

28, 29 e 30
de Outubro



XVI SENPEX

Inclusão e Diversidade Científica:
Democratizando o Conhecimento

DIMENSIONAMENTO DE UMA PLATAFORMA NIVELADORA DE DOCA EMBUTIDA

Engenharia e Tecnologia

**Alan Andrade Firmiano; Camila Machado de Oliveira; Dimas Ailton Rocha;
Fernando Arns Rampinelli; Josué Alberton; Rafael Duminelli da Luz¹; Solange
Vandresen**

¹Engenharia mecânica. Centro Universitário Barriga Verde (Unibave).
e-mail: rafaduminelli@gmail.com

Resumo: As plataformas niveladoras de doca embutida são equipamentos fundamentais nas operações de carga e descarga, proporcionando acesso seguro de empilhadeiras no fluxo logístico. O presente trabalho teve como objetivo geral o dimensionamento de uma plataforma niveladora, abrangendo como objetivos específicos a definição dos requisitos do projeto, a realização dos cálculos estruturais, o desenvolvimento do modelo em *software* CAD 3D e a análise por simulação em CAE. O método aplicado consistiu na execução de cálculos teóricos, validados por meio de simulações pelo método dos elementos finitos, possibilitando a verificação de desempenho e a identificação de melhorias. Os resultados indicaram que a viga U de 4 polegadas apresentou momento de inércia de $1,5352 \times 10^{-6} \text{ m}^4$ e tensão de 120 MPa, atendendo ao fator de segurança de 2,08. Já os eixos, avaliados em cisalhamento duplo sob carga de 7.357,5 N, registraram tensão de 7,5 MPa, com fator de segurança de 40, demonstrando confiabilidade estrutural.

Palavras-chave: estruturas mecânicas; plataforma niveladora; projeto de máquinas.

Introdução:

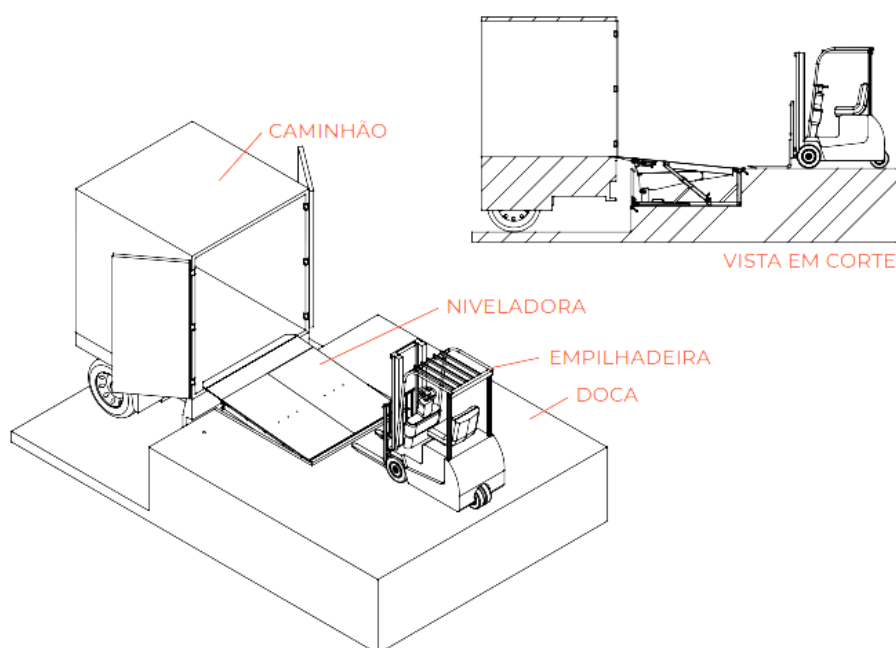
Para realizar cargas e descargas em grandes quantidades de insumos ou produtos em uma empresa, é necessário ter acesso direto ao caminhão. A movimentação eficiente dessas cargas exige o uso de empilhadeiras ou paleteiras,

que precisam de um acesso adequado ao veículo. Esse acesso deve ser suave, com inclinação mínima, para permitir a operação correta desses equipamentos.

Uma grande preocupação para as empresas que realizam processos de carga e descarga é a relação doca X carroceria do veículo. Muitas vezes existe uma grande diferença de altura entre um e outro, o que pode tornar todo o processo muito demorado e perigoso e, em muitos casos até mesmo inviável o carregamento/descarregamento (Kopron, 2020).

Uma solução para realizar essa integração e a compensação do desnível entre o veículo de carga e a doca, é a utilização de uma plataforma niveladora, demonstrado na Figura 1, que serve como ponte entre a doca de concreto e o veículo a ser carregado, permitindo transpor a lacuna existente. Exemplifica Lel plataformas (2021). As niveladoras de docas desempenham o papel crucial de conectar o armazém aos veículos, compensando de forma segura a diferença de altura entre os caminhões e o piso do prédio, permitindo o acesso direto de veículos industriais, como empilhadeiras, transpaletes e carrinhos.

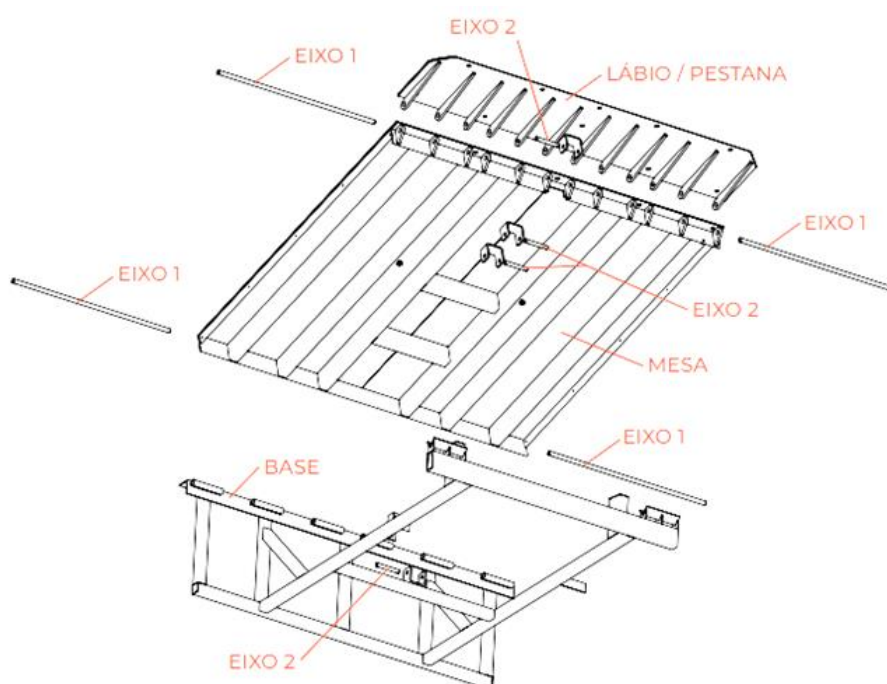
Figura 1 - Característica da plataforma niveladora de doca embutida.



Fonte: Tecnoportas, 2023.

O modelo de plataforma abordado neste trabalho é o embutido, devido à sua aplicação em uma câmara fria, onde é essencial garantir ótimas vedações para evitar a troca de calor com o ambiente externo. A vedação eficaz é crucial para a manutenção da temperatura interna. Outro fator primordial, a plataforma embutida possui uma estrutura mais robusta, como identificado na figura 2, permitindo suportar uma carga máxima maior, o que a torna ideal para operações logísticas que exigem alta capacidade de carga. Conforme aponta Assa Abloy (2017) A plataforma niveladora embutida possui um suporte robusto com lábios oscilantes, o que permite a absorção das forças de impacto e reduz os danos durante as operações de carga e descarga. Outra vantagem desse modelo é que em armazéns frigoríficos garantem alto isolamento e um excelente controle de temperatura.

Figura 2 - Estrutural da plataforma niveladora de doca embutida



Fonte: Tecnoportas, 2023.

Os esforços atuantes na plataforma niveladora de doca incluem o peso das máquinas transportadoras, como empilhadeiras e paleteiras, e o peso da carga transportada. Os cálculos serão realizados para determinar os esforços estáticos da plataforma. Além disso, serão calculados os esforços cortantes nos objetos submetidos a cisalhamento, e os resultados serão conferidos por meio de simulações

de elementos finitos. Essa abordagem visa assegurar a robustez, eficiência e viabilidade econômica da plataforma niveladora embutida, adequada para aplicações em câmaras frias. De acordo com estudo realizado por Almeida et al. (2022) no projeto de qualquer máquina ou estrutura é fundamental conhecer os esforços atuantes e, em consequência disto, assegurar que sua resistência seja maior que as tensões provenientes dos carregamentos ao qual está submetido.

Considerando-se que cada projeto oferece soluções únicas e, também, a falta de artigos específicos sobre o tema em estudo, justifica-se que o dimensionamento preciso de uma plataforma niveladora de doca embutida contribui diretamente para a otimização das operações logísticas, minimizando o tempo de carregamento e descarregamento, reduzindo o risco de danos aos produtos e acidentes de trabalho. Além disso, uma plataforma inadequadamente dimensionada pode resultar em custos adicionais de manutenção, desgaste prematuro do equipamento e redução da eficiência.

O objetivo geral do trabalho foi realizar o dimensionamento de uma plataforma niveladora de doca embutida. De acordo com Budynas e Nisbett (2011), o projeto começa com a identificação de uma necessidade e a realização das medidas necessárias para resolvê-la, visando atendê-la de forma mais eficiente possível. Por esse motivo, os objetivos específicos foram definir os requisitos do projeto; executar cálculos das forças; desenvolver o projeto estrutural em um *software* CAD 3D e realizar testes em um *software* CAE.

Procedimentos Metodológicos

A pesquisa tem como objetivo apresentar um processo descritivo e uma perspectiva bibliográfica detalhada, baseada em artigos científicos, revistas especializadas e livros de Fundamentos de Engenharia. Como descrito por Ferrer e Dias (2023), nos procedimentos metodológicos, a pesquisa teórica será detalhada como uma revisão bibliográfica, destacando-se pela sólida base referencial e pela fundamentação descritiva e quantitativa. Essa abordagem teórico-prática envolve uma análise detalhada da literatura existente, com um embasamento robusto que sustenta as afirmações do estudo e permite uma conexão efetiva com a realidade do tema abordado.

Os procedimentos metodológicos deste estudo envolvem a utilização de uma variedade de fundamentos e análises sobre métodos de projeto e dimensionamento

de máquinas como fontes de dados. buscando compreender a importância da aplicação desse conhecimento em diversas áreas da engenharia mecânica, possuindo uma abordagem quantitativa, com o propósito de realizar um estudo explicativo. O procedimento de coleta de dados inclui o uso de estudos de caso, permitindo uma análise detalhada e baseada em dados numéricos sobre o dimensionamento de máquinas.

A população alvo deste estudo abrange todos os ambientes industriais e logísticos que enfrentam desafios relacionados à carga e descarga de mercadorias, com foco em específico na melhoria do transporte de cargas entre doca e caminhão. Essa população é composta por centros de distribuição, armazéns industriais e outras instalações similares que necessitam de equipamentos para otimizar suas operações de movimentação de cargas.

Para a pesquisa deste artigo, as fontes de dados foram selecionadas a partir de livros e artigos que abordam temas diretamente relacionados ao dimensionamento, cálculos, escolha de materiais e simulações por *software*. As palavras-chave utilizadas na busca por informações incluíram: projeto de máquinas, resistência dos materiais, aço estrutural, CAD (*Computer Aided Design*) CAE (*Computer-Aided Engineering*), e análise por elementos finitos (FEA).

Na determinação do tamanho da plataforma niveladora de doca embutida, ponderando o vão aonde ela será instalada de 2.000 mm de comprimento, 2.000 mm de largura e 715 mm de altura, empregando tolerâncias e folgas, foram adotadas as seguintes dimensões: altura 715 mm, largura 1.970 mm e comprimento 1.985 mm.

Os requisitos de operação foram considerados com base na altura da carroceria de um caminhão, que varia de 1.100 mm a 1.600 mm, no peso de uma empilhadeira de 4.000 kg e na carga movimentada de 2.000 kg. A altura máxima de nivelamento é de 1.285 mm, e a mínima, de 405 mm, com capacidade de carga de 6.000 kg. A tensão máxima do A36, considerando o valor mínimo da norma (250 MPa), foi definido o fator de segurança superior a 1,5. Os materiais selecionados para a estrutura foram 8 vigas U de 4" em A36 e 8 eixos em AISI 1020, considerando sua maior resistência ao desgaste, com tensão máxima de escoamento de 300 MPa e diâmetro de 25 mm, e as chapas superiores da mesa e da pestana em chapa xadrez, com espessuras respectivas de 5 mm e 6,35 mm.

As simulações foram realizadas de forma a seguir as cargas estáticas consideradas nas equações, a fim de verificar os resultados encontrados, tendo em

vista que o projeto foi elaborado em um *software* 3D. Os pontos de apoio na viga foram considerados como fixos, a malha média e a força foram aplicadas verticalmente, conforme o diagrama de corpo livre. Na simulação da mesa completa, foram considerados os pontos de apoio nos locais da estrutura metálica onde serão fixos na doca e a força vertical distribuída por toda a mesa e a malha média.

Com o intuito de calcular a tensão de escoamento, deve-se aplicar os princípios da mecânica dos materiais, mais especificamente os conceitos de estática. De acordo com Hibbeler (2009), a mecânica dos materiais é o campo da mecânica que investiga os efeitos do estresse e da deformação em corpos sólidos, essencial para compreender a resistência dos materiais. A estática é fundamental para o desenvolvimento e aplicação dessa área, pois ela ajuda a entender como as cargas, que podem ser concentradas ou distribuídas, atuam sobre um corpo.

Nas partes que requerem vigas como estrutura, como a base, a mesa e a pestana, as equações a serem utilizadas são as de escalares de equilíbrio conforme apresentado na Equação 1. Como descrito por Hibbeler (2009) A soma de todas as forças (ΣF) e a soma dos momentos (ΣMO) em relação a um ponto O, dentro ou fora do corpo, são essenciais para determinar o equilíbrio de um sistema. O equilíbrio de forças evita o movimento linear ou acelerado do corpo, enquanto o equilíbrio de momentos previne a rotação.

$$\Sigma F_y = 0 \quad \Sigma F_x = 0 \quad \Sigma M_o = 0 \quad (1)$$

Onde:

ΣF_y é a somatória das forças na direção vertical (N)

ΣF_x é a somatória das forças na horizontal (N)

ΣM_o é a somatória dos momentos ($\frac{N}{m}$)

Na Equação 2, é possível correlacionar os seguintes elementos, conforme indicado por Beer et al. (2015). Onde I representa o momento de inércia da seção transversal em relação a um eixo centroidal perpendicular ao plano de aplicação do momento, o M é referente ao momento fletor e c é a distância máxima entre o centroidal e o ponto mais distante da seção.

$$\sigma_m = \frac{|M|c}{I} \quad (2)$$

Onde:

σ_m é a tensão máxima (Pa)

$|M|$ é o valor absoluto do momento fletor aplicado (N)

c é a distância do eixo neutro até a secção transversal externa (m)

I é o momento de inércia da secção transversal em relação ao eixo neutro (m^4)

Para realizar a análise da tensão máxima em uma peça, é essencial calcular o centroide da seção transversal, pois esse valor é fundamental para determinar a distribuição das tensões ao longo da estrutura, equações (3) e (4) são utilizadas para encontrar o centroide. Conforme Hibbeler (2009), o centroide de uma área é o ponto que define o centro geométrico dessa área. Para áreas com formas arbitrárias, as coordenadas x e y que localizam o centroide C são determinadas por meio de Equações específicas que levam em conta a distribuição da área em relação aos eixos de coordenadas.

$$\bar{x} = \frac{\int_A x dA}{\int_A dA} \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{\int_A y dA}{\int_A dA} \quad (4)$$

Onde:

$\bar{x}$ é o centroide da área no eixo x (m)

x é a posição em relação ao eixo x (m)

A é a área (m^2)

$\bar{y}$ é o centroide da área no eixo y (m)

y é a posição em relação ao eixo y (m)

Em equações geométricas compostas por outras formas mais simples, é possível facilitar o cálculo ao tratar cada subárea separadamente, somando suas contribuições para obter o resultado apresentado nas Equações (5) e (6).

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}A}{\sum A} \quad (5)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum \bar{y}A}{\sum A} \quad (6)$$

Onde:

$\bar{x}$ é a representação da distância do centroide x (m)

$\bar{y}$ é a representação da distância do centroide y (m)

A é a área (m^2)

Posteriormente o cálculo de momento de inércia deve ser feito, sendo esse parâmetro fundamental para determinar a resistência da peça à flexão, já que ele mede a distribuição da área em torno do centroide da seção transversal. Como aponta Hibbeler (2009), o momento de inércia de uma área em relação a um eixo centroide é conhecido, podemos determinar o momento de inércia dessa mesma área em relação a um eixo paralelo utilizando o teorema dos eixos paralelos, equações (7) e (8). Esse teorema permite ajustar o momento de inércia para um eixo deslocado, considerando a distância entre os eixos.

$$I_x = \bar{I}_{x'} + Ady^2 \quad (7)$$

$$I_y = \bar{I}_{y'} + Adx^2 \quad (8)$$

Onde:

I_x é o momento de inercia em relação ao eixo x (m^4)

$\bar{I}_{x'}$ é o momento de inercia em relação ao eixo central da secção x (m^4)

A é a área da secção (m^2)

dy é a distância do eixo central x (m)

I_y é o momento de inercia em relação ao eixo y (m^4)

$\bar{I}_{y'}$ é o momento de inercia em relação ao eixo central da secção y (m^4)

dx é a distância do eixo central y (m)

Para o dimensionamento adequado de um eixo, é fundamental analisar as forças cortantes que atuam sobre ele. Estas forças são cruciais porque determinam a tensão de cisalhamento. Segundo Beer et al. (2015), as tensões de cisalhamento são frequentemente encontradas em parafusos, pinos e rebites usados para conectar

diversos membros estruturais e componentes de máquinas. A tensão de cisalhamento média nessa seção é determinada utilizando a Equação (9), dividindo a força de cisalhamento $P=F$ pela área A da seção transversal do parafuso.

$$\tau_{ave} = \frac{P}{A} = \frac{F}{A} \quad (9)$$

Onde:

τ_{ave} é a tensão de cisalhamento média (MPa)

P é a força de cisalhamento (N)

F é a força aplicada (N)

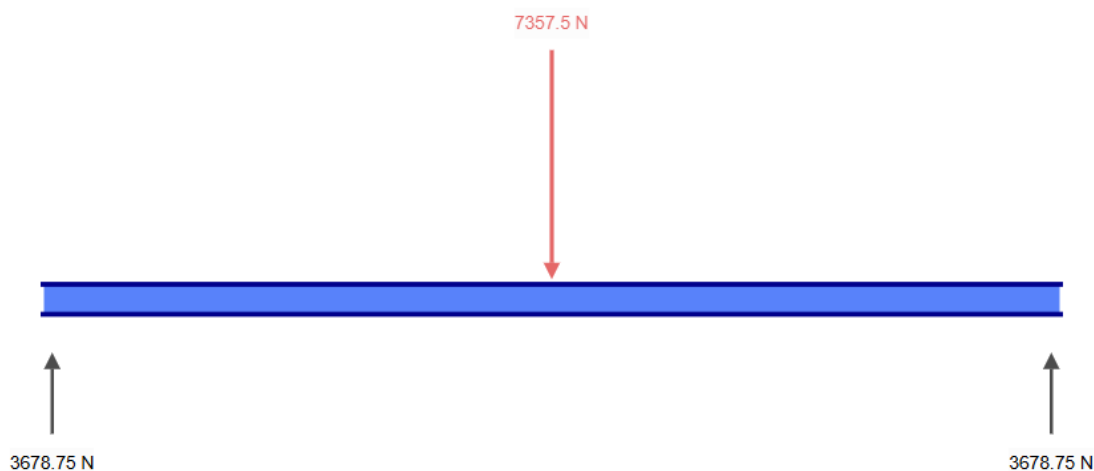
A é a área (m^2)

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos na pesquisa são apresentados a seguir, com foco no dimensionamento dos componentes da plataforma, por meio de cálculos, seguido da verificação dos resultados através de simulações em CAE.

Para dimensionar as vigas, componentes mais críticos do projeto, considera-se a tensão máxima de escoamento suportada pelo material, com o cálculo realizado pela Equação (1), onde foi considerado 7.357,5 N, resultante de 6.000 kg divididos entre 8 vigas e convertido para Newtons. A aplicação dessa Equação ocorreu por meio do diagrama de corpo livre, representado na Figura 3, considerando o pior caso: força aplicada no ponto mais distante dos dois apoios, com os esforços máximos no eixo y e a plataforma na posição horizontal.

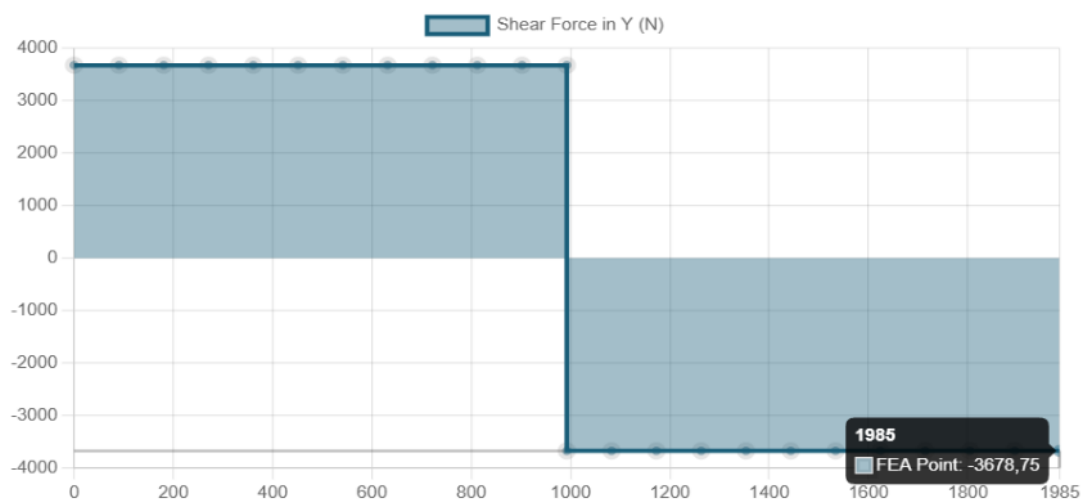
Figura 3 - Aplicação do diagrama de corpo livre



Fonte: Autores, 2025.

Em sequência, foi realizado o diagrama cortante (Figura 4) e o por fim o diagrama de momento fletor (Figura 5) resultando em um valor de 3,651 kN.

Figura 4 - Aplicação do diagrama de esforço cortante

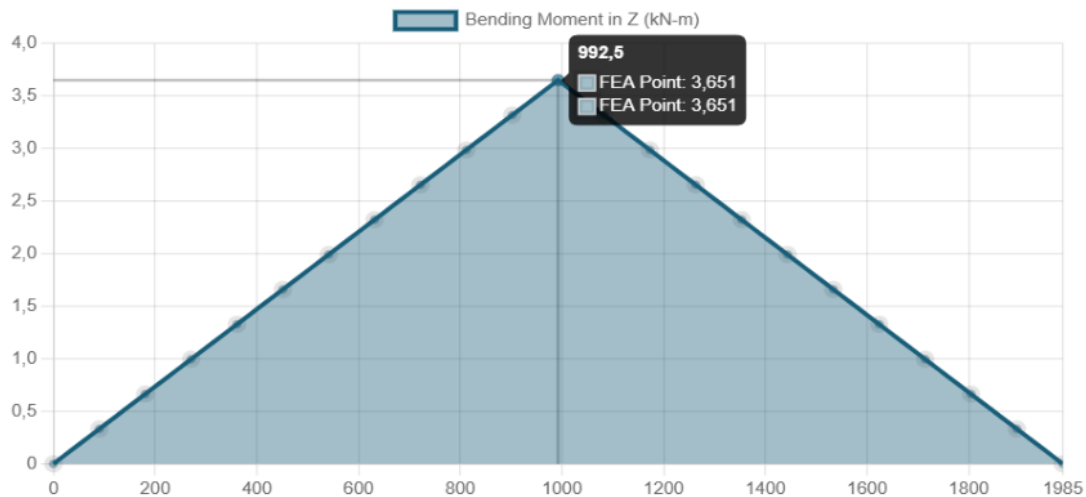


Fonte: Autores, 2025.

Seguindo com a carga máxima suportada pela viga, deve-se determinar o momento de inércia da viga U de 4 polegadas. Para isso, iniciou-se pelo cálculo do centroide. Por se tratar de formas geométricas de fácil decomposição, utilizam-se as Equações (5) e (6). Como não há esforços relevantes no eixo y, foram considerados

apenas os cálculos para o eixo x, onde foi obtido um centroide de 16,3280 mm. Em sequência, o momento de inércia foi calculado pela Equação, resultando em $1,5352 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$.

Figura 5 - Aplicação do diagrama de momento fletor



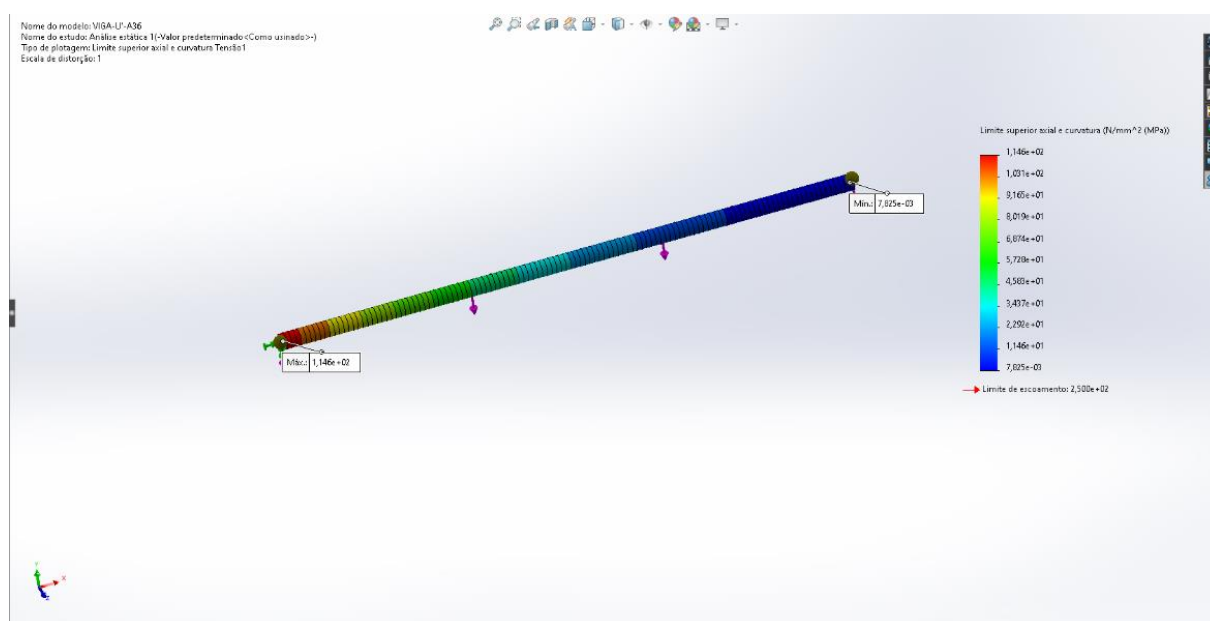
Fonte: Autores, 2025.

Com os dados completos na Equação (2), é possível converter a força exercida em tensão, resultando em um valor de 120 MPa. Verificando o fator de segurança com a Equação (9), identifica-se um fator de 2,08 o que cumpre o requisito estipulado.

O segundo componente mais crítico da plataforma são os eixos, que ligam a mesa à estrutura. Estes foram analisados pelas tensões de cisalhamento duplo, utilizando a Equação (9). A força considerada neste caso foi o pior cenário para o eixo, em que toda a carga da viga está suportada no eixo, ou seja, 7.357,5 N. Obteve-se como resultado 7,5 MPa, o que, considerando o fator de segurança na Equação (10), resulta em 40.

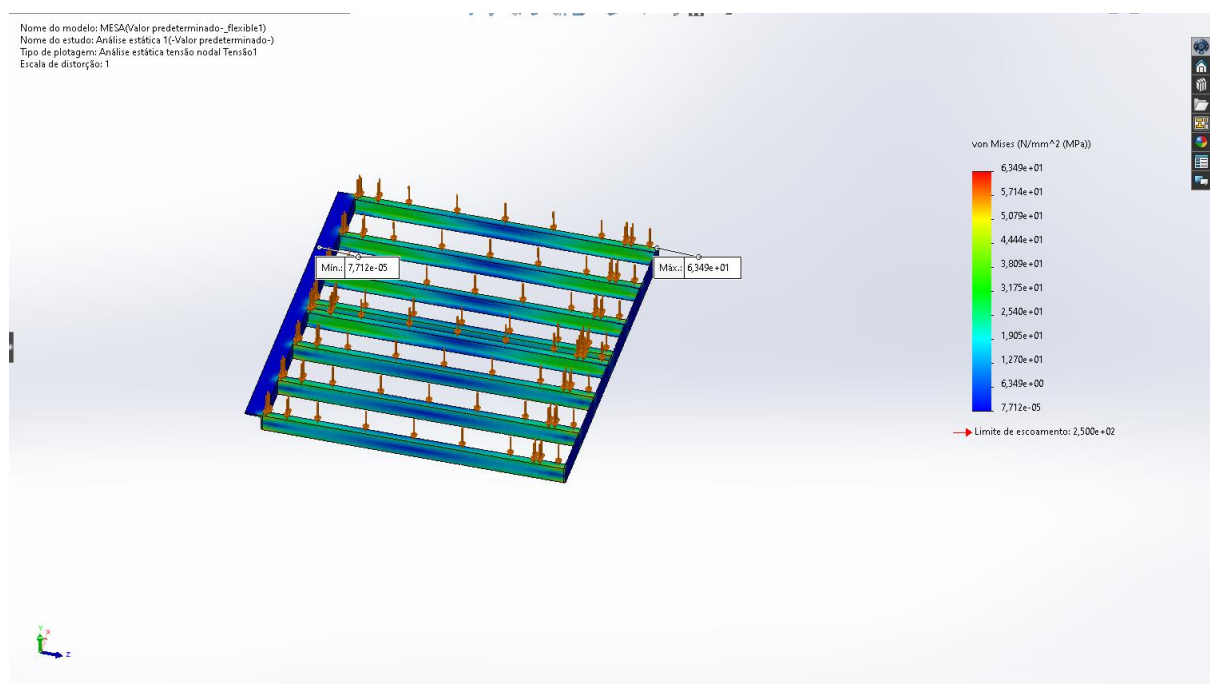
A fim de conferência dos resultados calculados, foram realizadas simulações por elementos finitos apenas na viga u e da mesa completa, pois o eixo apresentou um resultado muito superior. Os resultados encontrados em apenas uma viga U e na plataforma toda de tensão estão apresentados respectivamente nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 - Simulação por elementos finitos de uma viga única



Fonte: Autores, 2025.

Figura 7 - Simulação por elementos finitos da mesa completa



Fonte: Autores, 2025.

Na simulação da viga única, identificaram-se esforços máximos de 114 MPa nas extremidades dos pontos de apoio, onde se localizam os pontos críticos, sem, no entanto, atingir o limite de escoamento do material. Na simulação da mesa completa, considerando as conexões entre as vigas, os resultados foram semelhantes, mas com

uma tensão máxima consideravelmente menor que o anterior, de 63,49 MPa. Essa redução deve-se ao reforço estrutural proporcionado pelo apoio perpendicular das vigas, que integra toda a estrutura, indicando um possível coeficiente de segurança maior; contudo, outros métodos seriam necessários para confirmação.

Considerações Finais

O trabalho realizado cumpriu plenamente os objetivos propostos de dimensionar a estrutura de uma plataforma niveladora, definindo os requisitos de projeto, executando os cálculos das forças e desenvolvendo um modelo 3D para testes por elementos finitos.

Conclui-se que a análise da viga U de 4 polegadas e dos eixos da plataforma confirma a capacidade de ambos os componentes de suportarem as cargas máximas previstas com segurança. O cálculo do centroide e do momento de inércia da viga indicou uma tensão de 120 MPa, com um fator de segurança de 2,08, atendendo aos critérios estabelecidos para garantir a resistência da estrutura. Já os eixos, submetidos à análise de tensões de cisalhamento, demonstraram um desempenho robusto, com uma tensão de 7,5 MPa e um fator de segurança elevado, de 40, mesmo nas condições mais críticas. Dessa forma, a plataforma projetada se mostra confiável e segura para aplicações operacionais exigentes.

No dimensionamento das vigas, o leve superdimensionamento para cargas estáticas; embora aceitável foi necessário devido à natureza dinâmica das cargas e o ambiente sujeito à oxidação, o que requer um coeficiente de segurança maior. Em relação aos eixos, o superdimensionamento possibilitou a redução do diâmetro, mas, dado o baixo custo de fabricação comparado ao custo total, optou-se por manter o diâmetro e material.

A análise por elementos finitos forneceu dois resultados principais. A simulação da viga única apresentou resultados coerentes com os cálculos teóricos, confirmando a precisão dos valores obtidos. Na simulação da estrutura completa, houve uma redução de 44,68 % dos esforços, indicando a possibilidade de redimensionamento e sugerindo a viabilidade de estudos futuros com potencial para testes práticos e análises de alternativas construtivas.

Sendo este trabalho relevante para o dimensionamento de plataformas niveladoras de doca embutida, uma área bastante específica e com poucos estudos publicados, oferece uma base para futuros estudos de aperfeiçoamento, que poderão

fornecer resultados mais detalhados para avaliar a viabilidade de reduzir a estrutura ou mantê-la como está, priorizando um maior coeficiente de segurança.

Referências

ALMEIDA, Julio César de; LIMA, Key Fonseca de; BARBIERI, Renato. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS**: Projeto de sistemas mecânicos. 2. ed. [S. l.]: Editora Blucher, 2022.

ASSA ABLOY. **Different types of dock levellers**. [S. l.], 8 nov. 2017. Disponível em: <https://www.assaabloyentrance.com/global/en/stories/blogs/different-types-of-dock-levellers>. Acesso em: 28 ago. 2024.

BEER, Ferdinand P. et al. **Mechanics of Materials**. 7. ed. [S. l.: s. n.], 2015.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shingley**. 8. ed. rev. [S. l.]: MC GRAW HILL, 2011.

FERRER, Walkiria Martinez Heinrich; DIAS, Jefferson Aparecido. **MANUAL PRÁTICO DE METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA: NOÇÕES BÁSICAS**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://oficial.unimar.br/wp-content/uploads/2024/01/MANUAL-PRATICO-DE-METODOLOGIA-DA-PESQUISA-CIENTIFICA-NOCOES-BASICAS.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2024.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. rev. [S. l.]: British Library Cataloguing-in-Publication Data, 2009.

KOPRON. **Niveladoras de docas: Quais os tipos e seus benefícios?**. [S. l.], 9 dez. 2020. Disponível em: <https://www.kopron.com/pt-br/news-pt-br/niveladoras-de-docas-quais-os-tipos-e-seus-beneficios/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

LEL PLATAFORMAS. **Plataforma niveladora frontal**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.lelplataformasniveladoras.com.br/plataforma-niveladora-frontal>. Acesso em: 28 ago. 2024.

TECNOPORTAS. **MANUAL TÉCNICO NIVELADORA DE DOCA EMBUTIDA ELETRO-HIDRÁULICA**. 01. ed. rev. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://tecnoportas.com.br/wp-content/uploads/2023/11/NIV-EMBUTIDA-MANUAL-REV01-3.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2024.