



**REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA**  
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**DESENVOLVIMENTO DE ROLETE PARA ESTEIRA TRANSPORTADORA UTILIZANDO UHMW-CERAMP COMO SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS DE OXIDAÇÃO**

**DEVELOPMENT OF A CONVEYOR BELT ROLLER USING UHMW (CERAMP) AS A SOLUTION TO OXIDATION ISSUES**

Israel Dimas Marques<sup>1, i</sup>  
Leandro Cardoso da Silva<sup>2, ii</sup>  
Edgard Gonçalves Cardoso<sup>3, ii</sup>  
Lucas Almeida Willenshofer<sup>4, iv</sup>  
Manuel Patricio da Silva Bisneto<sup>5, v</sup>

Data de submissão: (27/05/2025) Data de aprovação: (03/10/2025)

**RESUMO**

Este artigo apresenta o desenvolvimento e análise de um rolete para esteiras transportadoras utilizadas em ambientes marítimos, como navios e portos, onde a exposição à maresia acelera o processo de corrosão em componentes metálicos. A proposta consistiu na substituição do conjunto tradicional em aço SAE 1020, que requer proteção contra oxidação, por um modelo fabricado em UHMW-CERAMP, um polímero de ultra-alto peso molecular aditivado com cerâmica. O estudo foi conduzido por meio de simulações estruturais e de fadiga no software SolidWorks (versão 2025), utilizando o método dos elementos finitos. As comparações entre os dois materiais consideraram como principais critérios o nível de tensão máxima, o coeficiente de segurança, a deformação resultante, a vida em fadiga, o peso do componente e a viabilidade de fabricação. As condições de contorno adotadas foram uma carga vertical de 500 N e um torque aplicado de 15 Nm no conjunto. Os resultados demonstraram que o rolete em UHMW-CERAMP apresenta desempenho estrutural satisfatório dentro dessas condições, além de vantagens em relação à redução de peso, simplificação do processo produtivo e eliminação de tratamentos anticorrosivos. Dessa forma, o UHMW-CERAMP se mostra uma

---

<sup>1</sup> Pós-graduado em Projetos Mecânicos Industriais no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás e Mestrando em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia na Universidade Presbiteriana Mackenzie. E-mail: [israeldimasmarques@gmail.com](mailto:israeldimasmarques@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor de Educação Superior no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: [leandro.cardoso@sp.senai.br](mailto:leandro.cardoso@sp.senai.br)

<sup>3</sup> Professor de Educação Superior no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: [edgard.cardoso@sp.senai.br](mailto:edgard.cardoso@sp.senai.br)

<sup>4</sup> Professor de Educação Superior no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: [luca.willenshofer@sp.senai.br](mailto:luca.willenshofer@sp.senai.br)

<sup>5</sup> Professor de Educação Superior no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: [manuel.bisneto@sp.senai.br](mailto:manuel.bisneto@sp.senai.br)

alternativa viável ao aço SAE 1020 para aplicações específicas em esteiras transportadoras sujeitas a ambientes marítimos agressivos.

**Palavras-chave:** UHMW-CERAMP; esteiras transportadoras; fadiga; elementos finitos; corrosão; materiais poliméricos.

## ABSTRACT

This article presents the development and analysis of a roller for conveyor belts used in maritime environments, such as ships and ports, where exposure to sea spray accelerates corrosion in metallic components. The proposal consisted of replacing the traditional assembly in SAE 1020 steel, which requires protection against oxidation, with a model manufactured in UHMW-CERAMP, an ultra-high molecular weight polyethylene reinforced with ceramic additives. The study was conducted through structural and fatigue simulations in SolidWorks (version 2025) using the finite element method. The comparison between the two materials considered as main criteria the maximum stress, safety factor, deformation, fatigue life, component weight, and manufacturing feasibility. The adopted boundary conditions were a vertical load of 500 N and an applied torque of 15 Nm on the assembly. The results showed that the UHMW-CERAMP roller presented satisfactory structural performance under these conditions, in addition to advantages such as weight reduction, simplified manufacturing, and the elimination of anticorrosive treatments. Therefore, UHMW-CERAMP proves to be a viable alternative to SAE 1020 steel for specific applications in conveyor belts operating in aggressive maritime environments.

**Keywords:** UHMW-CERAMP; conveyor belts; fatigue; finite element analysis; corrosion; polymeric materials.

## 1. INTRODUÇÃO

As esteiras transportadoras são amplamente empregadas para a movimentação contínua de materiais em setores como mineração, siderurgia, agroindústria e logística, compondo elementos essenciais da infraestrutura produtiva moderna (Correias mercúrio, 2024; Correias industriais, 2023).

Em ambientes marítimos e costeiros, a elevada umidade e a presença de névoa salina intensificam a corrosão atmosférica do aço, encurtando a vida útil de componentes metálicos expostos e aumentando os custos de manutenção. Revisões técnico-científicas mostram que a corrosão marinha de aços carbono é acelerada pela deposição de sais e pela formação de camadas de óxidos porosos, exigindo estratégias robustas de proteção e inspeção (Alcántara *et al.*, 2017).

No caso específico das esteiras, falhas em roletes e, sobretudo, em seus mancais, são causas frequentes de indisponibilidade, com modos de falha associados a abrasão, vedação deficiente, desalinhamento e corrosão. Estudos com análises de falhas em centenas de roletes indicam a necessidade de mitigação desses mecanismos para reduzir paradas não programadas (Vasić *et al.*, 2020). Em cenários industriais, a indisponibilidade decorrente de corrosão em componentes de transportadores pode acarretar perdas financeiras expressivas durante a parada do sistema (CDM Systems, 2018).

Como alternativa, a substituição de componentes metálicos por polímeros de engenharia tem sido investigada e aplicada, buscando maior durabilidade, redução de massa e de custos operacionais, com validação por simulações e análises numéricas (Bertagna *et al.*, 2024).

Entre os polímeros de engenharia, o polietileno de ultra-alto peso molecular (UHMW-PE) destaca-se por reunir elevada resistência ao impacto, baixo coeficiente de atrito, alta resistência ao desgaste, baixa absorção de umidade e boa resistência química, atributos desejáveis para roletes operando em ambientes agressivos (Celanese, 2015; Hussain, 2020).

Por fim, a substituição de metais por polímeros pode também contribuir para objetivos de sustentabilidade, desde que avaliada por ferramentas de Análise de Ciclo de Vida (ACV). Revisões sistemáticas e relatórios técnicos indicam que, em diversas aplicações, polímeros oferecem impactos ambientais competitivos frente a alternativas metálicas, sobretudo pela redução de massa ao longo do uso (Dolci *et al.*, 2024; Miller, 2022).

### **1.1 Problemas da pesquisa**

O desgaste precoce e a corrosão dos roletes metálicos em esteiras transportadoras instaladas em ambientes agressivos, como portos e indústrias químicas, geram a necessidade de substituição frequente dos componentes, impactando a eficiência operacional e aumentando custos.

### **1.2 Objetivos**

O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade da substituição dos roletes metálicos por um modelo fabricado em UHMW, analisando o comportamento mecânico, resistência ao desgaste e impactos econômicos da mudança. Para isso, foram realizadas simulações estruturais e de fadiga utilizando elementos finitos, além da comparação entre os modelos convencional e modificado.

### **1.3 Justificativa**

A substituição de componentes metálicos por polímeros de engenharia vem sendo amplamente estudada como alternativa para aumentar a durabilidade e reduzir custos operacionais. O UHMW se destaca como uma opção promissora devido à sua alta resistência ao impacto, baixo coeficiente de atrito e resistência química superior. Dessa forma, este estudo contribui para a melhoria do desempenho dos sistemas de transporte, prolongando a vida útil dos roletes e reduzindo impactos ambientais e financeiros.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Transporte contínuo e aplicação de roletes**

Os transportadores de correia são equipamentos amplamente utilizados para movimentação de materiais a granel, oferecendo elevada capacidade de transporte, confiabilidade e baixos custos operacionais quando comparados a outros sistemas de movimentação. Nesses sistemas, os roletes desempenham papel fundamental no suporte da

correia e da carga, sendo responsáveis pela redução do atrito e pela estabilidade do conjunto. A literatura aponta que falhas em roletes estão entre as principais causas de interrupções em linhas de produção, demandando substituições frequentes e aumentando os custos de manutenção (Vasić *et al.*, 2020).

## **2.2 Oxidação e corrosão em ambientes industriais**

A degradação de componentes metálicos por corrosão é um dos principais problemas enfrentados por setores industriais que operam em ambientes úmidos e salinos, como terminais portuários e indústrias marítimas. A corrosão atmosférica em ambientes marinhos é acelerada pela deposição de sais higroscópicos, que formam camadas de eletrólitos capazes de manter a superfície metálica constantemente úmida (Alcántara *et al.*, 2017). No caso do aço carbono, a presença de íons cloreto aumenta a taxa de corrosão ao quebrar camadas passivas, gerando produtos porosos e não protetores (Gentil, 2017). Devido a isso, a substituição de roletes corroídos representa parcela significativa dos custos de manutenção em transportadores portuários (Gentil, 2017).

## **2.3 Substituição de metais por polímeros**

A substituição de metais por polímeros de engenharia tem sido uma tendência crescente, motivada pela busca por maior durabilidade, redução de massa e custos de manutenção. Pesquisas mostram que materiais poliméricos oferecem vantagens adicionais, como resistência à corrosão, menor densidade e possibilidade de processamento em geometrias complexas (Ashby, 2016; Canevarolo Júnior, 2019). Estudos aplicados destacam casos de substituição bem-sucedida de componentes metálicos por polímeros em setores automotivo, aeronáutico e de equipamentos industriais (Bertagna *et al.*, 2024).

## **2.4 Vantagens dos polímeros na indústria**

Polímeros de engenharia apresentam propriedades que os tornam adequados para condições adversas, incluindo resistência ao desgaste, baixo coeficiente de atrito e boa estabilidade dimensional. Além disso, sua aplicação contribui para a redução de ruído, eficiência energética e aumento da vida útil dos equipamentos (Bracco *et al.*, 2017). Esses materiais também permitem uma abordagem mais sustentável, pois em muitos casos apresentam impacto ambiental competitivo em análises de ciclo de vida quando comparados a metais, principalmente em aplicações em que a redução de massa ao longo do ciclo operacional é significativa (Al Rashid *et al.*, 2023; Baltrocchi *et al.*, 2025).

## **2.5 Estudo sobre o Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular (UHMW-PE / PEUAPM) e suas aplicações**

O polietileno de ultra-alto peso molecular (UHMW-PE ou PEUAPM, na sigla em português) é um termoplástico da família dos poliolefinas caracterizado por seu altíssimo peso molecular, geralmente superior a 3 milhões g/mol. Sua estrutura química é formada pela repetição da unidade  $-CH_2-$ , típica do polietileno, mas com elevado comprimento de cadeia, o que confere propriedades diferenciadas (Canevarolo Júnior, 2019).

O UHMW-PE apresenta alta resistência ao impacto, baixo coeficiente de atrito, elevada resistência ao desgaste, baixa absorção de umidade e boa resistência química, sendo amplamente utilizado em aplicações sujeitas a abrasão e ambientes agressivos (Celanese, 2015; Hussain, 2020). Esses atributos justificam seu uso em roletes para esteiras transportadoras, especialmente em ambientes marítimos, onde a corrosão do aço é um problema recorrente.

Pesquisas recentes demonstram a aplicação do UHMW-PE em diferentes contextos industriais. Bracco (2017) destacam seu desempenho superior em aplicações tribológicas, enquanto estudos experimentais em transportadores de mineração mostraram maior durabilidade em comparação a roletes metálicos. Além disso, fabricantes têm investido em formulações de UHMW-PE com aditivos, como fibras e nanopartículas, para ampliar ainda mais sua resistência mecânica e térmica (Chang *et al.*, 2019; Cheng *et al.* 2019).

## **2.6 Simulação por Elementos Finitos (FEM)**

A simulação numérica por elementos finitos (FEM – *Finite Element Method*) tem se consolidado como ferramenta essencial para prever o comportamento de materiais e estruturas em condições reais de operação. No contexto de transportadores, a FEM é aplicada para avaliar tensões em roletes, correias e tambores, permitindo otimização do projeto antes da fabricação (Bathe, 2006). Estudos recentes mostram a utilização da FEM na análise de componentes poliméricos, confirmando sua eficácia na validação do desempenho de materiais como o UHMW-PE (Madhu *et al.*, 2020; Bertagna *et al.*, 2024). No presente estudo, a simulação por elementos finitos foi empregada para analisar as tensões no eixo e o comportamento do rolete de UHMW, substituindo o tradicional rolete metálico.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O desenvolvimento do novo rolete para esteiras transportadoras foi realizado em duas etapas principais: (i) análise comparativa de materiais candidatos e (ii) simulação numérica por elementos finitos (FEM) para validação estrutural do componente. Todas as modelagens tridimensionais e simulações foram conduzidas no SolidWorks 2025.

### **3.1 Seleção de materiais**

Foram avaliados quatro polímeros de engenharia como candidatos à substituição do aço no rolete: polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), poliamida (Nylon 6) e laminado fenólico (Celeron). Como material final de referência, considerou-se também o polietileno de ultra-alto peso molecular (UHMW-PE).

A escolha desses materiais considerou critérios de disponibilidade comercial, propriedades mecânicas, resistência ao desgaste, estabilidade dimensional e comportamento frente à umidade e agentes químicos. Os dados técnicos foram obtidos de catálogos de fornecedores como Nitaplast (2024), Ensinger (2024) e Daybrasil/CERAMP (2024).

**Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas dos materiais avaliados.**

| Material | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Resistência à tração (MPa) | Módulo de elasticidade (GPa) | Absorção de água (%) | Resistência ao impacto (kJ/m <sup>2</sup> ) | Coefficiente de atrito |
|----------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|------------------------|
| PEAD     | 0,95                           | 26                         | 0,8                          | 0,01 – 0,02          | 100 – 150                                   | 0,20 – 0,25            |
| PP       | 0,91                           | 30 – 35                    | 1,2 – 1,5                    | < 0,01               | 25 – 50                                     | 0,25 – 0,30            |
| Nylon 6  | 1,13                           | 70 – 90                    | 2,5 – 3,0                    | 2 – 3                | 60 – 80                                     | 0,25 – 0,35            |
| Celeron  | 1,35 – 1,40                    | 80 – 100                   | 8 – 12                       | 1 – 2                | 20 – 30                                     | 0,35 – 0,40            |
| UHMW-PE  | 0,93                           | 20 – 25                    | 0,8                          | < 0,01               | > 200                                       | 0,10 – 0,15            |

Fonte: adaptado de Nitaplast (2024), Ensinger (2024), Daybrasil (2024).

A Tabela 1 sintetiza as propriedades dos materiais considerados (PEAD, PP, Nylon 6, Celeron e UHMW-PE/CERAMP), incluindo densidade, resistência à tração, módulo de elasticidade, absorção de água, resistência ao impacto e coeficiente de atrito. Os valores foram compilados a partir de catálogos de fornecedores (Nitaplast, Ensinger, Daybrasil) e padronizados para uso nas simulações; a tabela serve de base para justificar a seleção do UHMW-CERAMP como candidato ao ensaio comparativo. Cabe destacar que, na ausência de normas específicas para o dimensionamento de roletes poliméricos, estabeleceu-se como referência comparativa o rolete tradicional em aço SAE 1020, avaliado sob as mesmas condições de contorno aplicadas ao UHMW-CERAMP. Essa abordagem garantiu a consistência dos resultados e permitiu aferir a viabilidade da substituição proposta.

Observações de campo indicaram que a maresia afeta principalmente a superfície externa do tubo metálico, que permanece em contato direto com o ambiente salino. Embora o eixo também esteja sujeito à corrosão, sua proteção por mancais e vedações retarda esse processo. Assim, o foco da análise recaiu sobre o tubo do rolete, componente mais exposto e crítico em termos de durabilidade.

### 3.1.1 Comparação de propriedades

As propriedades obtidas foram analisadas em relação às exigências operacionais do rolete, especialmente quanto a:

- Resistência à tração;
- Módulo de elasticidade;
- Resistência ao impacto;
- Absorção de água;
- Coeficiente de atrito;
- Densidade;
- Resistência ao desgaste.

A Tabela 2 confronta as propriedades dos materiais com os requisitos operacionais do rolete (por exemplo: baixa absorção de água, alta resistência ao impacto e baixo coeficiente de atrito). Nela é possível identificar rapidamente quais materiais atendem melhor cada critério e porque o UHMW-CERAMP foi selecionado: destaque para comportamento tribológico, resistência ao desgaste e disponibilidade na forma tubular, que reduz necessidade de usinagem.

**Tabela 2 – Comparação resumida das propriedades dos materiais candidatos.**

| Propriedade                 | Requisito para aplicação | Melhor desempenho |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| Densidade baixa             | $< 1,0 \text{ g/cm}^3$   | PEAD, PP, UHMW    |
| Resistência à tração        | $\geq 25 \text{ MPa}$    | Nylon, Celeron    |
| Baixa absorção de água      | $< 0,05 \%$              | PEAD, PP, UHMW    |
| Alta resistência ao impacto | $> 100 \text{ kJ/m}^2$   | UHMW              |
| Baixo coeficiente de atrito | $< 0,20$                 | UHMW              |
| Resistência ao desgaste     | Alta                     | UHMW, Celeron     |

Fonte: adaptado de Nitaplast (2024), Ensinger (2024), Daybrasil (2024).

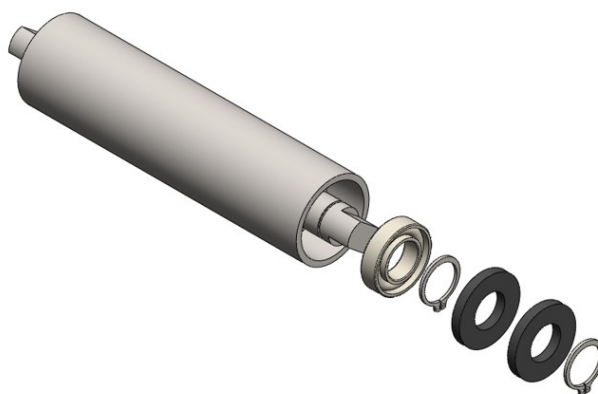
A análise indicou que o UHMW-PE apresentou desempenho superior nos critérios mais relevantes para a aplicação, notadamente baixa absorção de água, elevada resistência ao impacto e baixo coeficiente de atrito, justificando sua seleção como material final do rolete.

### 3.2 Modelagem CAD

O rolete foi modelado em ambiente CAD no SolidWorks 2025, considerando sua geometria real, incluindo tubo, eixo, rolamentos, anéis elásticos e tampas de vedação. A modelagem permitiu a definição precisa das dimensões e pontos de aplicação das cargas.

A Figura 1 apresenta o modelo tridimensional (CAD) do rolete em aço SAE 1020 utilizado como referência para a comparação. A vista evidencia a geometria do tubo, o eixo, os alojamentos para rolamentos e as vedações, permitindo visualizar as interfaces geométricas que foram alvo de análise por elementos finitos. Esse modelo serve como base para as simulações de comportamento estrutural e fadiga sob as condições de contorno adotadas (carga vertical de 500 N e torque de 50 Nm), e facilita a identificação das zonas potenciais de concentração de tensão associadas ao projeto original.

**Figura 1 – Modelo CAD do rolete desenvolvido no SolidWorks 2025.**



Fonte: Elaborada pelo autor.



### 3.3 Simulação por elementos finitos

A análise estrutural foi conduzida no módulo SolidWorks Simulation 2025, adotando o método dos elementos finitos (FEM). O objetivo foi verificar a resistência do rolete sob as condições de carregamento típicas de operação. As condições de contorno incluíram:

- Fixação dos mancais nos pontos de apoio do eixo;
- Aplicação de uma carga vertical de 500 N, representando o peso da carga transportada;
- Aplicação de um torque de 50 Nm na interface entre o eixo e o tambor;
- Conexão entre eixo e tubo definida como um rolamento.

A Tabela 3 reúne as condições de contorno adotadas em todas as simulações (software: SolidWorks 2025; tipo de análise: estrutural estática e fadiga; malha: tetraédrica de segunda ordem, refinada em zonas críticas; fixações: mancais nas extremidades do eixo; carga vertical: 500 N; torque: 50 Nm no caso do aço SAE 1020 e 15 Nm no caso do UHMW-CERAMP; conexão eixo-tubo: rolamento). A tabela também indica os critérios de avaliação (tensão von Mises, deslocamentos, fator de segurança e análise de fadiga) e as fontes de dados materiais.

**Tabela 3 – Condições de contorno e parâmetros de simulação**

| Condição/Parâmetro     | Valor/Descrição (Aço SAE 1020)                               | Valor/Descrição (UHMW-CERAMP)                                |
|------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Software               | SolidWorks Simulation 2025                                   | SolidWorks Simulation 2025                                   |
| Tipo de análise        | Estrutural estática                                          | Estrutural estática                                          |
| Malha                  | Tetraédrica de segunda ordem, malha fina                     | Tetraédrica de segunda ordem, malha fina                     |
| Fixações               | Mancais fixados nas extremidades do eixo                     | Mancais fixados nas extremidades do eixo                     |
| Carga aplicada         | Força vertical de 500 N                                      | Força vertical de 500 N                                      |
| Torque aplicado        | 50 Nm na interface eixo-tambor                               | 15 Nm na interface eixo-tambor                               |
| Conexão eixo-tubo      | Definida como rolamento                                      | Definida como rolamento                                      |
| Critérios de avaliação | Tensões von Mises, deslocamentos, fator de segurança, fadiga | Tensões von Mises, deslocamentos, fator de segurança, fadiga |

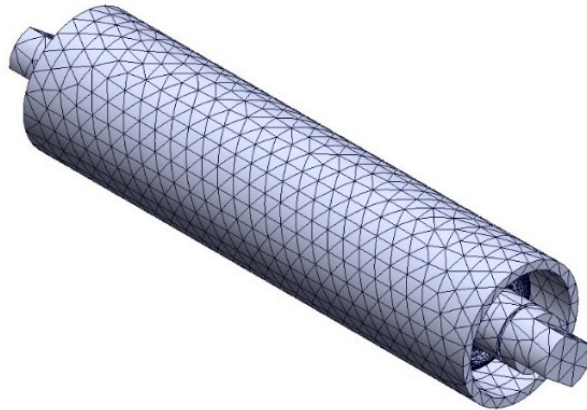
Fonte: Elaborada pelo autor.

O valor de 500 N adotado para a carga vertical representa o peso médio transferido por rolete em aplicações típicas de esteiras transportadoras em portos e navios, de acordo com dados operacionais fornecidos por fabricantes e literatura técnica (Souza; Pereira, 2020). Embora valores superiores possam ocorrer em situações de sobrecarga, este parâmetro foi considerado representativo para validar a proposta de substituição do material. O torque aplicado (15 Nm no UHMW e 50 Nm no aço) foi definido em função das condições de atrito observadas em campo, considerando a autolubrificação característica do UHMW-CERAMP.

A Figura 2 mostra a malha de elementos finitos aplicada ao modelo (tetraédrica de segunda ordem, malha fina), com refinamento localizado nas regiões críticas — especialmente na interface entre eixo e tubo e nos raios/fillets. A visualização da malha esclarece a estratégia de discretização adotada para capturar gradientes de tensão elevados e garante que as regiões de interesse tenham densidade de elementos suficientes para resultados convergentes, sem a necessidade de reportar o número absoluto de elementos/nós.



**Figura 2 – Malha de elementos finitos aplicada ao rolete**



Fonte: Elaborada pelo autor.

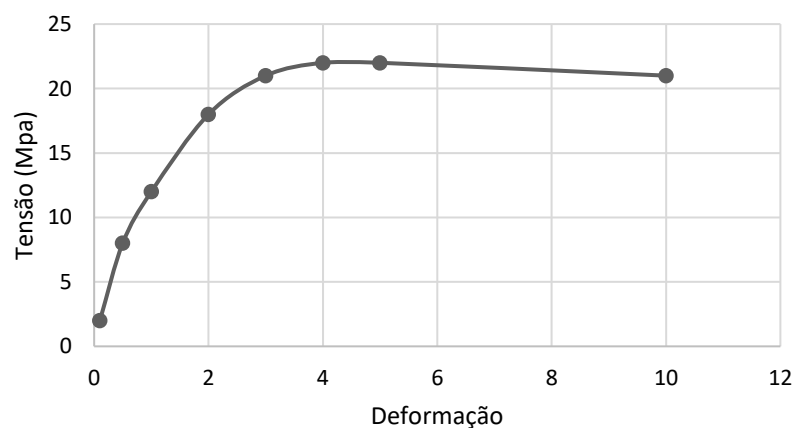
### 3.4 Critérios de avaliação

Os resultados foram analisados com base nos seguintes critérios:

- Distribuição de tensões equivalentes (von Mises);
- Deslocamentos máximos do tubo e do eixo;
- Fator de segurança em relação ao limite de escoamento do UHMW-PE;
- Avaliação preliminar da resistência à fadiga sob carregamento repetitivo.

A Figura 3 apresenta a curva tensão-deformação típica do UHMW-PE, utilizada como referência para comparação dos resultados obtidos na simulação. Essa curva auxilia na interpretação dos limites de escoamento e da capacidade de deformação do material, permitindo relacionar diretamente os valores simulados de tensão e deformação com o comportamento real do polímero em ensaios padronizados (ASTM D-638, 2023).

**Figura 3 – Curva tensão-deformação típica do UHMW-PE**



Fonte: adaptado de Daybrasil (2024).

O artigo de Mascarenhas *et al.* (2004) sugere, de modo geral, a adoção de um fator de segurança em torno de 1,5 para componentes plásticos submetidos a carregamentos estáticos. Esse valor é frequentemente utilizado como referência em projetos que envolvem

materiais poliméricos, servindo como parâmetro de comparação para análises estruturais e de fadiga. Dessa forma, o estudo considerou tal recomendação como base para a avaliação do desempenho do UHMW-CERAMP no desenvolvimento do novo rolete.

### 3.5 Procedimento de validação

Os resultados das simulações foram comparados com dados fornecidos por fornecedores de UHMW-PE (Daybrasil, Ensinger) e informações disponíveis na literatura (Hussain, 2020; Chang, 2019). Essa abordagem garantiu a consistência entre os parâmetros de entrada e os valores obtidos, validando o uso do UHMW-PE como substituto do aço no rolete.

Por fim, estabeleceu-se que os resultados seriam analisados de forma comparativa entre o rolete convencional em aço SAE 1020 e o modelo em UHMW-CERAMP. Os principais critérios adotados foram: tensões equivalentes (von Mises), deslocamentos máximos, coeficiente de segurança, resistência à fadiga, peso da peça e viabilidade de fabricação. Essa definição metodológica antecipou a análise realizada na seção de Resultados e Discussão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Simulação do rolete em aço SAE 1020

Antes de avaliar a substituição por polímero, foi realizada a simulação do rolete no material original, o aço SAE 1020. A escolha desse material histórico se deve à sua ampla utilização em aplicações estruturais e boa disponibilidade comercial. Para efeito de comparação, a Tabela 4 apresenta as propriedades mecânicas do aço 1020 utilizadas na simulação.

**Tabela 4 – Propriedades mecânicas do aço SAE 1020 utilizado na simulação.**

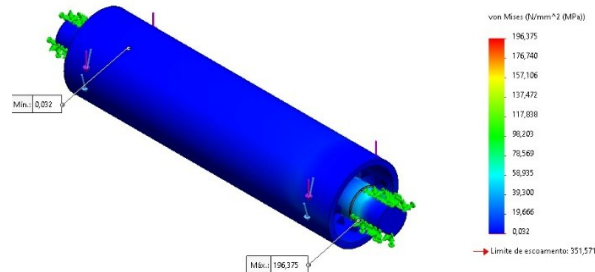
| Propriedade                      | Valor                | Unidade                 |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Módulo elástico                  | 200.000              | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Coefficiente de Poisson          | 0,29                 | -                       |
| Módulo de cisalhamento           | 77.000               | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Massa específica                 | 7,9                  | g/cm <sup>3</sup>       |
| Resistência à tração             | 420,57               | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Resistência à compressão         | -                    | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Limite de escoamento             | 351,57               | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Coefficiente de expansão térmica | $1,5 \times 10^{-5}$ | 1/K                     |
| Condutividade térmica            | 47                   | W/(m·K)                 |
| Calor específico                 | 420                  | J/(kg·K)                |
| Coefficiente de amortecimento    | N/A                  | -                       |

Fonte: SolidWorks – Propriedades do material para Aço SAE 1020.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros específicos do aço SAE 1020 extraídos do banco de materiais do SolidWorks (densidade, módulo de elasticidade, limite de escoamento de 351 MPa, resistência à tração, alongamento etc.). Esses dados são a referência que permite calcular tensões, fatores de segurança e comparar comportamento estático e cíclico entre aço e polímero.

Com base nessas propriedades, o modelo do rolete foi submetido a uma carga vertical de 500 N e a um torque de 50 Nm. O resultado da análise de tensões pode ser visto na Figura 4, que evidencia a distribuição de von Mises no conjunto.

**Figura 4 – Simulação de tensão do conjunto em aço SAE 1020 sob os esforços durante a operação.**



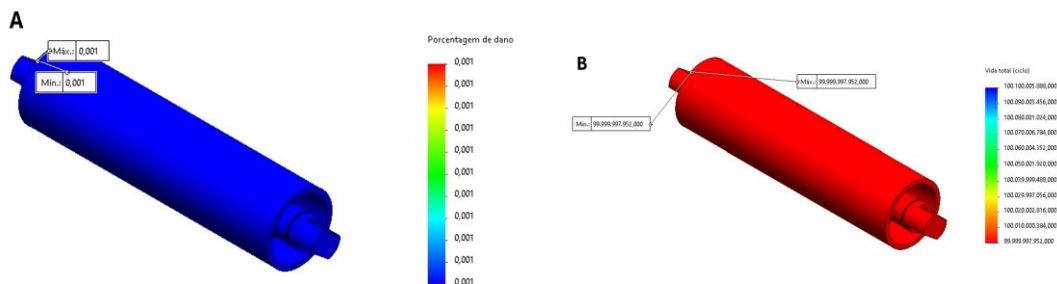
Fonte: Elaborada pelo autor via SolidWorks Simulation 2025.

A Figura 4 apresenta o mapa de tensões de von Mises resultante da simulação do rolete em aço SAE 1020, submetido a 500 N (vertical) e 50 Nm (torque). Neste mapa é possível identificar o pico de tensão máximo (196,375 MPa) próximo à interface eixo-tubo e em regiões de transição geométrica. A interpretação desta figura permite avaliar onde ocorrem concentrações de esforço que, apesar de estarem abaixo do limite de escoamento do material (351 MPa), podem ser criticamente afetadas por degradação ambiental (maresia) e por processos de fadiga.

A simulação revelou uma tensão máxima de 196,375 MPa, inferior ao limite de escoamento do material (351 MPa), resultando em um coeficiente de segurança de 1,8. Embora estruturalmente viável, observações de campo demonstraram que os roletes metálicos apresentavam vida útil reduzida devido à maresia presente em ambientes de navios e portos, fator que acelerava a corrosão e comprometia o desempenho real.

A análise de fadiga foi conduzida em sequência. A Figura 5 apresenta o dano acumulado e a vida estimada sob carregamento cíclico.

**Figura 5 – Análise de fadiga do rolete em aço SAE 1020. A) Dano acumulado ao longo de  $10^6$  ciclos. B) A vida total do conjunto verificada através da análise de fadiga.**



Fonte: Elaborada pelo autor via software SolidWorks Simulation 2025.

A Figura 5 reúne os resultados da análise de fadiga para o rolete em aço SAE 1020. Em (A) observa-se o mapa de dano acumulado após aplicação de cargas cíclicas (até  $10^6$  ciclos), destacando pontos com maior propensão à nucleação de falhas; em (B) é apresentada a estimativa de vida do conjunto em diferentes regiões. Esses resultados evidenciam que, mesmo com elevada resistência estática, a combinação de concentrações de tensão e efeitos ambientais pode reduzir a vida útil prática do componente.

Os resultados indicaram que, na ausência de corrosão, a vida útil do aço seria elevada, com previsão de resistência a milhões de ciclos. Contudo, na prática, o efeito da maresia reduz drasticamente esse desempenho.

#### 4.2 Simulação do rolete em UHMW-CERAMP

Com base nas limitações observadas no aço, foi desenvolvido um novo modelo em UHMW-CERAMP, cuja principal vantagem é a resistência à abrasão, ao impacto e à corrosão. A Tabela 5 apresenta as propriedades do material utilizadas na simulação, obtidas a partir da norma ASTM D-638.

**Tabela 5 – Propriedades mecânicas do UHMW-CERAMP utilizado na simulação**

| Propriedade                     | Valor  | Unidade                 |
|---------------------------------|--------|-------------------------|
| Módulo elástico                 | 600    | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Coeficiente de Poisson          | 0,33   | -                       |
| Módulo de cisalhamento          | 318,9  | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Massa específica                | 930    | kg/m <sup>3</sup>       |
| Resistência à tração            | 40     | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Resistência à compressão        | 40     | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Limite de escoamento            | 30     | N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
| Coeficiente de expansão térmica | -      | 1/K                     |
| Condutividade térmica           | 0,2256 | W/(m·K)                 |
| Calor específico                | 1840   | J/(kg·K)                |
| Coeficiente de amortecimento    | N/A    | -                       |

Fonte: ASTM D-638 (2023).

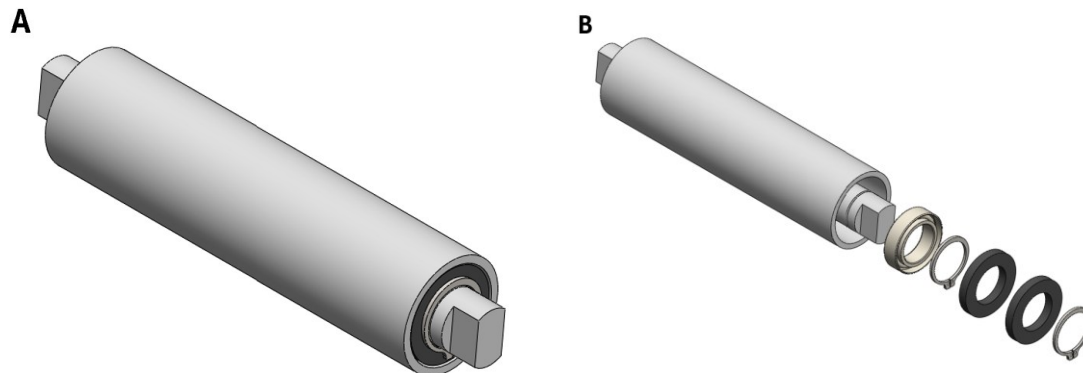
A Tabela 5 lista as propriedades adotadas para o UHMW-CERAMP (densidade  $\approx 0,93$  g/cm<sup>3</sup>; módulo de elasticidade e resistência à tração compatíveis com catálogos Daybrasil e normas ASTM; limite de escoamento do material aditivado  $\approx 30$  MPa). Esses valores, obtidos a partir do catálogo do fabricante e da norma ASTM D-638, foram empregados nas simulações e nas verificações de fator de segurança e vida em fadiga.

Diante dos problemas encontrados no rolete metálico, foi realizada a substituição do tubo de aço pelo UHMW-CERAMP, uma versão aditivada do UHMW convencional, que possui limite de escoamento de 30 MPa, superior ao do UHMW puro (20 MPa).

Durante a validação inicial, observou-se que o eixo com diâmetro de 25 mm apresentava concentrações de tensão elevadas na interface com o tubo. Essa condição poderia comprometer a vida útil do conjunto, mesmo com o uso do UHMW-CERAMP. Para mitigar o problema, o diâmetro do eixo foi aumentado para 30 mm, o que reduziu significativamente os picos de tensão e garantiu maior segurança estrutural. Esse ajuste exigiu a adequação de rolamentos, retentores e anéis elásticos, assegurando compatibilidade dimensional.

A Figura 6 apresenta o rolete redesenhado em UHMW-CERAMP: em (A) a geometria adaptada do tubo e do conjunto eixo/rolamentos e, em (B), a vista explodida que evidencia as modificações realizadas (aumento do diâmetro do eixo de 25 mm para 30 mm, adaptação de rolamentos, retentores e anéis elásticos). Essa figura contextualiza as mudanças implementadas para reduzir concentrações de tensão e assegurar a compatibilidade dos componentes auxiliares com a nova geometria.

**Figura 6 – A) Rolete remodelado em UHMW-CERAMP para a nova simulação. B) Vista explodida com os componentes modificados**

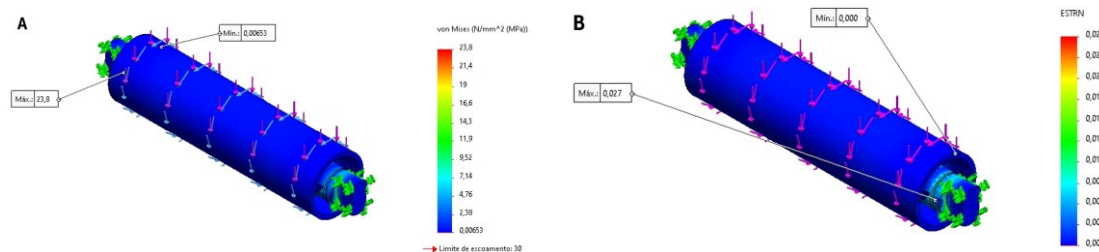


Fonte: Elaborada pelo autor via software SolidWorks Simulation 2025.

Essa alteração exigiu também a adequação de componentes como rolamentos, retentores e anéis elásticos, garantindo a compatibilidade dimensional do conjunto. As novas simulações confirmaram que essas mudanças proporcionaram maior segurança estrutural, mantendo tensões dentro do limite do material e assegurando o desempenho adequado da esteira.

A simulação foi realizada mantendo a carga vertical de 500 N, mas com o torque reduzido para 15 Nm, em virtude da característica autolubrificante do material. A distribuição de tensões e deformações pode ser observada na Figura 7.

**Figura 7 – A) Simulação de tensão no conjunto em UHMW-CERAMP. B) Deformação correspondente no tubo.**



Fonte: Elaborada pelo autor via software SolidWorks Simulation 2025.

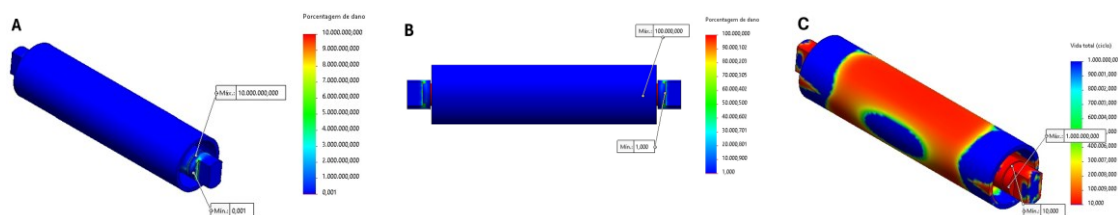
A Figura 7 mostra os resultados da simulação para o rolete em UHMW-CERAMP, submetido à mesma carga vertical de 500 N, porém com torque reduzido para 15 Nm (considerando a natureza autolubrificante do polímero). Em (A) está o mapa de tensões von Mises (tensão máxima = 23,8 MPa) e em (B) a distribuição de deformação (valor máximo localizado = 0,027). A comparação com o caso em aço evidencia uma distribuição de tensões mais homogênea e picos de menor magnitude, enquanto a deformação é maior, porém ainda compatível com a integridade funcional do conjunto nas condições estudadas. Ressalta-se que as figuras de simulação apresentam diferenças visuais na representação dos vetores de força. Essa diferença decorre, em parte, do ajuste do torque aplicado (50 Nm no aço e 15 Nm no UHMW), mas também do fato de que no modelo em polímero a carga foi distribuída de forma distinta e o conjunto passou por modificações geométricas, como o aumento do diâmetro do eixo e a adaptação de componentes. Apesar da variação gráfica, as condições de carregamento foram equivalentes no que se refere à carga vertical de 500 N, o que assegura a comparabilidade direta entre os dois modelos.

Os resultados indicaram uma tensão máxima de 23,8 MPa, resultando em um coeficiente de segurança de 1,3. A deformação máxima observada foi de 0,027, localizada em regiões específicas, sem comprometer a integridade estrutural do conjunto. A análise do novo rolete em UHMW-CERAMP mostrou desempenho satisfatório frente aos critérios estabelecidos. A tensão máxima permaneceu abaixo do limite de escoamento e a deformação, embora superior à observada no aço, não comprometeu a integridade estrutural do conjunto. O fator de segurança de 1,3, apesar de ligeiramente inferior ao valor de 1,5 indicado em literatura para plásticos (Mascarenhas *et al.*, 2004), demonstra que o material pode ser aplicado de forma segura, desde que respeitadas as condições de operação e limites de carga. Além disso, a redução significativa de peso e a resistência à maresia reforçam as vantagens do polímero em relação ao aço, destacando o potencial de otimização do projeto em futuros desenvolvimentos.

A análise das tensões de von Mises permite avaliar a distribuição de esforços no conjunto. No caso do rolete em aço SAE 1020, a máxima tensão encontrada foi de 196,375 MPa, valor compatível com a alta resistência do material, mas que gera concentração em regiões críticas próximas ao eixo. Já no rolete em UHMW-CERAMP, a tensão máxima foi de 23,8 MPa, próxima ao limite do material, mas distribuída de forma mais homogênea ao longo do tubo. Essa diferença demonstra que, enquanto o aço suporta maiores cargas absolutas, o polímero apresenta comportamento estrutural seguro dentro das condições de contorno estabelecidas.

Na sequência, foi realizada a análise de fadiga. A Figura 8 apresenta os resultados obtidos, destacando o dano acumulado, os pontos críticos de concentração de tensão e a vida útil estimada.

**Figura 8 – A) Dano acumulado no rolete de UHMW após  $10^6$  ciclos. B) Principais pontos de concentração de tensão no eixo a serem otimizados futuramente. C) Vida útil estimada do conjunto, alguns pontos chegam a  $10^6$  ciclos, porém a maioria fica abaixo dessa faixa**



Fonte: Elaborada pelo autor via software SolidWorks Simulation 2025.

A Figura 8 apresenta a análise de fadiga do conjunto em UHMW-CERAMP. Em (A) observa-se o dano acumulado após  $10^6$  ciclos; em (B) são destacados os pontos com maiores concentrações de tensão no eixo (sugestões de otimização geométrica são indicadas); em (C) a estimativa de vida em número de ciclos, mostrando que embora alguns pontos atinjam  $10^6$  ciclos, a maioria atinge valores inferiores, o que aponta para necessidade de otimizações locais (ex.: aumento de raios de filete, revisão de ajuste do rolamento) para ampliar a robustez. A interpretação dessa figura embasa recomendações de projeto para mitigar pontos críticos.

Apesar das tensões próximas ao limite do material, o UHMW apresentou vida útil satisfatória, sem previsão de falhas prematuras sob carregamento repetitivo. A ausência de corrosão reforça sua vantagem frente ao aço, garantindo maior confiabilidade em ambientes de navios e portos.



### 4.3 Comparação entre aço e UHMW-CERAMP

A análise evidencia que, embora o aço SAE 1020 ofereça resistência estrutural superior, seu peso (4,36 kg contra apenas 0,61 kg do UHMW-CERAMP) e a necessidade de tratamentos adicionais contra corrosão, como pintura anticorrosiva, tornam sua aplicação menos eficiente em ambientes de navios e portos.

O UHMW-CERAMP, além de ser sete vezes mais leve, dispensa revestimentos protetivos, reduzindo custos de fabricação e manutenção. Outro ponto importante é o potencial de injeção do polímero, que pode substituir a usinagem em séries maiores, tornando a produção ainda mais econômica. Assim, a substituição proporciona não apenas ganhos técnicos, mas também uma expressiva vantagem econômica no ciclo de vida do produto. A tabela 6 mostra uma comparação entre os principais aspectos observados nesses materiais.

**Tabela 6 – Comparação dos resultados obtidos para os roletes de aço SAE 1020 e UHMW-CERAMP.**

| <b>Critério</b>                | <b>Aço SAE 1020</b>              | <b>UHMW-CERAMP</b>          |
|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Tensão máxima (MPa)            | 196,375                          | 23,8                        |
| Limite de escoamento (MPa)     | 351                              | 30                          |
| Fator de segurança             | 1,8                              | 1,3                         |
| Deformação máxima              | < 0,01                           | 0,027                       |
| Corrosão (maresia)             | Elevada (vida útil baixa)        | Inexistente                 |
| Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | 7,85                             | 0,93                        |
| Peso do rolete (kg)            | 4,36                             | 0,61                        |
| Vida útil em fadiga            | Reduzida na prática              | Satisfatória                |
| Processamento                  | Usinagem + pintura anticorrosiva | Usinagem simples ou injeção |

Fonte: Elaborada pelo autor via software SolidWorks Simulation 2025.

A Tabela 6 apresenta a comparação detalhada entre os dois materiais. Observa-se que, embora o fator de segurança seja maior para o aço (1,8 contra 1,3 no UHMW-CERAMP), o desempenho global do polímero se mostra mais vantajoso. A redução de peso de 4,36 kg para 0,61 kg impacta diretamente no consumo energético da esteira, diminuindo esforços sobre o sistema motriz. A inexistência de corrosão elimina a necessidade de pintura anticorrosiva, reduzindo custos de fabricação e manutenção. A possibilidade de produção do UHMW por injeção reforça o ganho em escala industrial. Por outro lado, a maior deformação do UHMW deve ser considerada no projeto, exigindo cuidados no acoplamento com o eixo. Essa análise evidencia que o desempenho do rolete não deve ser avaliado apenas pela resistência do material, mas sim pelo conjunto de critérios de operação, fabricação e durabilidade.

Considerando as tensões máximas obtidas na simulação, a redução nos valores críticos entre o aço SAE 1020 (196,375 MPa) e o UHMW-CERAMP (23,8 MPa) foi de aproximadamente 87,9%. Esse resultado demonstra que, embora o polímero opere mais próximo ao seu limite estrutural, a magnitude absoluta das tensões é muito inferior à registrada no aço, confirmando a eficiência da substituição.

### 4.4 Análise do processo de fabricação

Um fator determinante para a escolha do UHMW foi a viabilidade dos processos de fabricação. Durante o desenvolvimento do projeto, identificou-se que o UHMW estava



disponível na forma de tubos comerciais, enquanto materiais como Nylon e Celeron eram comercializados apenas em tarugos maciços.

O uso de tubos reduziu significativamente a necessidade de usinagem, diminuindo o tempo de fabricação e o desperdício de material. Isso resultou em uma solução mais eficiente e economicamente viável para a produção dos roletes.

#### 4.5 Discussão dos resultados

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que o UHMW-CERAMP apresenta as melhores propriedades para a aplicação em roletes de esteiras transportadoras, destacando-se por:

- Ótima resistência ao impacto, reduzindo falhas prematuras;
- Excelente resistência ao desgaste, prolongando a vida útil;
- Facilidade de fabricação, devido ao fornecimento em tubos;
- Boa estabilidade dimensional, mesmo sob carregamentos prolongados;
- Resistência à corrosão, eliminando falhas comuns no aço exposto à maresia.

Os ajustes realizados na geometria, como o aumento do diâmetro do eixo, mostraram-se fundamentais para otimizar a distribuição de tensões. Esses resultados comprovam que a simulação por elementos finitos foi uma ferramenta essencial no desenvolvimento do novo rolete, permitindo projetar uma solução segura, durável e economicamente viável.

### 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de um rolete em UHMW-CERAMP para substituição do modelo tradicional em aço SAE 1020, aplicado em esteiras transportadoras de navios e portos sujeitos à maresia. A análise comparativa, baseada em simulações estruturais e de fadiga, demonstrou que o UHMW-CERAMP atende aos requisitos de desempenho estrutural, apresentando fator de segurança de 1,3, ausência de corrosão e significativa redução de peso (0,61 kg contra 4,36 kg do aço). Além disso, a possibilidade de fabricação por injeção e a eliminação de tratamentos anticorrosivos indicam vantagens econômicas relevantes.

É importante ressaltar que os resultados aqui apresentados são válidos apenas para as condições de contorno adotadas no estudo, ou seja, carga vertical de 500 N e torque de 15 Nm para o UHMW-CERAMP, em comparação com 50 Nm para o aço SAE 1020. Dessa forma, não é possível generalizar as conclusões para todas as aplicações industriais sem análises adicionais, sendo necessário considerar que os achados refletem apenas o cenário específico modelado neste trabalho.

Entre as limitações encontradas destaca-se a ausência de ensaios experimentais que validem os resultados numéricos, bem como a consideração de apenas uma condição de carregamento estático. Ensaios laboratoriais e análises sob diferentes magnitudes de carga e condições dinâmicas de operação poderão reforçar a robustez das conclusões apresentadas. Nesse sentido, trabalhos futuros devem incluir a execução de testes experimentais de tração, impacto e fadiga em protótipos físicos, simulações complementares com diferentes condições ambientais e de carregamento, além de uma avaliação mais abrangente do comportamento tribológico do UHMW-CERAMP em operação prolongada e da análise do ciclo de vida em escala industrial.

Dessa forma, este estudo contribui para a compreensão do potencial do UHMW-CERAMP como alternativa ao aço SAE 1020 em esteiras transportadoras sujeitas à maresia, reforçando a importância da simulação computacional como ferramenta de apoio ao desenvolvimento de novos componentes industriais.

## REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA, J. *et al.* Marine atmospheric corrosion of carbon steel: a review. **Metals**, v. 7, n. 6, p. 1-29, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma10040406>

AL RASHID, A. *et al.* Life cycle assessment on fabrication and characterization techniques for additively manufactured polymers and polymer composites. **Circular Economy and Sustainability**, v. 3, p. 100159, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100159>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-638**: standard test method for tensile properties of plastics. West Conshohocken: ASTM International, 2023.

ASHBY, M. F. **Materials and sustainable development**. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016.

BALTROCCHI, A. P. D. *et al.* Environmental impact of three different engineering thermoplastics: How much does it change when using recycled polyamide? **Journal of Cleaner Production**, v. 445, p. 145769, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145769>

BATHE, K. J. **Finite element procedures**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2006.

BERTAGNA, S. *et al.* Thermoplastic materials for the metal replacement of non-structural components in marine engines. **Applied Sciences**, v. 12, n. 17, p. 8766, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12178766>

BRACCO, P. *et al.* Ultra-high molecular weight polyethylene: Influence of the chemical, physical and mechanical properties on the wear behavior. **A Review Materials**, v. 10, n. 7, p. 791, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma10070791>

CANEVAROLO JÚNIOR, S. V. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2019.

CELANESE. **UHMWPE polymer guide**. 2015. Disponível em: <https://www.celanese.com>. Acesso em: 2 set. 2025.

CDM SYSTEMS. **Fighting conveyor corrosion**. 2018. Disponível em: <https://cdmsys.com>. Acesso em: 2 set. 2025.

CHANG, T. *et al.* Tribological behavior of aged UHMWPE under water-lubricated condition. **Tribology International**, v. 132, p. 1-8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.12.038>

CHENG, Bingxue et al. Tribological behavior of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) with different molecular weights under artificial seawater lubrication. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 31, e56918, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.56918>

CORREIAS INDUSTRIAIS. **Uma breve história das correias transportadoras**. 2023. Disponível em: <https://www.correiasindustriais.com.br>. Acesso em: 2 set. 2025.

CORREIAS MERCÚRIO. **Correia transportadora: o que é, tipos e importância**. 2024. Disponível em: <https://www.correiasmercurio.com.br>. Acesso em: 2 set. 2025.

DAYBRASIL. **Catálogo técnico – UHMW CERAMP**. São Paulo: Daybrasil, 2024. Disponível em: <https://daybrasil.com.br/>. Acesso em: 2 set. 2025.

DOLCI, G. *et al.* How does plastic compare with alternative materials? A systematic review of LCA studies. **Sustainability**, v. 16, n. 8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X241241606>

ENSINGER. **Catálogo técnico – Plásticos de engenharia**. Nufringen: Ensinger GmbH, 2024. Disponível em: <https://www.ensingerplastics.com/>. Acesso em: 2 set. 2025.

GENTIL, V. **Corrosão**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017

HUSSAIN, M. *et al.* Ultra-high-molecular-weight-polyethylene (UHMWPE) as a promising polymer material for biomedical applications: a concise review. **Polymers**, v. 12, n. 2, p. 323, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12020323>

MADHU, P. *et al.* Finite element analysis of polymeric materials in day-to-day applications. **Materials Today: Proceedings**, v. 28, p. 120-128, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14087-7.00023-9>

MASCARENHAS, L. P. G. *et al.* Design criteria and safety factors for plastic components design. **Materials & Design**, v. 25, n. 3, p. 191–198, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2003.10.003>

MILLER, S. A. The capabilities and deficiencies of life cycle assessment to address the plastic problem. **Frontiers in Sustainability**, v. 3, p. 1007060, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.1007060>

NITAPLAST. **Catálogo técnico – Polímeros de engenharia**. São Paulo: Nitaplast, 2024. Disponível em: <https://www.nitaplast.com.br/>. Acesso em: 2 set. 2025.

SOLIDWORKS. **SOLIDWORKS Simulation - structural analysis**. 2025.

VASIĆ, M. *et al.* Failure analysis of idler roller bearings in belt conveyors. **Engineering Failure Analysis**, v. 114, p. 1-16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104898>

## AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão aos professores e colegas da pós-graduação em Projetos Mecânicos Industriais, cujas orientações e discussões contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste artigo. Agradeço também à instituição de ensino e ao SENAI pela infraestrutura e conhecimento compartilhado, que foram fundamentais para a realização desta pesquisa. Por fim, um agradecimento especial a todos os profissionais e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram com sugestões, críticas construtivas e apoio técnico ao longo deste estudo.

### Sobre os Autores:

---

#### <sup>i</sup> Israel Dimas Marques



Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Paulista – UNIP (2023), Pós-Graduação em Projetos Mecânicos Industriais pela Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica e cursa atualmente o Mestrado em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em projetos mecânicos e estudo de materiais. Atua como Projetista Mecânico na empresa Telemática Sistemas Inteligentes, no setor de Engenharia de Desenvolvimento. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0390-7921>

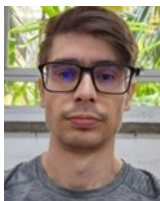
#### <sup>ii</sup> Leandro Cardoso da Silva



Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica pelo Centro Universitário Nove de Julho, Mestrado em Engenharia de Materiais pela Universidade Presbiteriana Mackenzie e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professor e pesquisador no Centro Universitário Senai-SP e na FATEC, lecionando disciplinas nas áreas de DFMA, FEA, CFD e Processos de Fabricação. Tem experiência na área de Engenharia de Produção e Materiais, com ênfase em desenvolvimento de produtos, manufatura aditiva e engenharia aplicada à Indústria 4.0. <https://orcid.org/0000-0003-1636-3685>

**iii Edgard Gonçalves Cardoso**

Engenheiro de Produção Mecânica e de Segurança do Trabalho, mestre e doutorando em Energia, com especializações em Manutenção Industrial, Gestão de Projetos, Gestão de Pessoas e Educação. Atua como Técnico de Laboratório na UFABC e professor de ensino superior no Centro Universitário SENAI-SP, com experiência em manutenção, energia, educação e gestão de riscos. <https://orcid.org/0000-0001-8953-9464>

**iv Lucas Almeida Willenshofer**

Graduado em Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica, mestre em Engenharia Mecânica (IFSP). Professor no SENAI-SP e ENIAC, com experiência em Automação Industrial, Engenharia Elétrica, IoT, redes industriais e integração de sistemas voltados à Indústria 4.0.. <https://orcid.org/0009-0008-8884-7607>

**v Manuel Patrício da Silva Bisneto**

Doutor em Nanociências e Materiais Avançados (UFABC), mestre em Engenharia Mecânica e Aeronáutica (ITA), especialista em Engenharia de Produção e graduado em Tecnologia em Processos de Produção. Professor e consultor com experiência em desenvolvimento de produtos, gestão de projetos, Lean Manufacturing, modelagem 3D e simulações. <https://orcid.org/0000-0002-2176-2288>