

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* BETIM
ENGENHARIA MECÂNICA

Nome do Autor

TÍTULO DO TRABALHO:
subtítulo do trabalho (se houver)

Betim
ANO

NOME DO AUTOR

TÍTULO DO TRABALHO:
subtítulo do trabalho (se houver)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora do
curso de Engenharia Mecânica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais - *Campus*
Betim, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Título Nome

Coorientador: Título Nome (se houver)

Betim

ANO

Dedico este trabalho a .

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Betim .

*“É perigoso, Frodo... sair porta afora,
você pisa na estrada, e se não controlar
os pés, não se sabe até onde pode ser
levado.”*

— J.R.R. Tolkien, *O Senhor dos Anéis*

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo .

Palavras-chave: Manilha de Içamento; Método dos Elementos Finitos; ANSYS Workbench; Fator de Segurança; AISI 4340.

ABSTRACT

This work presents .

Keywords: Lifting Shackle; Finite Element Method; ANSYS Workbench; Safety Factor; AISI 4340.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura	1 – Variedade de montagens para içamento e movimentação de cargas.	15
Figura	2 – Cargas sobre um ponto.	17
Figura	3 – Componentes da manilha.	19
Figura	4 – Combinações de manilhas.	20
Figura	5 – Fator de segurança na geometria final.	21
Figura	6 – Fator de segurança na geometria inicial.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela	1 – Parâmetros iniciais.	20
Tabela	2 – Comparativo da relação WLL x peso do componente.	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering

LISTA DE SÍMBOLOS

σ	Tensão normal
σ_u	Limite de resistência
σ_e	Limite de escoamento
\leq	Menor ou igual

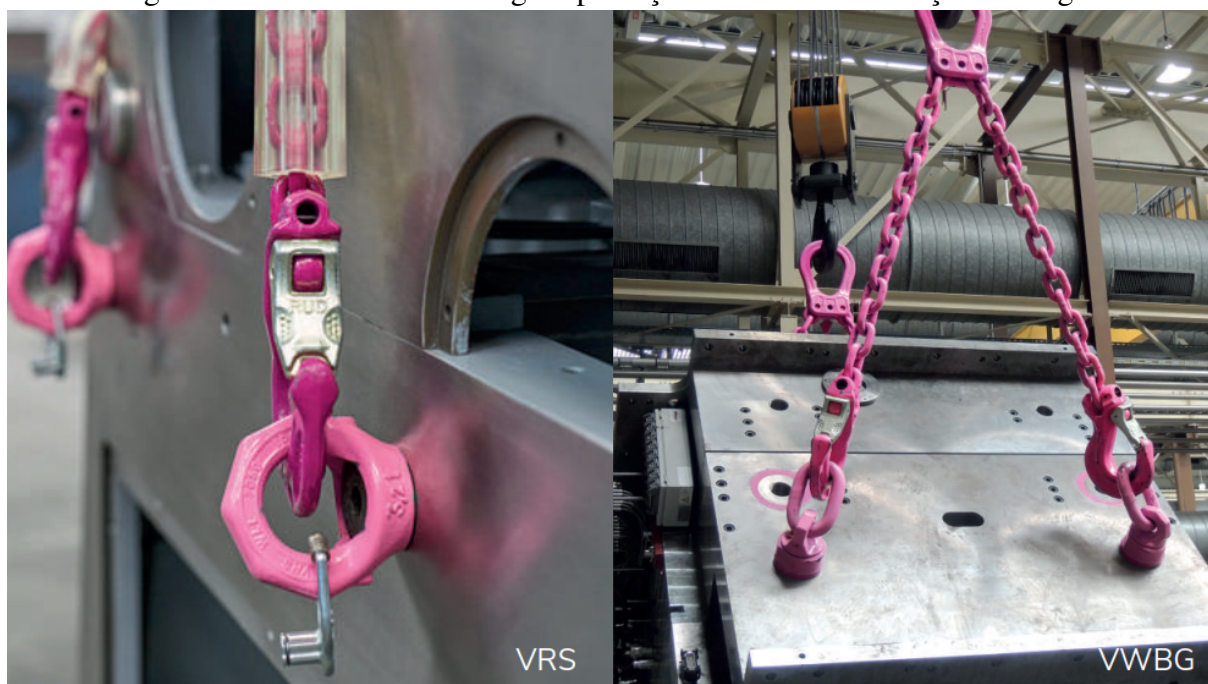
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.0.1	Tensão e Deformação	17
3	METODOLOGIA	19
3.1	Definição do Componente	19
4	RESULTADOS	21
4.1	Carga de Tração	21
5	CONCLUSÃO	23
6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	24
	REFERÊNCIAS	25
	APÊNDICE A - PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AISI/SAE 4340	26
	ANEXO A - CATÁLOGO MANILHA GREEN PIN.	27

1 INTRODUÇÃO

Dentro deste universo, a engenharia de componentes é fundamental. Conforme os princípios de Projeto de Máquinas detalhados por Norton (2013), todo sistema mecânico deve ser analisado sob a ótica de suas cargas, tensões e modos de falha potenciais. Um acessório de içamento, como a manilha, embora aparentemente simples, é um componente submetido a complexos estados de tensão. Fenômenos como a concentração de tensão em seus raios de curvatura e furos, e o risco de falha por fadiga após ciclos repetidos de carregamento, são fatores críticos que governam sua vida útil e segurança. Norton (2013) enfatiza que a aplicação de adequados fatores de segurança no projeto não é uma mera formalidade, mas uma necessidade para mitigar os riscos associados a incertezas nas cargas e nas propriedades do material. Ignorar esses princípios de engenharia na seleção ou no uso de uma manilha é negligenciar a base científica que garante a segurança da operação.

Figura 1 – Variedade de montagens para içamento e movimentação de cargas.



Fonte: RUD (2024).

A complexidade da seleção se aprofunda ao se consultar o portfólio de fabricantes especializados. O catálogo da Crosby (2023), bem como a Figura 1, que mostra montagens possíveis com produtos da RUD, referências no setor, ilustram que não existe uma solução única. A escolha deve ser criteriosa, distinguindo, por exemplo, entre manilhas tipo âncora

(bow shackles), que são mais adequadas para cargas que vêm de múltiplos ângulos, e manilhas tipo reta (dee shackles), ideais para içamentos em linha. Adicionalmente, a seleção do sistema de travamento do pino é crucial: os modelos com pino roscado (screw pin) são práticos para montagens temporárias, enquanto os modelos com pino, porca e contrapino (bolt, nut, and cotter pin) são mandatórios para instalações de longo prazo ou onde há risco de vibração que poderia soltar o pino.

1.1 Justificativa

A utilização da análise de elementos finitos é uma excelente ferramenta para .

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é .

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Otimizar a .
- b) Definir .
- c) Definir .

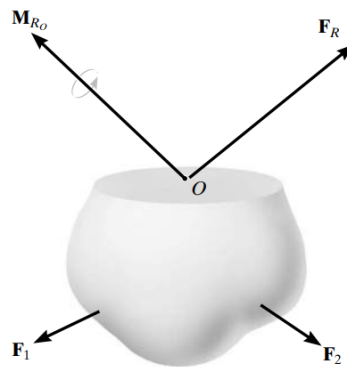
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos necessários .

2.0.1 Tensão e Deformação

Quando uma carga externa age sobre uma área seccionada de um corpo como na Figura 2, como resultado, aparecem forças internas agindo sobre essa mesma seção. Esse fenômeno é denominado tensão, que representa o quociente de uma força sobre uma área. Quando a força agir sobre a área perpendicularmente, tem-se a tensão normal σ . Porém, quando a força agir tangencialmente à área, será denominada como tensão de cisalhamento τ , (Hibbeler, 2009).

Figura 2 – Cargas sobre um ponto.



Fonte: Hibbeler (2009).

Segundo Hibbeler (2009), para um elemento de área infinitesimal ΔA , a tensão normal σ_z se dará por um limite da razão da força F_z com a sua área tendendo a zero, como na equação 2.1:

$$\sigma_z = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_z}{\Delta A} \quad (2.1)$$

Se essa força tracionar o elemento ΔA , será denominada tensão de tração, ao passo que se comprimir o elemento, receberá o nome de tensão de compressão. Para a tensão de cisalhamento (τ) ocorre o mesmo fenômeno, dando origem a 2 componentes que agem tangencialmente à área infinitesimal ΔA , sendo estes perpendiculares entre si, conforme as equações 2.2 e 2.3 (Hibbeler, 2009):

$$\tau_{zx} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_x}{\Delta A} \quad (2.2)$$

$$\tau_{zy} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_y}{\Delta A} \quad (2.3)$$

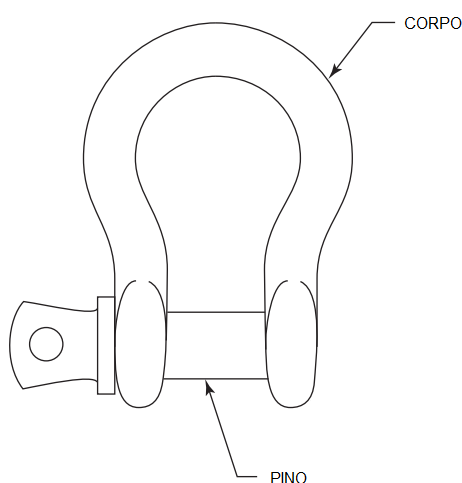
3 METODOLOGIA

Este trabalho utilizou uma metodologia .

3.1 Definição do Componente

Dentro do campo de içamento

Figura 3 – Componentes da manilha.



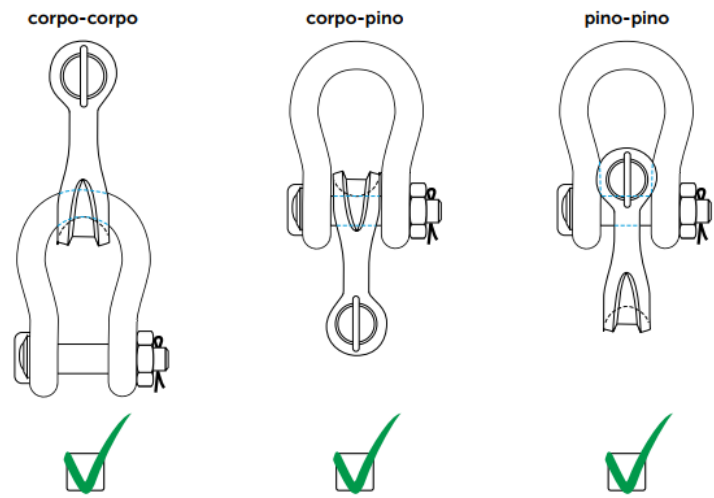
Fonte: Adaptado de American Society of Mechanical Engineers (2015).

Manilhas comerciais possuem um formato típico, basicamente composto por um corpo em formato de arco e um pino de travamento, conforme Figura 3. Existem muitas combinações possíveis para a montagem de manilhas em um conjunto de içamento e movimentação, entre essas combinações estão as montagens que se utilizam de múltiplas manilhas acopladas, como exemplificado na Figura 4. Visando essas combinações, a proposta deste trabalho é reproduzir essa combinação corpo-corpo em uma geometria única, de modo a verificar seu comportamento diante das solicitações de trabalho esperadas para o componente.

Como referência, foi utilizado a Super[®] Manilha Curva SC, da Green Pin[®], padrão de excelência na fabricação e comercialização de manilhas no mercado internacional, conforme anexo A. Com corpo e pino em aço liga, grau 8, temperado e revenido.

Para requisitos iniciais, foram estabelecidos os parâmetros para verificação da geometria inicial conforme a Tabela 1. Como material do componente, foi escolhido o aço AISI 4340, com as propriedades mecânicas do componente tratado termicamente por têmpera e revenimento.

Figura 4 – Combinações de manilhas.



Fonte: Green Pin (2019).

Tabela 1 – Parâmetros iniciais.

Carregamento de Trabalho (kN)	Massa do Componente (kg)	Fator de segurança - FS	Diâmetro do Pino (mm)
10	1,0	5:1	19

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos .

4.1 Carga de Tração

Utilizando de exemplo a manilha da Green Pin que possui WLL de 49 kN (5 toneladas), conforme anexo A e levando em consideração que o componente se equipara à utilização de 2 manilhas comerciais, temos o comparativo conforme Tabela 2. Indicando que o WLL encontrado é coerente.

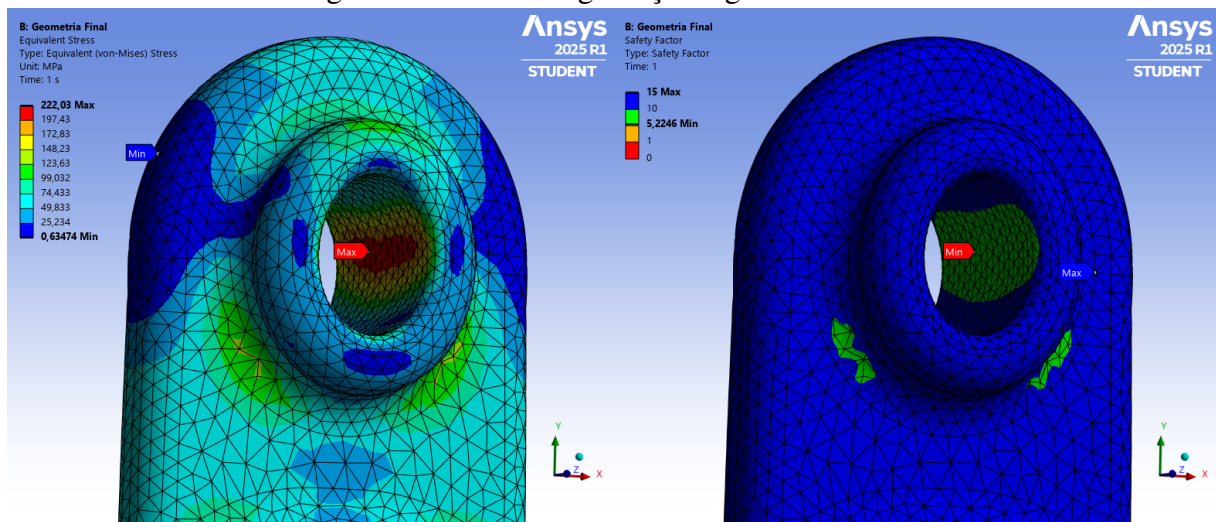
Tabela 2 – Comparativo da relação WLL x peso do componente.

Componente	WLL (kN)	Peso por unidade (kg)	Peso do conjunto (kg)	Relação kN/kg
Green Pin	49,0	0,63	1,26	38,88
Proposta	42,5	1,07	1,07	39,71

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As maiores tensões equivalentes aparecem próximo às áreas de contato, com a tensão máxima equivalente aparecendo na face de contato do carregamento no furo superior, como mostra a ??, bem como os fatores de segurança associados, indicados na Figura 5.

Figura 5 – Fator de segurança na geometria final.

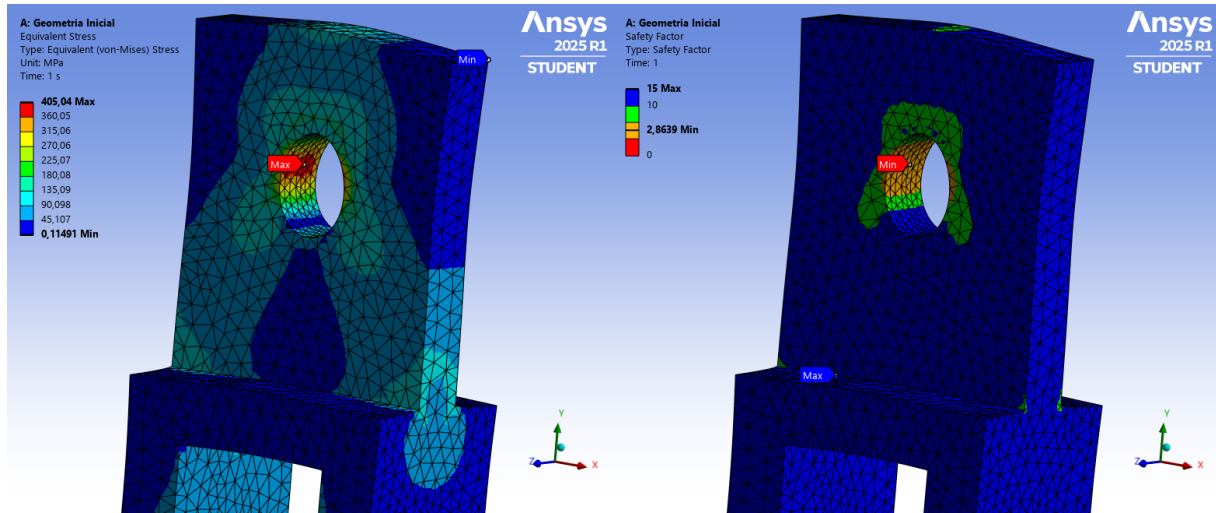


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A título de comparação, a carga de trabalho de 42,5 kN foi aplicada na geometria inicial.

Os resultados mostram uma tensão equivalente de Von Misses de 405,04 MPa e um fator de segurança mínimo de 2,86:1, indicando uma perda de 46 % de capacidade para uma mesma carga de trabalho, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Fator de segurança na geometria inicial.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- **Levantamento de Custos:** Propõe-se uma análise econômica completa do processo de forjamento, calculando todos os custos envolvidos - desde a matéria-prima e a fabricação das matrizes até as operações e tratamentos posteriores - para determinar o custo final por peça e confirmar a viabilidade financeira do projeto.
- **Simulação de Forjabilidade:** Sugere-se o uso de simulação computacional para analisar o processo de forjamento, a fim de prever o fluxo do material, evitar defeitos, otimizar parâmetros e garantir que o componente final atinja as propriedades mecânicas e a integridade estrutural desejadas.
- **Análise Topológica:** Recomenda-se a aplicação da otimização topológica para redesenhar o componente, buscando reduzir seu peso ao máximo sem comprometer a capacidade de carga (WLL). Este método utiliza algoritmo para encontrar a distribuição de material mais eficiente, gerando um design mais leve.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B30.26: Rigging hardware**. New York, 2015.

CROSBY. **Crosby/Gunnebo Industries Metric online catalog**. [S. l.]: Crosby, 2023. Disponível em: <https://catalog.thecrosbygroup.com/metric-catalog-2022.html>. Acesso em: 08 de junho de 2025.

GREEN PIN. **Catálogo de produtos Green Pin**. [S. l.]: Green Pin, 2019. Disponível em: https://www.greenpin.com/sites/default/files/2021-12/PT_Green%20Pin%20C2%20AE%20Product%20Catalogo%202019.pdf. Acesso em: 09 de maio de 2025.

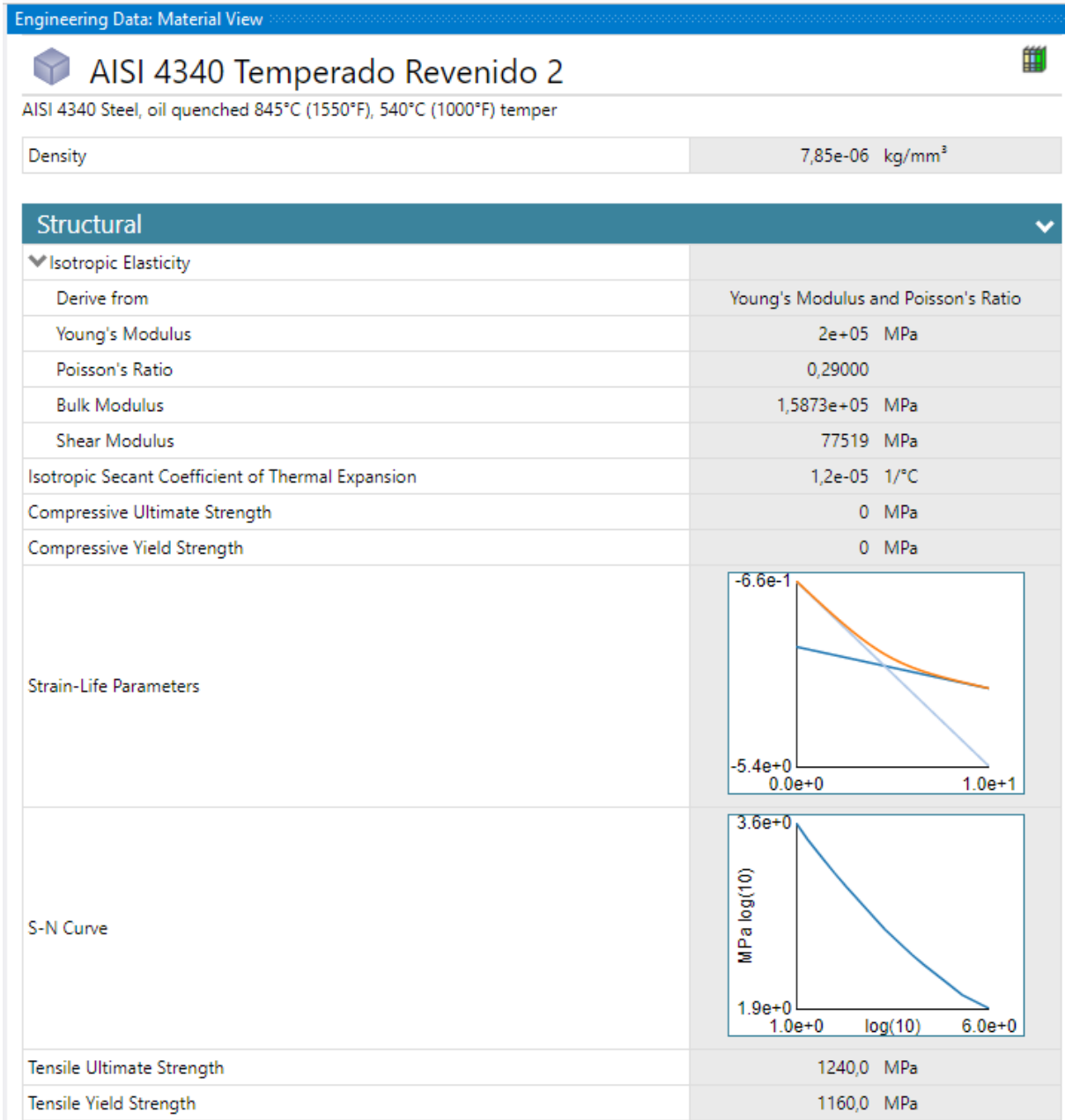
HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2009.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RUD. **Catálogo técnico: pontos de içamento**. [S. l.]: RUD, 2024. Disponível em: <https://www.rud.com.br/pdf/catalogo-pontos-icamento.pdf>. Acesso em: 08 de junho de 2025.

APÊNDICE A - PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AISI/SAE 4340

Figura 7 – Propriedades do material no ANSYS Mechanical.



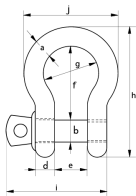
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

ANEXO A - CATÁLOGO MANILHA GREEN PIN.

Figura 8 – Manilha comercial.



G-5261



Green Pin Super® Manilha curva SC

Manilha curva grau 8 com pino rosqueado

- **Material:** corpo e pino em aço liga, grau 8, temperado e revenido
- **Fator de Segurança:** MBL é igual a 5 x WLL
- **Norma:** ASME B30.26 e atende aos requisitos de desempenho da US Fed. Spec. RR-C-271 Tipo IVA Classe 2, grau B
- **Acabamento:** galvanizado a quente
- **Faixa de temperatura:** -20°C até +200°C
- **Certificação:** 2.1 2.2 3.1 MTC⁴ CE ABS PDA ABS MA

carga máxima de trabalho	diâmetro do pino	diâmetro do olhal	diâmetro do olhal	largura do olhal	largura interna	comprimento interno	largura do corpo	comprimento	comprimento do parafuso	largura	peso por unidade
t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	kg
3.3	13.5	16	34	13	22	51	32	89	73	58	0.36
5	16	19	40	16	27	64	43	110	89	75	0.63
7	19	22	46	19	31	76	51	129	103	89	1.01
9.5	22	25	52	22	36	83	58	144	119	102	1.5
12.5	25	28	59	25	43	95	68	164	137	118	2.21

Em polegadas

carga máxima de trabalho	diâmetro do pino	diâmetro do olhal	diâmetro do olhal	largura do olhal	largura interna	comprimento interno	largura do corpo	comprimento	comprimento do parafuso	largura	peso por unidade
t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	lbs
3.3	1/2	5/8	1 11/32	1/2	7/8	2	1 1/4	3 1/2	2 7/8	2 9/32	0.79
5	5/8	3/4	1 9/16	5/8	1 1/16	2 11/32	1 11/16	4 11/32	3 1/2	2 15/16	1.38
7	3/4	7/8	1 13/16	3/4	1 7/32	3	2	5 1/32	4 1/16	3 1/2	2.22
9.5	7/8	1	2 1/16	7/8	1 15/32	3 9/32	2 9/32	5 21/32	4 11/16	4 1/32	3.31
12.5	1	1 1/8	2 3/16	1 1/2	1 11/16	3 3/4	2 11/16	6 13/32	5 13/32	4 21/32	4.86

CAD RFID



MANILHAS

1

Fonte: Green Pin (2019).