempos e plano de melhoria**

O projeto visa diminuir os tempos ociosos dos funcionários envolvidos no processo de gravação e embalagem de produtos, demonstrando alguns benefícios proporcionados

pela implementação da plataforma em questão realizamos um estudo relacionando os tempos e valores improdutivo envolvidos no processo, antes, e uma estimativa prévia após a implementação do equipamento.

### **Análise (Geral) pré-projeto**

$$\begin{aligned} \text{Valor mensal improdutivo}_{Total} &= \text{Valor mensal improdutivo}_1 + \text{Valor mensal improdutivo}_2 \\ \text{Valor mensal improdutivo}_{Total} &= R\$ 374,85 + R\$ 315,29 = R\$ 690,14 \end{aligned}$$

### **Análise estimativa (Geral) pós-projeto**

$$\begin{aligned} \text{Valor mensal improdutivo}_{Total} &= \text{Valor mensal improdutivo}_1 + \text{Valor mensal improdutivo}_2 \\ \text{Valor mensal improdutivo}_{Total} &= R\$ 265,53 + R\$ 83,34 = R\$ 348,87 \end{aligned}$$

### **Análise Comparativa**

$$\begin{aligned} \text{Valor improdutivo}_{Total(PréProjeto)} - \text{Valor improdutivo}_{Total(PósProjeto)} &= \text{Valor Economizado} \\ R\$ 690,14 - R\$ 348,87 &= R\$ 341,27 \end{aligned}$$

## **2.2. Escopo do projeto a ser desenvolvido**

Para a elaboração do projeto optamos pelo modelo estilo tesoura, com duplo estágio. Sua estrutura consiste em hastes articuladas e mesa rígida, que é elevada por um atuador hidráulico. Visamos construir um equipamento que seja de pequeno a médio porte, proporcional ao trabalho e carga exigida, apresentando flexibilidade e ergonomia aos usuários. No acionamento projetado, o cilindro hidráulico foi montado com as duas extremidades articuladas de forma a proporcionar certa liberdade para o cilindro girar conforme a plataforma é deslocada verticalmente. As articulações foram soldadas à estrutura pantográfica de modo que, ao cilindro ser acionado as hastes articuladas transfiram o movimento em ângulo gerado pelo pistão em um movimento linear na plataforma pantográfica.

Seguindo as referências bibliográficas citadas como base, desenvolvemos o projeto e a confecção da plataforma pantográfica móvel, na fase de projetos, utilizando o *Software Solidworks 2014*, todos os componentes foram modelados pelo grupo e montados, com isto realizamos simulações por meio da análise de elementos finitos, *Finite Element Analysis* (FEA) para verificar se o projetado iria resistir aos esforços solicitados sem sofrer deformações e oferecendo segurança aos operadores e a todos os indivíduos presentes no processo, após finalizar a fase de simulação, realizamos o detalhamento técnico da montagem e seus componentes individuais para entrar em fase de usinagem e montagem do projeto, após ter todos os componentes usinados e

montados, iniciamos os testes do protótipo, nesta etapa, realizamos testes da movimentação do mesmo e também de resistência mecânica para confirmar se o protótipo está de acordo com o que foi projetado ou se houve algum tipo de esforço não previsto em projeto.

O material utilizado para toda a parte estrutural do projeto é o aço SAE 1010/1020, escolhemos este material por ser um projeto que envolve elevação e movimentação de carga, portanto visamos um projeto mais robusto e ao mesmo tempo visamos um baixo custo, então utilizamos aço de baixo carbono, pois de acordo com a (GERDAU, 2021) é o tipo mais produzido, portanto é fácil de ser encontrado no mercado e por um custo mais baixo em relação aos outros aços especiais, optamos pelo baixo teor de carbono visando um aço mais maleável e de baixo custo, pois inicialmente acreditamos que não será necessário o uso de aços de durezas elevadas.

Tabela 2 - Designação dos aços. Fonte: (GERDAU, 2021) (Compilado pelos autores)

Designação		Tipos de Aço
SAE	AISI/ABNT	
10XX	10XX	Aços carbono comuns, com máximo 1% Mn
11XX	11XX	Aços resulfurados de corte fácil, alta % S
13XX	13XX	Aços manganês com 1,75% Mn
23XX	23XX	Aços níquel com 3,5% Ni

Já para as rodas empregadas para a movimentação da plataforma, temos como base os chamados "rodízios industriais, quanto ao acionamento, foi utilizado um pistão hidráulico para realizar o içamento da estrutura, juntamente com o pistão utilizamos uma bomba hidráulica manual visando maior versatilidade do projeto, podendo ser usado em outros locais da empresa sem necessitar de uma estrutura montada para o seu completo funcionamento.

### 2.3. Dimensionamento dos componentes

Como o projeto é referente a um equipamento destinado a elevação e movimentação de carga, como citado anteriormente, utilizamos como principal diretriz técnica a norma NBR8400 (ABNT, 1984) para determinar:

- a) Solicitações e combinações de solicitações a serem consideradas;
- b) Condições de resistência dos diversos componentes do equipamento em relação às solicitações consideradas;
- c) Condições de estabilidade a serem observadas.

A plataforma desenvolvida será para utilização ao setor de gravações (onde foi realizado o estudo) e neste setor a carga máxima utilizada para ser içada corresponde a 250kg, porém a plataforma poderá ser utilizada esporadicamente em outro setor, portanto o

projeto visou desenvolver uma plataforma com capacidade de elevação de 400kg para atender ambos os setores.

#### 2.4. Dimensionamento do acionamento

Seguindo a teoria relacionada a resistência dos materiais e hidráulica para dimensionar e selecionar os componentes adequados que atendam a necessidade do projeto, o acionamento será por meio de um cilindro hidráulico em conjunto com a bomba hidráulica.

#### 2.5. Dimensionamento por capacidade de carga e atuador

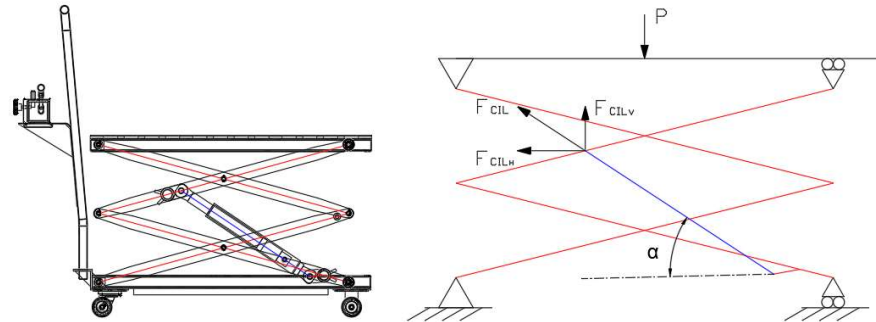


Figura 1 – Demonstrações de forças para dimensionamento do acionamento. Fonte: (Os autores)

A figura acima demonstra as forças para o dimensionamento do acionamento, podemos realizar algumas expressões com base na trigonometria para haver o movimento de subida do equipamento, determinadas as expressões geramos um gráfico dos esforços (*software Microsoft Excel*) a cada posição do equipamento em estudo considerando uma carga equivalente a 450kg com gerou o ângulo correspondente a posição mais alta da plataforma é igual a  $60^\circ$  e conforme o ângulo decresce a força exercida pelo atuador aumenta portanto é considerado a posição do equipamento em sua altura mínima para determinar a carga máxima do atuador e o menor ângulo possível corresponde a  $17^\circ$ .

Tabela 3 – Valores exatos dos esforços do cilindro em função dos menores e maiores ângulos  $\alpha$ . Fonte: (Os autores)

Ângulo Pistão (graus)	Esforço do pistão (Kgf)
16	1632,58
17	1539,14
18	1456,23
59	524,99
60	519,62
61	514,51

Conforme a tabela os valores exatos dos esforços do cilindro em função dos menores e maiores ângulos, temos que o atuador deve ser capaz de aplicar uma força superior a 1539,14 kgf para movimentar a plataforma içando assim a carga determinada.

O cilindro hidráulico escolhido de acordo com o fornecedor apresenta as dimensões citadas na “Tabela 4 – Medidas do cilindro para cálculo.”.

Tabela 4 – Medidas do cilindro para cálculo. Fonte: (Os autores)

Referência	Medida (mm)
$\emptyset$ Haste	42,5
$\emptyset$ Camisa	50,8
$\emptyset$ Externo	61
Curso	295
Comprimento fechado	527

Com isto podemos concluir que o conjunto do atuador é adequado para o projeto pois atende ao esforço necessário:

$$F = P_r \cdot A \rightarrow F = 2,29436 \cdot \frac{\pi \cdot 50,8^2}{4} = 4650,3 \text{ Kgf}$$

## 2.6. Dimensionamento por flambagem

Uma vez que os cilindros hidráulicos são projetados para suportar unicamente cargas de tração e compressão. Seguimos a expressão fornecida pelo mesmo livro de trigonometria (FIALHO, 2003) podemos determinar o diâmetro mínimo (1) da haste para que não ocorra a flambagem e as variáveis definidas tanto na altura máxima (2) do equipamento quanto na altura mínima.

$$d_h = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 3,5 \cdot 5,27^2 \cdot 15098,96}{\pi^3 \cdot 2,1 \cdot 10^7}} = 1,949 \text{ cm} = 19,49 \text{ mm} \quad (1)$$

$$d_h = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 3,5 \cdot 82,2^2 \cdot 5097,47}{\pi^3 \cdot 2,1 \cdot 10^7}} = 1,855 \text{ cm} = 18,55 \text{ mm} \quad (2)$$

## 2.7. Dimensionamento da estrutura

De acordo com cálculos realizados anteriormente, temos que em 1 mês ocorrem em média 215,6 ciclos. (projeto estimado em 25 anos de vida útil)

$$Qtd_{\text{ciclos/vida}} = 12_{\text{meses/anos}} \cdot 215,6_{\text{ciclos/mês}} \cdot 25_{\text{anos}} = 64680_{\text{ciclos}}$$

Segundo (ABNT, 1984), a classe de utilização caracteriza a frequência de utilização dos equipamentos. Para cada uma destas classes estipula-se um número total teórico de ciclos de levantamento que o equipamento efetuará durante sua vida, o nosso se classifica da seguinte maneira conforme as tabelas da ABNT.

A classe de utilização utilizada no desenvolvimento do projeto será a “Classe A”.

O estado de carga que iremos utilizar no desenvolvimento do projeto será o “2 (médio)”.

O grupo de classificação da estrutura do equipamento que foi utilizado no desenvolvimento do projeto foi o “Grupo 3”.

O coeficiente de majoração encontrado com base no grupo de classificação da estrutura do equipamento, foi " $M_X = 1$ ".

## 2.8. Parâmetros para cálculo da estrutura

No projeto presente neste trabalho, foram desconsideradas as solicitações referentes aos movimentos horizontais e aos efeitos climáticos. Os movimentos horizontais são desconsiderados pois os movimentos realizados com a plataforma serão movimentos simples e em velocidade reduzida, não exigindo assim da estrutura do equipamento. Já os efeitos climáticos foram desconsiderados pois o equipamento será utilizado somente em ambientes fechados, não sofrendo ações do vento e nem variações extremas de temperatura.

Segundo (ABNT, 1984) as solicitações principais são:

- Devidas aos pesos próprios dos elementos,  $S_G$ ;
- Devidas à carga de serviço,  $S_L$ .

A solicitação  $S_G$  aproximada consultada no projeto modelado por meio do *software Solidworks 2014* é igual a 50Kgf.

Todos os componentes foram dimensionados com o auxílio do *software Autodesk Inventor 2019*, por meio da simulação FEA.

Segundo (SHIGLEY, 2016), obtemos:

$\tau_{cis}$  = Tensão de cisalhamento;

$F_{cis}$  = Força cisalhante;

$A_{cis}$  = Área resistente ao cisalhamento.

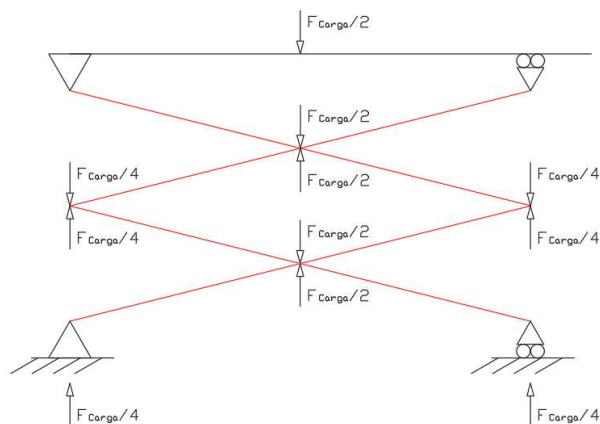


Figura 2 – Demonstração das forças nas junções das hastes de apoio. Fonte: (Os autores)



Para a seleção dos rolamentos esta força corresponde a aproximadamente  $F_{carga}/4$ , ou seja 127,5 Kgf, o modelo de rolamento selecionado é um rolamento de uso automotivo marca MTF, código “256302” e ao entrar em contato com o fornecedor, foi informado que a carga radial (estática e dinâmica) correspondem respectivamente a 5000N e 11000N, para o dimensionamento dos rolamentos do projeto presente neste trabalho, devido a aplicação dos mesmos, utilizamos a carga estática ou seja 5000N ou 509,7Kgf, com isto temos que a carga suportada pelo rolamento é superior a carga solicitada pelo equipamento, portanto o componente resiste aos esforços solicitados.

## 2.9. Análise de elementos finitos

Segundo (AUTODESK, [s.d.]), a análise de elementos finitos (FEA) é um método informatizado para prever como um produto reage a forças do mundo real, como vibração, calor, vazão de fluidos e outros efeitos físicos. A análise de elementos finitos mostra se um produto vai quebrar, se desgastar ou funcionar da maneira como foi projetado.

A análise de elementos (EA) divide um objeto real em um grande número (de milhares a centenas de milhares) de elementos finitos, como pequenos cubos. Equações matemáticas ajudam a prever o comportamento de cada elemento. Em seguida, um computador soma todos os comportamentos individuais para prever o comportamento do objeto.

A análise de elementos finitos ajuda a prever o comportamento de produtos afetados por muitos efeitos físicos, incluindo:

Tensão mecânica

Vibração mecânica

Fadiga

Movimento

Transferência de calor

Vazão de fluidos

Eletrostática

A análise feita por meio do *software Autodesk Inventor 2019* nos fornece diferentes tópicos, sendo eles específicos para cada tipo de análise desejada, conforme (AUTODESK, 2014) focamos na análise de três tópicos, sendo eles, *Von Mises Stress* (Tensão de Von Mises), *Safety Factor* (Fator de segurança) e *Displacement* (Deslocamentos).

- a) *Von Mises Stress* (Os resultados da tensão de Von Mises utilizam contornos de cor para mostrar as tensões calculadas durante a resolução do modelo. O modelo deformado é exibido. Os contornos de cor correspondem aos valores definidos na barra de cores.)
- b) *Safety Factor* (O fator de segurança mostra as áreas do modelo que podem falhar quando a carga é aplicada. Os contornos de cor correspondem aos valores definidos na barra de cores.)
- c) *Displacement* (Os resultados do deslocamento mostram a forma deformada do modelo após a solução. Os contornos de cor mostram a magnitude da deformação com respeito à forma original. Os contornos de cor correspondem aos valores definidos na barra de cores.)

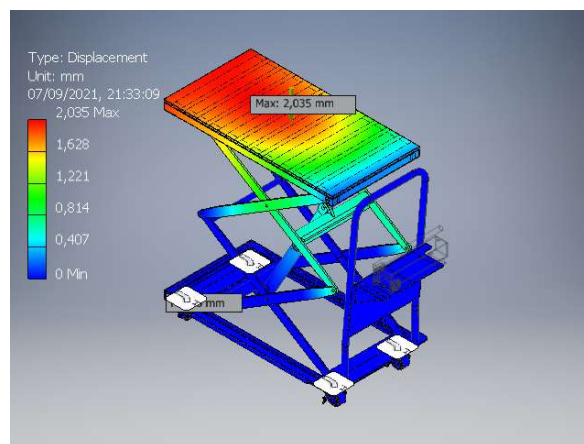


Figura 3 – Resultados análise de deslocamentos todos os componentes. Fonte: (Os autores)

## 2.10. Custos relacionados ao projeto

Para o projeto desenvolvido, coletamos os valores e quantidades de cada material comprado para estimar o valor gasto e demonstrar a viabilidade de projetar e construir o equipamento conforme as necessidades da empresa e nas dimensões exatas para a aplicação da mesma, além de coletarmos os dados das horas de utilização e a potência de cada máquina e equipamento utilizado para fabricar os componentes, calculando o gasto energético para a confecção, com isso consultamos o diretor industrial Sergio Ricardo Gallo da empresa “Expedibor Industrial de Peças Automotivas Ltda” para estimarmos o custo relacionado a hora homem gastas no protótipo com base o valor da hora do funcionário que produziu, com isso chegamos no valor de:

$$\text{Custo Total} = 5472,08 + 181,73 + 924,00 = R\$ 6577,81$$

Com base nos equipamentos pesquisados e no custo para fabricação o custo da realização da produção está próximo ao preço de aquisição de uma no mercado.

### 3. Resultado e discussão

De acordo com a análise de completa (todos os componentes) do equipamento, desenvolvida por meio do *software Autodesk Inventor 2019*, obtemos que a maior tensão presente nos componentes corresponde a 218,8 MPa ou seja 22,31 Kgf/mm<sup>2</sup> e o menor fator de segurança corresponde a 1,6 e temos que o maior deslocamento corresponde a 2,035 mm.

#### 3.3.1 Testes Físicos

Para os testes físicos do protótipo foram definidos 3 parâmetros a serem medidos, sendo eles, a capacidade de içamento de carga do equipamento, a velocidade de locomoção com a plataforma carregada em sua capacidade máxima recomendada e a velocidade de locomoção do equipamento com a ausência de carga.

##### Içamento de carga

Para o teste de carga do equipamento, foi adicionado a carga gradualmente, até atingir 10% a mais do que a carga considerada em nível de projeto máxima 440kg.

##### Locomoção com carga

Para os testes de locomoção com carga, foram feitas 10 medições de tempo para deslocar 30 metros em linha reta e em solo plano. A média dos tempos corresponde a 35,87s e a velocidade média corresponde a 0,8364 m/s.

##### Locomoção sem carga

Para o teste de movimento sem carga, foram utilizados os mesmos princípios do teste com carga e o mesmo espaço de 30 metros em linha reta e em solo plano. A média dos tempos corresponde a 28,03s, e a velocidade média corresponde a 1,0701 m/s.

#### 3.3.2 Análise Real Pós Projeto

Com a análise realizada, comparamos o gasto mensal antes do projeto com o gasto estimado após a aplicação do projeto.

$$\begin{aligned} & \text{Valor improdutivo}_{Total(PréProjeto)} - \text{Valor improdutivo}_{Total(PósProjeto)} \\ & = \text{Valor Economizado} \end{aligned}$$

$$R\$ 690,14 - R\$ 320,06 = R\$ 370,08$$

### 4. Conclusão

Utilizando os conceitos da engenharia de produto, o projeto melhora o sistema do modo que é produzido, agregando funcionalidade, reduzindo os custos e oferecendo maior qualidade aos envolvidos desse modo os objetivos impostos no início do trabalho referente a identificação de etapas desnecessárias ocasionando tempos improdutivos durante as atividades desenvolvidas no processo de produção, foram correspondente ao esperado sendo assim conseguimos corrigir as falhas, através da elaboração do desenvolvimento da plataforma pantográfica baseando-se na manufatura enxuta.

A produção da plataforma pantográfica customizada minimizou os impactos, organizando o setor sendo rentável economicamente já que o produto está em consonância com a dimensões da empresa esse alinhamento estruturou e alinhou uma maior produtividade já que utilizará 9caixas uma única vez trazendo uma maior eficiência.

Aplicamos as matérias impostas ao longo do nosso curso de engenharia de forma prática, identificamos e solucionamos problemas de usinagem, montagem e mecânicos através do FEA.

Projeto apresenta viés técnico e econômico como proposto, além da participação no congresso IX SiCEMat organizado pela Unifesp.

## 5. Referencias

1. ABNT. **NORMA NBR 8400**. Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. **Anais...**1984
2. BEER, F. P.; JOHNSTON JR, E. R. **Mecânica Vetorial para Engenheiros - cinematica e dinamica.pdf**. 5º edição ed. [s.l: s.n.].
3. CNI. Manufatura Enxuta na Indústria de Transformação Brasileira. **Sondagem Especial**, v. Ano 19, n. 71, p. 26, 2019a.
4. FIALHO, A. B. **Automação Hidráulica - Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. [s.l: s.n.].
5. GERDAU. **Resultados da pesquisa | Gerdau Website**. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/search?key=Aço+Carbono>>. Acesso em: 30 abr. 2021.
6. HIBBELER, R. C. **Resistência Materiais**. 7º ed. [s.l: s.n.].
7. OHNO, T. et al. Toyota Production System Beyond Large-Scale Production. p. 195, 1988a.
8. OHNO, T. et al. **Toyota Production System Beyond Large-Scale Production**. [s.l: s.n.].
9. SHIGLEY, J. E. **Elementos de máquinas**. 10º ed. [s.l: s.n.]
10. WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A máquina que mudou o mundo**, 2004a.
11. WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A máquina que mudou o mundo**. [s.l: s.n.].