



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA - AM.  
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR



**THIAGO PEDROSA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
DIFERENTES PARAFUSOS AUTOMOTIVOS CLASSE 10.9**

**MANAUS - AM**

**2022**

**THIAGO PEDROSA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
DIFERENTES PARAFUSOS AUTOMOTIVOS CLASSE 10.9**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas campus Manaus Centro, departamento acadêmico de processos industriais, como requisito obrigatório para a qualificação.

Orientador: Prof. MSc. Cristóvão Américo Ferreira de Castro

Co-orientador: MSc. Michaella Socorro Bruce Fialho

**MANAUS - AM**

**2022**

---

**Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro**

---

N244a Nascimento, Thiago Pedrosa do.  
Análise comparativa das propriedades mecânicas de diferentes parafusos  
automotivos classe 10.9 / Thiago Pedrosa do Nascimento. – Manaus, 2022.  
22 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus Manaus*  
Centro, 2022.

Orientador: Prof. Me. Cristóvão Américo Ferreira de Castro.

Coorientadora: Profa. Ma. Michaela Socorro Bruce Fialho.

1. Engenharia mecânica. 2. Propriedades mecânicas. 3. Classes de  
parafusos. I. Castro, Cristóvão Américo Ferreira de. (Orient.) II. Fialho,  
Michaela Socorro Bruce. (Coorient) III. Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia do Amazonas IV. Título.

CDD 621

---

**THIAGO PEDROSA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
DIFERENTES PARAFUSOS AUTOMOTIVOS CLASSE 10.9**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA DO INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS  
(IFAM), COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO  
DO GRAU DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA.**

**APROVADA POR:**

---

**Profº MSc. Cristovão Américo Ferreira de Castro (IFAM)**  
**(Orientador)**

---

**Profº Esp. Rodson de Oliveira Barros**  
**(Examinador I)**

---

**Profº MSc. Camila da Costa Pinto**  
**(Examinador II)**

**MANAUS/AM, 15 de dezembro de 2022.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço excepcionalmente a Deus, que com toda a sua sabedoria, pôde colocar no meu caminho todas as pessoas que me ajudaram nesta longa empreitada até este momento em que entrego este Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço a minha Família, especialmente a minha mãe Neire Lane, por todo apoio e suporte nestes longos anos.

Agradeço a minha Dra. e mentora Michaela Fialho por todo o amor, incentivo, a paciência e o tempo dedicado no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos de laboratório que me auxiliaram com o pouco tempo que possuíam para me auxiliar nos testes deste trabalho.

Agradeço também a todos os professores que contribuíram com a minha formação acadêmica em todos estes anos em que estive neste Instituto.

E por último, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador Cristóvão que, na medida do possível, pôde utilizar de toda sua experiência para corrigir e incentivar neste trabalho.

## RESUMO

Os parafusos são os elementos de fixação mais utilizados na indústria metal-mecânica. Há uma infinita variedade de fornecedores e fabricantes devido a sua vasta aplicabilidade. Dessa forma, o controle de qualidade é primordial a fim de assegurar suas propriedades mecânicas conforme as normas. Assim, o objetivo desse trabalho foi comparar parafusos genéricos obtidos aleatoriamente e parafusos normatizados perante normas estabelecidas de segurança de qualidade. No que se refere às propriedades mecânicas de tração, os resultados demonstraram que um parafuso normatizado possui uma tensão máxima de resistência  $1137,39 \pm 18,2$  MPa, valor inferior ao de um parafuso genérico de  $1164,00$  MPa  $\pm 32,42$ . No entanto, o alongamento dos parafusos normatizados foi de aproximadamente 14%, valor superior ao dos parafusos genéricos em torno de 10%. Os valores de dureza Rockwell (HRC) comprovaram que ambos os parafusos passam por tratamento térmico de tempera e revenimento, bem como a microestrutura analisada. E por fim, a análise elementar do percentual de Carbono-Enxofre mostrou que ambos parafusos possuíram valores dentro do especificado. De uma maneira geral, não houve discrepância nos valores obtidos, inferindo, portanto, que apesar do parafuso genérico ser mais barato, este também apresenta propriedades similares aos parafusos normatizados.

**Palavras-chave:** parafusos, classes de parafusos, propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

Bolts are the most used fasteners in the metalworking industry. There are an infinite variety of suppliers and manufacturers due to large applicability. Thus, quality control is important to ensure its mechanical properties in accordance with standards. So, the aim of this study was to compare randomly obtained generic bolts and standard bolts against established quality assurance standards. With regard to the tensile mechanical properties, the results showed that a standardized screw has a maximum resistance stress of  $1137.39 \pm 18.2$  MPa, a lower value than that of a generic screw of  $1164.00 \text{ MPa} \pm 32.42$ . However, the elongation of standardized screws was approximately 14%, a value higher than that of generic screws, around 10%. The Rockwell hardness results (HRC) confirmed that both bolts undergo a tempering and tempering heat treatment, as well observed on the microstructure. And finally, the elemental analysis of the percentage of Carbon-Sulfur showed that both bolts had values within the specified range. In general, there was no discrepancy in the values obtained, inferring, therefore, that although the generic bolts are cheaper, it also has similar properties to standardized bolts.

**Keywords:** bolts, bolt classes, mechanical properties.

## **Sumário**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>PARAFUSOS: CONCEITOS GERAIS.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>CLASSES DE PARAFUSOS .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3</b>	<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS .....</b>	<b>11</b>
<b>3.4</b>	<b>PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PARAFUSO .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>MATERIAIS .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Ensaio de Tração .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Ensaio de dureza.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Análise Microestrutural e teor de carbono .....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>22</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Propriedades mecânicas .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Dureza Rockwell (HRC) .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Microestrutura e teor de carbono.....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>33</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1 – DIMENSÕES DE ROSCAS UNIFICADAS NORMALIZADAS (UNS).....</b>	<b>7</b>
<b>TABELA 2 – ALGUNS TIPOS DE PARAFUSOS.....</b>	<b>8</b>
<b>TABELA 3 – ESPECIFICAÇÕES MÉTRICAS E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PARAFUSOS DE AÇO.....</b>	<b>10</b>
<b>TABELA 4 - SÍMBOLOS DE MARCAÇÃO DE PARAFUSOS .....</b>	<b>10</b>
<b>TABELA 5 - TÉCNICAS DE ENSAIO DE DUREZA .....</b>	<b>14</b>
<b>TABELA 6 – ESPECIFICAÇÕES E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AÇOS.....</b>	<b>15</b>
<b>TABELA 7 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRAÇÃO PARAFUSO GENÉRICO .....</b>	<b>24</b>
<b>TABELA 8 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRAÇÃO PARAFUSO NORMATIZADO .....</b>	<b>25</b>
<b>TABELA 9 – DUREZA HRC PARAFUSO GENÉRICO .....</b>	<b>27</b>
<b>TABELA 10 – DUREZA HRC PARAFUSO NORMATIZADO .....</b>	<b>27</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO DE UNIÃO ENTRE O CHASSI E O SUPORTE DA BUZINA.....	4
FIGURA 2 - DESENHO TÉCNICO PARAFUSO.....	5
FIGURA 3 – TERMINOLOGIA DE ROSCAS DE PARAFUSOS .....	6
FIGURA 4 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DE TRAÇÃO .....	12
FIGURA 5 - EXEMPLO DE DISPOSITIVO ADAPTADO PARA TESTE DE TRAÇÃO EM PARAFUSOS INTEIROS.....	13
FIGURA 6 – FLUXOGRAMA PROCESSO DE PRODUÇÃO DO PARAFUSO .....	17
FIGURA 7 – DESENHO TÉCNICO DO PARAFUSO A) NORMALIZADO B) GENÉRICO. ....	18
FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	19
FIGURA 9 – DISPOSITIVO ACOPLADO AO PARAFUSO NA MÁQUINA DE TRAÇÃO. ....	20
FIGURA 10 – PERFIL DAS AMOSTRAS EMBUTIDAS A QUENTE DA SEÇÃO LONGITUDINAL DOS PARAFUSOS GENÉRICOS (À ESQUERDA) E NORMALIZADOS (À DIREITA). ....	21
FIGURA 11 –PARAFUSOS FRATURADOS APÓS O ENSAIO DE TRAÇÃO DOS GENÉRICOS (À ESQUERDA) E NORMALIZADOS (À DIREITA).....	22
FIGURA 12 – GRÁFICOS TENSÃO X DEFORMAÇÃO DOS PARAFUSOS GENÉRICOS .....	23
FIGURA 13 – GRÁFICOS TENSÃO X DEFORMAÇÃO DOS PARAFUSOS NORMALIZADOS..	24
FIGURA 14 – CURVAS TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO AÇO SAE 5160, NA CONDIÇÃO DE LAMINADO A FRIO E RECOZIDO, TEMPERADO E REVENIDO .....	26
FIGURA 15 – DUREZA DO AÇO SAE 4340 EM FUNÇÃO DA TEMPERA E REVENIMENTO	28
FIGURA 16 – ESTRUTURAS MARTENSÍTICAS EM FORMATOS DE “RIPAS (À ESQUERDA) E FORMATO DE “AGULHAS” (À DIREITA .....	30
FIGURA 17 – MICROESTRUTURA PARAFUSO GENÉRICO A) X100, B) 500X FLANCO E C) X500 NÚCLEO. ....	31
FIGURA 18 – MICROESTRUTURA PARAFUSO NORMALIZADO A) X100, B) 500X FLANCO E C) X500 NÚCLEO.....	31

# 1 INTRODUÇÃO

Os parafusos são uns dos elementos de fixação mais populares e utilizados em diversas aplicações de engenharia. Atualmente, estão presentes em construções civis, projetos mecânicos de máquinas, eletrodomésticos dentre outros. Sua descoberta (parafusos não foram “descobertos”, mas sim “inventados”) é datada por volta de 400 a.C, quando o grego Arquitas de Tarento desenvolveu o parafuso para ser utilizado em prensas para a extração de azeite de olivas, bem como para a produção de vinho. A partir do século XV, são relatados inúmeros desenvolvimentos com os parafusos, Johann Gutenberg por exemplo já os utilizava em sua impressora. No final do século XVII, os parafusos já eram componentes comuns nas armas de fogo (FATI, 2020). Conseqüentemente, com o passar dos anos e com a revolução industrial, conexões aparafusadas têm sido utilizadas há décadas e são amplamente utilizadas em projetos mecânicos (NORD-LOCK, 2022).

Com a crescente demanda do uso dos parafusos, a sua escolha deve ser analisada de forma criteriosa. As empresas fabricantes necessitam controlar características e propriedades como, dureza, resistência a tração, defeitos em roscas, tratamentos térmicos a fim de garantir a certificação do produto final, o que influencia diretamente no preço do parafuso (BERARDI, 2022). Por exemplo, os parafusos da classe 10.9 é uma peça-chave para aplicações de sistemas de segurança ao usuário, pois apresenta altos valores de limite de resistência mecânica e dureza. Além disso, por se tratar de um parafuso que precisa de tratamento térmico, seu processo de fabricação e a matéria-prima utilizada precisa ser monitorada, tornando seu controle de qualidade bastante rigoroso, o que torna seu preço mais elevado.

No entanto, no mercado há uma grande variedade de fabricantes fornecedores tanto nacionais e importados, e a escolha do parafuso precisa apresentar propriedades que atendam as normas de segurança. Empresas de veículos automotores de grande porte, como Honda, Volkswagen, Ford, tendem a oferecer produtos com o mais alto grau de confiança a um preço razoável para o seu cliente. Para essas empresas é primordial que haja um controle de qualidade eficaz para itens críticos, onde existirá um setor que avaliará determinados aspectos para a comercialidade de seu produto como: durabilidade, resistência mecânica, atendimento a legislação etc. Dessa forma, o consumidor ao adquirir uma moto, um carro ou uma bicicleta, tem a garantia de que seu produto possui certificação de segurança e garantia de qualidade.

Porém, para o correto funcionamento desses veículos automotivos, sempre se faz necessário realizar a correta manutenção dos mesmos. E o usuário, ao se deparar com elevados preços de um item original recomendado pela empresa, prioriza sempre um item de segunda linha, que possui um preço mais acessível. Itens de sistemas críticos para segurança do condutor (Ex: grupo de Freio, suspensão), quanto itens de performance do veículo (Ex: grupo Motor), ao serem negligenciados, poderão gerar consequências graves ao usuário. Com isso, surge a problemática: o quão inseguro um parafuso de segunda linha pode ser ou se tornar?

O consumidor comum nunca exigirá um relatório de propriedades do material, em comparação a uma empresa de grande porte. Ele acreditará que o parafuso mais barato atenderá a sua necessidade, sendo o preço o principal critério para a sua escolha. Mas, caso o parafuso atinja seu ponto de ruptura em algum sistema de fixação crítica, pode causar problemas desde vazamentos de fluidos até motores destruídos, dependendo da localização e finalidade do parafuso (THOMPSON, 2019). Sendo assim cabe ao pesquisador investigar o grau de qualidade de parafusos similares versus recomendados pelo fabricante.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho visa comparar a performance mecânica de parafusos da classe 10.9 utilizados na indústria automotiva de diferentes fabricantes fornecedores, sendo um grupo de parafusos recomendados pelo fabricante com certificação e outro grupo obtidos no mercado sem certificação.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Comparar as propriedades mecânicas de parafusos classe 10.9, sendo um SAE 4135 recomendado pelo fabricante e um parafuso de segunda linha sem certificação de qualidade.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar ensaios destrutivos de tração e dureza para a caracterização das propriedades mecânicas;
- Avaliar a microestrutura dos parafusos a fim de comparar a quantidade de carbono presente em cada amostra, bem como sua composição química;
- Analisar os resultados obtidos dos ensaios realizados com auxílio de gráficos e tabelas;
- Verificar se os parafusos atendem as especificações mínimas de qualidade independente de seu fabricante.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico descreve os principais conceitos encontrados na literatura para o tema proposto.

#### 3.1 PARAFUSOS: CONCEITOS GERAIS

Os métodos de união utilizados na indústria metal-mecânica em geral, desempenham um papel de suma importância em uma linha de processo de produção, por exemplo. Os principais elementos fixadores mais comuns são os rebites, pinos, cavilhas, e dentre estes, destaca-se os parafusos. Estes que são empregados com o objetivo de manter coisas unidas de forma não permanente. São usados sob várias formas: como parafusos de fixação, protensão, obturadores, de ajustagem, micrométricos, transmissores de forças, de movimentos (NIEMAN, 1971). Como por exemplo, na união entre o chassi e o suporte da buzina (Figura 1).

Figura 1 – Exemplo de união entre o chassi e o suporte da buzina



Fonte: Autoria própria, 2022

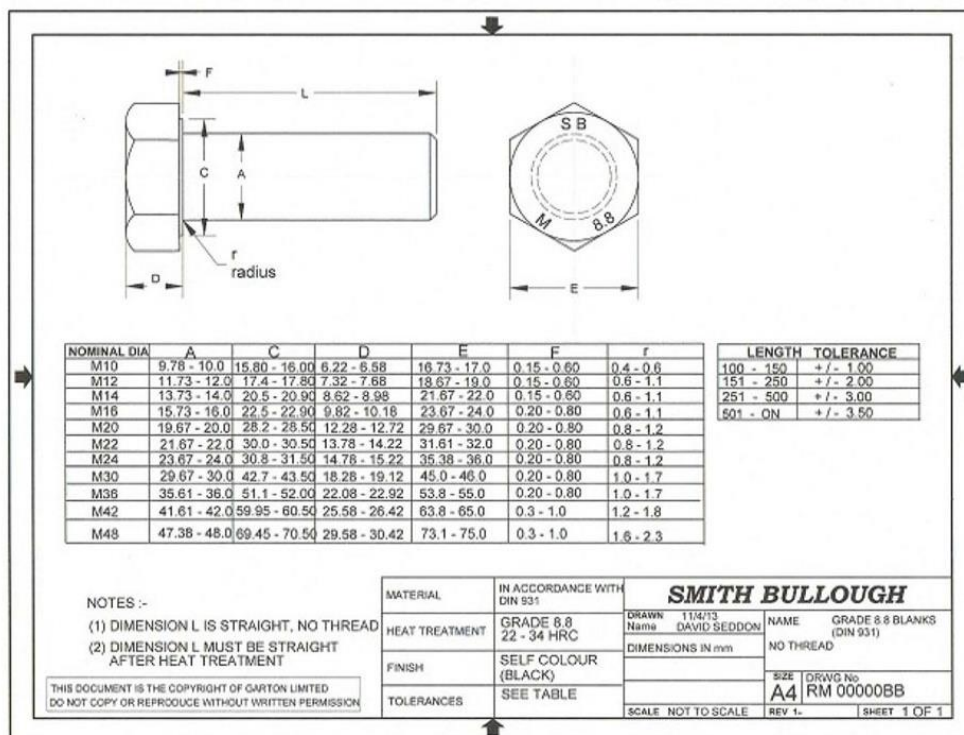
Dessa forma, os tipos de materiais utilizados nas juntas aparafusadas afetam diretamente na qualidade do produto final produzido. Fatores primordiais como a escolha da classe parafuso, suas propriedades, a dimensão do parafuso podem afetar diretamente o torque, ou seja, a força de fixação.

O parafuso é definido como um elemento fixador que é formado por basicamente três características, o tipo de rosca, o tipo de corpo, podendo ser cilíndrico ou cônico e a parte da cabeça que é utilizada para aplicar torque ao parafuso (ATKINS; ESCUDIER, 2019).

Com a infinidade de tipos existentes de parafusos no mercado, numa linha de montagem na indústria, os desenhos técnicos auxiliam a extrair o máximo de informações possíveis, de forma clara e organizada (DYM; LITTLE; ORWIN, 2013).

A partir do desenho identificam-se dados específicos, como o tipo de parafuso, as suas dimensões e unidades; as variações permitidas, tolerâncias, o tipo de rosca, etc. A Figura 2 ilustra um desenho técnico em conformidade com a norma DIN (*Deutsches Institut für Normung*) 931, do parafuso do tipo sextavado. Observa-se que o desenho descreve que o parafuso é da classe 8.8 rosca métrica.

Figura 2 - Desenho técnico parafuso

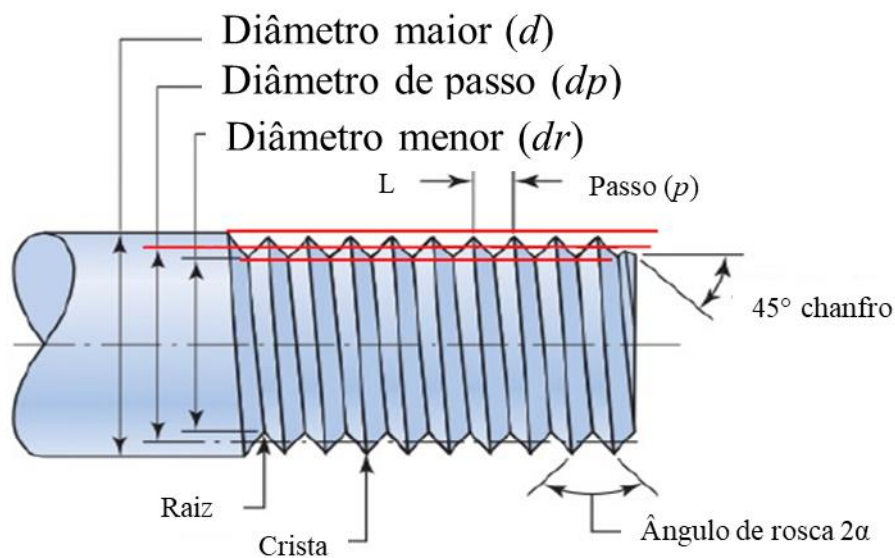


Fonte: Página de informações técnicas - Thomas Smith Fasteners: (SMITH, 2021)

A rosca, é a principal característica a ser observada no desenho técnico. É definida como uma hélice que faz com que o parafuso avance sobre o material ou porca quando rotacionado. As roscas podem ser do tipo externas (parafuso atarrachante) ou internas (porcas ou furo rosqueado) (NORTON, 2013).

A terminologia de roscas de parafusos é mostrada na Figura 3. O passo de rosca  $p$  é a distância entre roscas adjacentes. Crista e raiz são tomadas como planas para reduzir a concentração de tensões que ocorre em canto vivo. O diâmetro maior  $d$  é o maior diâmetro de uma rosca de parafuso. O diâmetro menor (ou de raiz)  $dr$  é o menor diâmetro de uma rosca de parafuso. O diâmetro de passo  $dp$  é um diâmetro teórico entre os diâmetros maior e menor. O comprimento  $L$  da rosca é a distância que uma rosca par (porca) avançará axialmente com uma revolução da porca. Se for uma rosca simples, o avanço irá igualar o passo (BUDINAS; NISBETT, 2011; NORTON, 2013).

Figura 3 – Terminologia de roscas de parafusos



Fonte: Adaptado: (BUDINAS; NISBETT, 2011)

De uma maneira geral, as roscas são designações padronizadas pela *Unified National Standard* (UNS) e pela ISO (*International Organization for Standardization*). Essa padronização identificou grupos de combinações de diâmetros e passos chamados de “séries de roscas”. As séries de roscas grossas apresentam vantagens quando uma rápida montagem ou desmontagem é necessária, ou para reduzir a probabilidade de espanar no local em que parafusos são introduzidos em materiais leves que podem sofrer



deformações plásticas facilmente como ferro fundido, alumínio ou plásticos. As séries de roscas finas são usadas quando é importante maior resistência do parafuso, uma vez que menor profundidade da rosca e maior diâmetro da raiz fornecem maior resistência à tração. As roscas finas têm menor tendência ao desaperto sob vibração que as roscas grossas devido ao menor ângulo de avanço. Uma série de roscas extrafinas pode ser utilizada em casos especiais nos quais se fazem necessários ajustes mais precisos (por exemplo, porcas de retenção de mancais) ou para aplicações com tubos de parede fina (COLLINS; BUSBY; STAAB, 2019; NORTON, 2013).

A Tabela 1 exemplifica algumas dimensões de parafusos padronizados pela UNS.

Tabela 1 – Dimensões de Roscas Unificadas Normalizadas (UNS)

Dimensão	Séries de Roscas Grossas— UNC/UNRC					Séries de Roscas Finas— UNF/UNRF			
	Diâmetro Maior $d$ , in	Fios por Polegada	Diâmetro Menor $d_r$ , in	Área do Diâmetro Menor $A_r$ , in <sup>2</sup>	Área sob Tração <sup>2</sup> , in <sup>2</sup>	Fios por Polegada	Diâmetro Menor $d_r$ , in	Área do Diâmetro Menor $A_r$ , in <sup>2</sup>	Área sob Tração <sup>2</sup> , in <sup>2</sup>
0	0,0600	—	—	—	—	80	0,0465	0,0015	0,0018
1	0,0730	64	0,0561	0,0022	0,0026	72	0,0580	0,0024	0,0028
2	0,0860	56	0,0667	0,0031	0,0037	64	0,0691	0,0034	0,0039
3	0,0990	48	0,0764	0,0041	0,0049	56	0,0797	0,0045	0,0052
4	0,1120	40	0,0849	0,0050	0,0060	48	0,0894	0,0057	0,0066
5	0,1250	40	0,0979	0,0067	0,0080	44	0,1004	0,0072	0,0083
6	0,1380	32	0,1042	0,0075	0,0091	40	0,1109	0,0087	0,0101
8	0,1640	32	0,1302	0,0120	0,0140	36	0,1339	0,0129	0,0147
10	0,1900	24	0,1449	0,0145	0,0175	32	0,1562	0,0175	0,0200
12	0,2160	24	0,1709	0,0206	0,0242	28	0,1773	0,0226	0,0258
$\frac{1}{4}$	0,2500	20	0,1959	0,0269	0,0318	28	0,2113	0,0326	0,0364
$\frac{3}{16}$	0,3125	18	0,2524	0,0454	0,0524	24	0,2674	0,0524	0,0581
$\frac{3}{8}$	0,3750	16	0,3073	0,0678	0,0775	24	0,3299	0,0809	0,0878
$\frac{7}{16}$	0,4375	14	0,3602	0,0933	0,1063	20	0,3834	0,1090	0,1187
$\frac{1}{2}$	0,5000	13	0,4167	0,1257	0,1419	20	0,4459	0,1486	0,1600
$\frac{9}{16}$	0,5625	12	0,4723	0,1620	0,1819	18	0,5024	0,1888	0,2030
$\frac{5}{8}$	0,6250	11	0,5266	0,2018	0,2260	18	0,5649	0,2400	0,2560
$\frac{3}{4}$	0,7500	10	0,6417	0,3020	0,3345	16	0,6823	0,3513	0,3730
$\frac{7}{8}$	0,8750	9	0,7547	0,4193	0,4617	14	0,7977	0,4805	0,5095
1	1,000	8	0,8647	0,5510	0,6057	12	0,9098	0,6245	0,6630
$1\frac{1}{8}$	1,1250	7	0,9704	0,6931	0,7633	12	1,0348	0,8118	0,8557
$1\frac{1}{4}$	1,2500	7	1,0954	0,8898	0,9691	12	1,1598	1,0237	1,0729
$1\frac{3}{8}$	1,3750	6	1,1946	1,0541	1,1549	12	1,2848	1,2602	1,3147
$1\frac{1}{2}$	1,5000	6	1,3196	1,2938	1,4053	12	1,4098	1,5212	1,5810
$1\frac{3}{4}$	1,7500	5	1,5335	1,7441	1,8995				
2	2,0000	4,5	1,7594	2,3001	2,4982				
$2\frac{1}{4}$	2,2500	4,5	2,0094	3,0212	3,2477				
$2\frac{1}{2}$	2,5000	4	2,2294	3,7161	3,9988				
$2\frac{3}{4}$	2,7500	4	2,4794	4,6194	4,9340				
3	3,0000	4	2,7294	5,6209	5,9674				
$3\frac{1}{4}$	3,2500	4	2,9794	6,720	7,0989				
$3\frac{1}{2}$	3,5000	4	3,2294	7,918	8,3286				
$3\frac{3}{4}$	3,7500	4	3,4794	9,214	9,6565				
4	4,0000	4	3,7294	10,608	11,0826				







Fonte: (COLLINS; BUSBY; STAAB, 2019)

As classes de roscas distinguem faixas padronizadas especificadas de tolerâncias dimensionais e afastamentos. As classes 1A, 2A e 3A aplicam-se a roscas externas somente, e as classes 1B, 2B e 3B aplicam-se a roscas internas somente. As tolerâncias diminuem (maior precisão) conforme o número da classe aumenta. As classes 2A e 2B são as mais normalmente usadas (COLLINS; BUSBY; STAAB, 2019).

As roscas são especificadas, em sequência, pela dimensão nominal, passo, série, classe, e sentido da hélice. Por exemplo, o passo de roscas (UNS) é definido como o número de roscas por polegada, enquanto na rosca métrica (ISO) o passo de rosca é especificado pela dimensão do passo em mm. Um exemplo de uma especificação de rosca UNS seria: 1/4-20 UNC-2<sup>a</sup> que define rosca externa de diâmetro 0,250 in com 20 filetes por polegada, série grossa, classe 2 de ajuste. Um exemplo de especificação de rosca métrica seria: M8 × 1,25, que define uma rosca ISO comum de 8 mm de diâmetro por 1,25 mm de passo de hélice (COLLINS; BUSBY; STAAB, 2019; NORTON, 2013).

No que se refere ao estilo de cabeças dos parafusos, alguns modelos padronizados nos mercados estão prontamente disponíveis. Na Tabela 2 está resumidamente alguns tipos de parafusos e suas aplicações.

Tabela 2 – Alguns tipos de Parafusos

Parafusos				
Figura	Execução	Faixa normal de ... até	Norma	Aplicação, propriedades
<b>Parafusos sextavados</b>				
	com haste e rosca normal	M1,6 ... M64	DIN EN ISO 4014	Parafusos de vasta aplicação na construção de máquinas, aparelhos e automóveis; <b>no caso de rosca até a cabeça:</b> maior resistência à fadiga
	com rosca normal até a cabeça	M1,6 ... M64	DIN EN ISO 4017	
	com haste e rosca fina	M8x1 ... M64x4	DIN EN ISO 8765	<b>em comparação à rosca normal:</b> menor profundidade do filete, passo menor, maior capacidade de carga, maior profundidade mínima de parafusamento $l_e$
	com rosca fina até a cabeça	M8x1 ... M64x4	DIN EN ISO 8676	
<b>Parafusos cabeça cilíndrica</b>				
	com sextavado interno, rosca normal	M1,6 ... M64	DIN EN ISO 4762	Construção de máquinas, aparelhos e automóveis; espaço de montagem reduzido, cabeça pode ser embutida <b>para cabeça mais baixa:</b> menor altura de montagem, carga reduzida <b>parafusos com fenda:</b> parafusos pequenos, carga reduzida <b>rosca fina:</b> pequena profundidade do filete, maior capacidade de carga, maior profundidade mínima de parafusamento $l_e$
	com sextavado interno, rosca fina	M8x1 ... M64x4	DIN EN ISO 21269	
	com sextavado interno, cabeça baixa	M3 ... M24	DIN 7984	
	com fenda	M1,6 ... M10	DIN EN ISO 1207	
<b>Parafusos cabeça escareada/de embutir</b>				
	com fenda (cabeça chata)	M1,6 ... M10	DIN EN ISO 2009	Múltiplo uso na construção de máquinas, aparelhos e automóveis; <b>parafusos com sextavado interno:</b> maior capacidade de carga
	com sextavado interno	M3 ... M20	DIN EN ISO 10642	
	com cabeça de lentilha (cabeça abaulada) e fenda	M1,6 ... M10	DIN EN ISO 2010	<b>parafusos com fenda cruzada:</b> maior segurança ao apertar e soltar, comparado ao parafuso de fenda
	com cabeça de lentilha e fenda cruzada	M1,6 ... M10	DIN EN ISO 7047	

Fonte: (FISCHER, et, al, 2011)

Para cada tipo de parafuso há uma norma definida com aplicação e propriedades específicas. As formas de cabeça podem ser redondas, cilíndricas abaulada, ou até mesmo sem cabeça. Os torques necessários no caso de parafusos maiores são mais facilmente transmissíveis com cabeças hexagonais, ou cabeças hexagonais com encaixe (NORTON, 2013).

### 3.2 CLASSES DE PARAFUSOS

Os parafusos de aço carbono e aço ligados são os materiais mais usados para aplicações com elementos de fixação roscados. Aços comuns utilizados para elementos de fixação roscados incluem o 1010 (sem requisitos de limite de resistência), o 1020 (parafuso sextavado polido, outros itens especiais), o 1038 (elementos de fixação de alta resistência), o 1045 (requisitos especiais de alta resistência), e o 1100 resulfurado (usualmente para porcas) (COLLINS; BUSBY; STAAB, 2019).

Parafusos para aplicações estruturais devem ser escolhidos com base na sua resistência de prova “*Sp*” que é a tensão sob a qual o parafuso começa apresentar deformação permanente, e é próxima, porém inferior, à resistência de escoamento do material, esta definida nas especificações SAE (*Society of Automotive Engineers*), ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e ISO (*International Organization for Standardization*) (NORTON, 2013). Estas organizações definem os graus ou classes para parafusos que especificam material, tratamento térmico e uma resistência mínima de prova para o parafuso através de tabelas (NORTON, 2013). Nestas tabelas, a resistência mínima de prova geralmente corresponde a cerca de 85 por cento do limite de escoamento (COLLINS; BUSBY; STAAB, 2019).

Fatores como o tipo de processo de fabricação, propriedades e as variações de materiais de diferentes fornecedores, também podem afetar a força de fixação final das juntas de parafuso. É fundamental que a junta do parafuso tenha a força de fixação correta para garantir que ela cumpra sua finalidade.

A Tabela 3 ilustra especificações concernentes à resistência mínima de prova, de escoamento, à tração e dureza de parafusos de aço estabelecidas pela “Society of Automotive Engineers” (SAE) e pela norma ISO 898-1: “*Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel — Part 1 Bolts, screws and studs with specified property classes — Coarse thread and fine pitch thread*”. O parafuso classe

10.9, por exemplo são fabricados de aço carbono que foi temperado e revenido, com uma resistência à tração de ~1000 MPa e um limite de escoamento de 90% de 1000 Mpa.

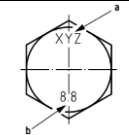
Tabela 3 – Especificações métricas e propriedades mecânicas de parafusos de aço

Número de classe	Intervalo de diâmetro externo (mm)	Resistência mín. de prova (MPa)	Resistência mín. de escoamento (MPa)	Resistência mín. à Tração (MPa)	Dureza (HRC)	
					mín.	máx.
<b>8.8</b>	M3-M36	600	660	830	23	32
<b>9.8</b>	M1,6-M16	650	720	900	28	37
<b>10.9</b>	M5-M36	830	940	1040	32	39
<b>12.9</b>	M1,6-M36	970	1100	1220	39	44

Fonte: Adaptado de: (NORTON, 2013; ISO 898, 2013)

A norma ISO 898-1 também determina o tipo de marcação obrigatória para todas as classes de parafusos. Esta devendo ser identificada com um símbolo de classe de propriedade preferencialmente na cabeça, ou em sua parte lateral. A Tabela 4 ilustra alguns tipos de marcações citadas pela norma.

Tabela 4 - Símbolos de marcação de parafusos

Classe de resistência	<b>8.8</b>	<b>9.8</b>	<b>10.9</b>	<b>12.9</b>	<b>Exemplo</b>
Símbolo	8.8	9.8	10.9	12.9	 <p>a: identificação do fabricante (opcional) b: símbolo da classe</p>

Fonte: Adaptado de: (ISO 898, 2013)

A classe de parafuso 10.9 objeto de estudo desse trabalho é bastante utilizada em aplicações automotivas e para aparafusar peças grandes e forjadas, não sendo recomendado substituí-lo para um grau inferior para esse tipo de aplicação, devido a diferença significativa de resistência mecânica (THOMPSON, 2019).

### **3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Mecanismos de projetos mecânicos são relativamente difíceis de se modelar, pois há vários fatores que precisam ser levados em consideração quando se monta uma junta aparafusada (BICKFORD, 2008), por exemplo. O tipo de aplicação que esse conjunto vai ser empregado, e os tipos de esforços (tração, compressão, flexão, etc.) que irão ser submetidos precisam ser devidamente calculados e o material adequadamente escolhido (NORTON, 2013). Um dos principais ensaios para se determinar o comportamento mecânico de um parafuso ao aplicar uma carga externa, é através do ensaio de tração (DOWNLING, 2018).

Esse tipo de ensaio fornece informações importantes sobre o material e é um método bastante comum para caracterizar as propriedades do material. O ensaio de tração consiste basicamente em carregar lentamente uma amostra do material aplicando-se uma força axial promovendo uma deformação até a sua ruptura (DOWNLING, 2018).

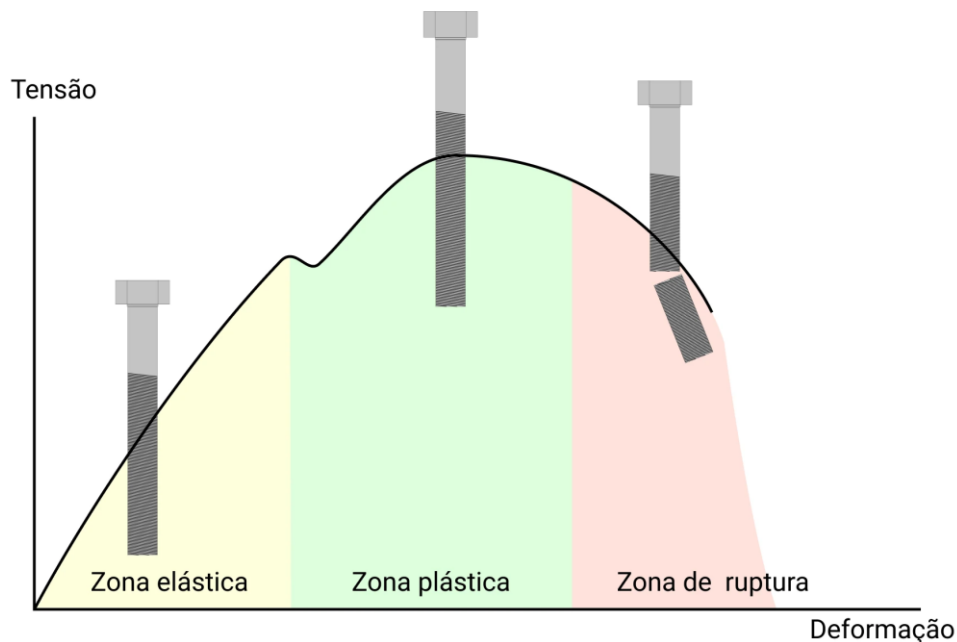
A capacidade de um parafuso para gerar e sustentar uma força de tração suficiente, é uns dos principais fatores que determinarão a força de fixação entre os membros da junta. Na maioria das aplicações, a resistência à tração à temperatura ambiente do parafuso sob cargas estáticas será um dos dois únicos fatores de resistência com os quais a indústria se preocupa, pois se aplicarmos mais do que sua força máxima, ocasionará a sua fratura (BICKFORD, 2008).

A partir desse ensaio, obtém-se um gráfico típico de “tensão vs deformação” (Figura 4), conhecido como curva tensão-deformação, onde pode-se extrair as principais propriedades mecânicas, tais como: módulo de elasticidade, limite de resistência a tração e limite de ruptura. O comportamento frágil em um ensaio de tração é a fratura sem deformação extensiva do corpo de prova, já o comportamento dúctil, fraturando sob tração somente após deformação extensiva (DOWLING, 2017).

A partir da Figura 4, observa-se uma curva do efeito da tensão x deformação em um parafuso ao torque aplicado, onde pode ser observado três principais regiões:

- Zona elástica: onde a força aplicada não é suficiente para a deformação do parafuso, nesse caso, removendo o parafuso, ele voltará para o estado inicial de deformação;
- Zona plástica: onde o parafuso não retornará para o estado inicial, ele é alongado e sua rosca sofre um pequeno afinamento, o passo da rosca se perde nesse ponto;
- Zona de ruptura: onde se passa o torque ideal do parafuso, nesse caso há uma ruptura no ponto de fixação das duas peças de montagem.

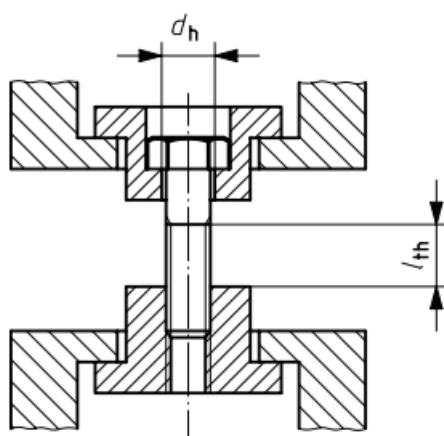
Figura 4 - Gráfico tensão x deformação de tração



Fonte: (FIRPAR, 2021)

A norma ISO 898, no tópico 9.1, define os procedimentos a serem seguidos para a realização dos testes de tração para porcas; parafusos com ou sem flange; superfícies planas de apoio ou superfícies serrilhadas. Os parâmetros e condições de ensaio para os parafusos inteiros devem ser realizados em dispositivos adaptados, como ilustrado na Figura 5, e os parâmetros adotados de acordo com a ISO 6892-1: Materiais metálicos — Ensaio de Tração. Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente.

Figura 5 - Exemplo de dispositivo adaptado para teste de tração em parafusos inteiros



dh: diâmetro do furo

lth: comprimento roscado livre do fixador no dispositivo de teste.

Fonte: Adaptado de: (ISO 898, 2013)

Outra propriedade mecânica bastante utilizada na indústria metal-mecânica, é a medida de dureza do material. Essa propriedade está relacionada à sua resistência à indentação e, mais especificamente, a sua resistência à deformação plástica permanente. Quanto mais “duro” for um material, maior será a sua resistência à indentação e à deformação plástica. A dureza é determinada pela carga sobre o projeto área da indentação (CLIFFORD *et al.*, 2014).

Assim, esta técnica consiste basicamente, em um penetrador de geometria específica (geralmente feito de diamante) é forçado no material sob uma determinada carga controlada. Ao realizar a medição, o tamanho da impressão resultante no material, é o valor de dureza medida (LOW *et al.*, 2021).

Existem várias maneiras de realizar este teste, empregando diferentes formas de penetrador, que requerem diferentes fatores de conversão entre o tamanho do indentador e a dureza. Os principais métodos são os testes de dureza Vickers, Brinell e Rockwell que são conduzidos em conformidade por normas como a ASTM ou pela ISO que especificam os requisitos para os parâmetros significativos dos testes de dureza (LOW *et al.*, 2021).

De uma maneira simplificada, várias escalas diferentes podem ser aplicadas a partir de combinações possíveis de vários penetradores e diferentes cargas é representada por uma letra do alfabeto e algumas delas estão listadas com seus penetradores e suas cargas correspondentes na Tabela 5 (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2012).

Tabela 5 - Técnicas de Ensaio de Dureza

Forma da Impressão					
Ensaio	Penetrador	Vista Lateral	Vista Superior	Carga	Fórmula para o Número de Dureza <sup>a</sup>
Brinell	Esfera de aço com 10 mm ou carbeto de tungstênio			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Microdureza Vickers	Pirâmide de diamante			P	$HV = 1,854P/d_1^2$
Microdureza Knoop	Pirâmide de diamante			P	$HK = 14,2P/b^2$
Rockwell e Rockwell Superficial	Cone de diamante; esferas de aço com diâmetros de 1/16, 1/8, 1/4 e 1/2 in			60 kg } Rockwell	
				100 kg } 150 kg } 15 kg } Rockwell Superficial 30 kg } 45 kg }	

Fonte: (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2012)

O teste de dureza Rockwell aplica dois níveis de força ao penetrador com períodos de força sendo mantidos constantes (tempos de permanência) e a profundidade do entalhe é medida duas vezes. Assim, o valor de dureza Rockwell é calculado com base na diferença entre as medições de profundidade inicial e final (LOW *et al.*, 2021).

Existem 30 escalas Rockwell definidas pela ASTM (a ISO define 15 delas), cada uma empregando diferentes forças aplicadas e/ou tipo de penetrador. As escalas Rockwell mais adequadas para testar materiais mais duros utilizam um penetrador de diamante de formato cônico com uma ponta esférica, e as escalas Rockwell para testar materiais mais macios usam penetradores esféricos compostos de carboneto de tungstênio de quatro diâmetros diferentes (LOW *et al.*, 2021).

O teste de dureza Vickers utiliza um penetrador de diamante, em forma de pirâmide de base quadrada com ângulo de 136° entre faces opostas. O número da pirâmide de Vickers (HV) ou dureza é então determinado pela razão F/A onde F é a força aplicada ao diamante e A é a área de superfície projetada da endentação resultante (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2012).

Os números de dureza Vickers são relatados como por exemplo 120 HV<sub>10</sub>, onde 120 é o número de dureza, HV dá a escala de dureza (Vickers), e 10 indica a carga utilizada em kgf. Isso representa uma dureza de 120 kgf mm<sup>2</sup>. Para converter um número



de dureza Vickers para unidades SI (Pa), a força aplicada deve ser convertida de kgf para newtons e a área de mm<sup>2</sup> para m<sup>2</sup> (CLIFFORD *et al.*, 2014).

Para todos os métodos, a profundidade do recuo é razoavelmente rasa e, como resultado, as propriedades da superfície do material são medidas. Para a maioria dos materiais, essas propriedades são representativas do volume. Como ocorrem poucos danos ao material, o método de teste é amplamente não destrutivo e é ideal para controle de qualidade. Usando um pequeno recuo e uma carga apropriadamente reduzida, as propriedades dos revestimentos e camadas de superfície endurecidas podem ser medidas (se a profundidade do recuo for inferior a 10 por cento da espessura do revestimento) (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2012; CLIFFORD *et al.*, 2014).

Outro parâmetro que influencia diretamente nas propriedades mecânicas do parafuso, é a composição química do material utilizado para sua fabricação. Os parafusos da classe 10.9 normalmente são de aço carbono com teor em torno de 0,20 a 0,55% em massa de carbono. Sua composição usualmente inclui também outros elementos de ligas, influenciando diretamente na sua resistência mecânica e dureza (GROOVER, 2014).

A norma ISO 898-1 especifica as propriedades mecânicas e físicas de parafusos feitos de aço carbono e aço liga onde detalha a composição química dos aços e as temperaturas mínimas de revenimento para as diferentes classes de propriedades de parafusos, parafusos e pinos (Tabela 6).

Tabela 6 – Especificações e composição química de aços

Classe de resistência	Matéria-prima e tratamento térmico	Composição química (% em massa) <sup>(a)</sup>				Temperatura de revenimento (°C)
		C	P	S	B <sup>(b)</sup>	
8.8 <sup>(f)</sup>	Aço carbono com aditivos (p. ex. B ou Mn ou Cr) temperado e revenido	0,15 <sup>(e)</sup>	0,40	0,025	0,025	425
	ou Aço carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
	ou Aço liga temperado e revenido <sup>(g)</sup>	0,20	0,55	0,025	0,025	
9.8 <sup>(f)</sup>	Aço carbono com aditivos (p. ex. B ou Mn ou Cr) temperado e revenido	0,15 <sup>(e)</sup>	0,40	0,025	0,025	425
	ou Aço carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
	ou Aço liga temperado e revenido <sup>(g)</sup>	0,20	0,55	0,025	0,025	
10.9 <sup>(f)</sup>	Aço carbono com aditivos (p. ex. B ou Mn ou Cr) temperado e revenido	0,20 <sup>(e)</sup>	0,55	0,025	0,025	425
	ou Aço carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
	ou Aço liga temperado e revenido <sup>(g)</sup>	0,20	0,55	0,025	0,025	

Fonte: Adaptado de: (ISO 898, 2013)

Como observado na Tabela 6, para o parafuso classe 10.9, os principais elementos de liga utilizados o fósforo (P), enxofre (S), boro (B), seguidos de tratamento térmico de têmpera e revenimento para a melhoria das propriedades (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2012; GROOVER, 2014).

De uma maneira geral, o conhecimento sobre o comportamento mecânico dos materiais, bem como a análise de sua composição química é de suma importância em projetos de engenharia. Exceder valores de tensão, por exemplo, levará à distorção permanente do componente. Poucos projetos permitem que ocorra a deformação plástica dos componentes e por isso não é comum projetar para tensões até a tensão de tração. Assim, avaliar essas propriedades auxilia para que os fatores de segurança apropriados possam ser considerados a fim de evitar falhas catastróficas do componente mecânico (CLIFFORD *et al.*, 2014).

### **3.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PARAFUSO**

Os parafusos normalmente são fabricados pelo processo de forjamento a frio, que consiste em moldar o metal no formato requerido por meio da aplicação de alta pressão causando deformação plástica, utilizando-se uma prensa ou um martelo em uma matriz, à temperatura ambiente (GROOVER, 2014). O processo de forjamento a frio garante que os parafusos possam ser produzidos rapidamente, em grandes lotes e com alta uniformidade (NORD-LOCK, 2022)

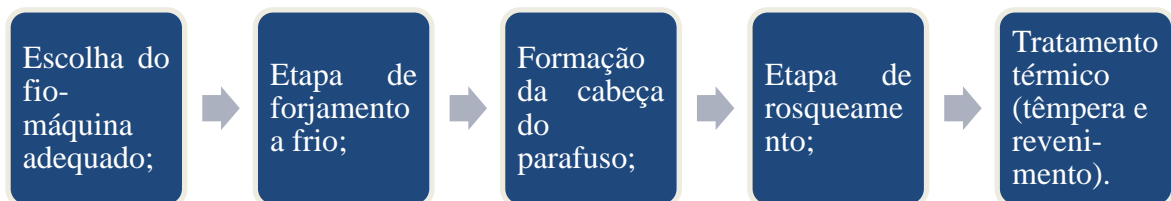
Primeiramente, a escolha da matéria prima é de suma importância devido a variedade dos tipos de materiais e o tipo de aplicação desejada. Como visto anteriormente, para o parafuso de classe 10.9 é necessário a escolha do fio-máquina de aço carbono, onde este é desenrolado e cortado no comprimento especificado, segundo os requisitos da norma internacional ISO 898-1 (PROSPECTS, 2021).

Em seguida, o material passa por uma série de moldes para lhe dar a forma cilíndrica e, depois para o forjamento da cabeça. Após, o parafuso é forçado através de roletes de pressão, que por laminação a frio, imprime o padrão de roscas no corpo do parafuso (NORD-LOCK, 2022; PROSPECTS, 2021).

Por fim, o parafuso passa por tratamento térmico de têmpera, que consiste em levar o material ao forno a uma alta temperatura (austenização), seguido de um resfriamento rápido (em água, óleo, ar etc.), obtendo-se então a formação de uma estrutura martensítica, que proporciona o aumento da dureza, da resistência mecânica e ao desgaste

(GROOVER, 2014). Posteriormente, para reduzir a fragilidade do parafuso devido o resfriamento abrupto, realiza-se o tratamento térmico de revenimento, elevando o parafuso temperado a uma temperatura abaixo da austenização durante uma isoterma pré-definida, em seguida de resfriamento lento, normalmente ao ar. Com isso, o parafuso torna-se menos frágil devido o alívio de tensões proporcionado pela têmpera (GROOVER, 2014; NORD-LOCK, 2022).

Figura 6 – Fluxograma processo de produção do parafuso



Fonte: Autor

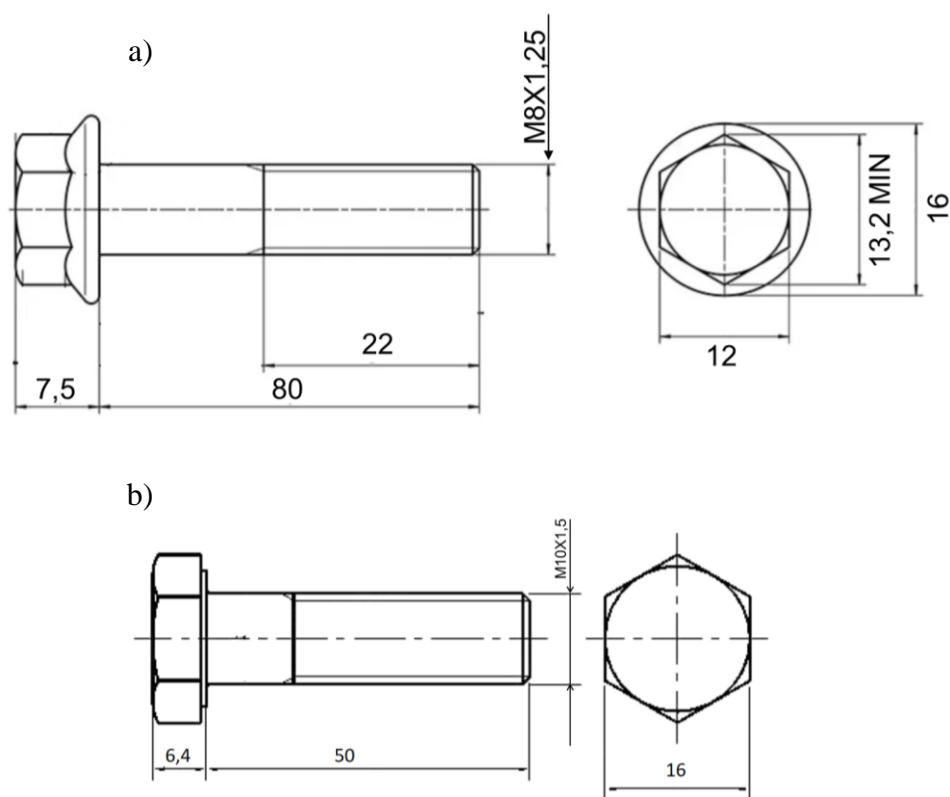
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão abordados os materiais e métodos (metodologia experimental) utilizados neste trabalho para a análise comparativa do parafuso com certificado de qualidade e sem certificado.

### 4.1 MATERIAIS

Os parafusos utilizados nesse estudo são da classe 10.9, adquiridos na concessionária da Honda classificado como o de recomendação do fabricante (normatizado), com comprimento de 80 mm, rosca M8x1,25, cabeça flange sextavada, e o material aço liga SAE 4135, apresentado na Figura 7a, e o outro adquirido pela empresa “Vetoh parafusos” com comprimento de 50 mm, rosca M10x1,5, cabeça flange sextavada, e sem certificado de qualidade classificado neste estudo como genérico, e ilustrado na Figura 7b.

Figura 7 – Desenho técnico do parafuso a) Normatizado b) Genérico.

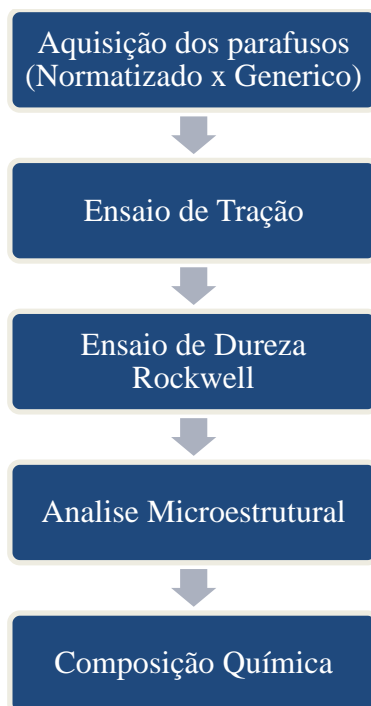


Fonte: Autor

## 4.2 MÉTODOS

A Figura 8 a seguir apresenta o fluxograma especificando os ensaios e caracterizações que foram utilizados no presente estudo.

Figura 8 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor

### 4.2.1 Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado conforme as recomendações da norma ISO 898 e ISO 6892-1, onde estas indicam que não há preparação específica do corpo de prova e sim apenas levando em consideração o dimensional do parafuso em dispositivos adaptados. Os testes foram executados a temperatura ambiente  $25\pm 5^{\circ}\text{C}$  na Máquina Universal de Testes de Tração da marca “*Shimadzu*”, modelo “*UH 300kN IR*”, a uma velocidade de 10 mm/min, acoplado em um dispositivo próprio para parafusos, como observado na Figura 9. Para cada grupo de parafuso classificado como normalizado e genérico, foram ensaiadas 5 diferentes amostras, e plotados os gráficos de “tensão x deformação”, identificando os seus limites de resistência à tração, limite de escoamento e o alongamento após a ruptura, conforme determinado na norma.

Figura 9 – Dispositivo acoplado ao parafuso na máquina de tração.



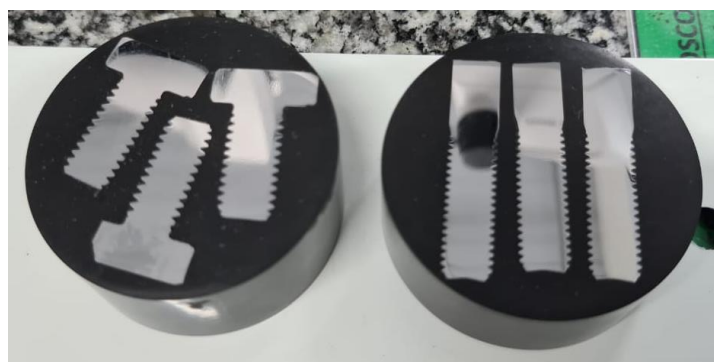
Fonte: Autor

#### 4.2.2 Ensaio de dureza

Para a realização do ensaio de dureza Rockwell (HRC), foram seguidas as recomendações da norma ISO 898 e a ISO 6508-2: Materiais metálicos - Ensaio de dureza Rockwell - Parte 2: Verificação e calibração de máquinas de ensaio e penetradores. Assim, para a realização das medições, 3 amostras de cada grupo classificados como genéricos e normatizados, foram embutidas à quente com baquelite em uma prensa de embutimento da marca “Arotec” da seção longitudinal do corpo do parafuso, bem como realizado a metalografia (Figura 10). Inicialmente, as amostras foram lixadas em uma politriz da marca “Strues” utilizando-se as lixas de granulometria de 220, 320, 420, 600 e 1200 com água corrente, onde para cada troca de lixa, mudou-se o sentido da amostra a 90 graus. Posteriormente, para o polimento foi utilizado alumina em suspensão estabilizada da marca “Schneider” de 1  $\mu\text{m}$ , descrevendo um 8 em uma politriz da marca

“Arotec” com o prato parado. E por fim, foi realizado o ataque químico com o ácido nítrico em solução 5% da marca “Êxodo científica” em aproximadamente 2,5 segundos. O equipamento utilizado foi da marca “Mitutoyo (*Rockwell Hardness Testing Machine*) - HR 400”, onde foram mensuradas 5 endentações e calculadas suas respectivas médias e desvio padrão.

Figura 10 – Perfil das amostras embutidas a quente da seção longitudinal dos parafusos genéricos (à esquerda) e normatizados (à direita).



Fonte: Autor

#### 4.2.3 Análise Microestrutural e teor de carbono

A análise microestrutural da seção longitudinal do parafuso foi observada em um microscópio ótico da marca “Olympus IX73P2F”. Para isso, as amostras de cada grupo (normatizado e genérico) foram preparadas metalograficamente (embutimento, lixamento, polimento e ataque químico) conforme descrito anteriormente no item 4.2.2. E obtidas as imagens de sua microestrutura nas ampliações de x100 e x500.

Para a análise do %Carbono-Enxofre. O equipamento utilizado foi o analisador “LECO CS 744”. Inicialmente, as amostras foram pesadas em uma micro balança em massas de aproximadamente 0,5g cada (a geometria das amostras não afeta na análise), o ensaio foi realizado em triplicatas com os parafusos genéricos e normatizados.

As amostras então são carregadas em um cadinho de cerâmica e inseridas em um forno de indução onde oxigênio de alta pureza é adicionado e a temperatura elevada a até 1800 °C e a combustão assim é processada. Carbono e Enxofre são oxidados em dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e em dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) onde ambos são detectados por células infravermelhas não dispersivas, que se baseiam no princípio que CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> absorvem a energia infravermelha em comprimentos de onda exclusivos.

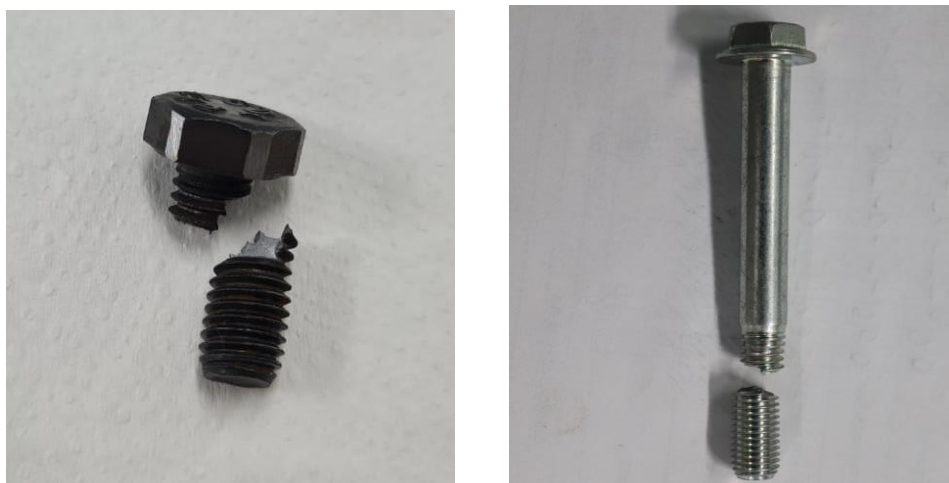
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão discutidos os resultados encontrados das propriedades mecânicas, e composição química dos parafusos genérico e normatizado desse estudo.

### 5.1.1 Propriedades mecânicas

O conhecimento sobre como o material se comporta a determinados tipos de forças são importantes para definir sua capacidade de resistir aos esforços que lhe são aplicados, até a fratura ou até as suas deformações permanentes (GARCIA, 2017). Para a caracterização das propriedades mecânicas dos parafusos genéricos e normatizados foram utilizados os ensaios de tração e dureza (item 5.1.2). Neste ensaio, foi aplicado uma carga de tração uniaxial dos parafusos até a sua ruptura, onde nota-se que os parafusos ensaiados fraturaram na região da rosca (Figura 11).

Figura 11 –Parafusos fraturados após o ensaio de tração dos genéricos (à esquerda) e normatizados (à direita).



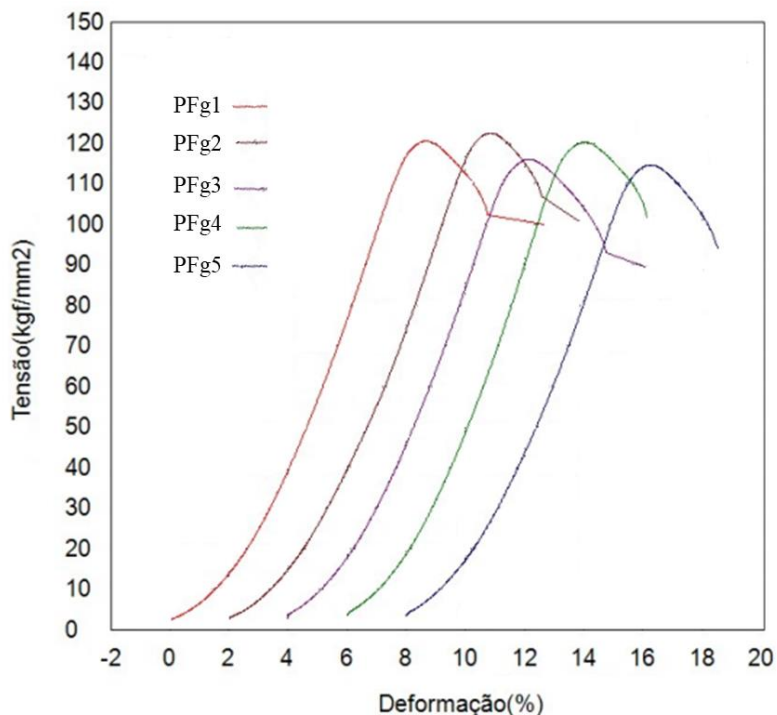
Fonte: Autor

Foram obtidos as curvas “tensão ( $\sigma$ ) x deformação ( $\epsilon$ )” dos corpos de provas que estão ilustrados nas Figura 12 e 13. A partir dessas curvas foram extraídas as propriedades mecânicas de limite de resistência a tração ( $\sigma_u$ ), limite de escoamento ( $\sigma_e$ ) e alongamento (%) até a ruptura, onde os valores estão resumidos nas Tabelas 7 e 8.



O limite de resistência a tração ( $\sigma_u$ ) dos materiais metálicos é definida como a máxima tensão que o material suporta antes de sua ruptura. Após esse nível máximo de tensão, o material começa o seu processo de fratura (SANTOS, 2015).

Figura 12 – Gráficos tensão x deformação dos parafusos genéricos



Fonte: Autor

Os valores de  $\sigma_u$  dos parafusos genéricos apresentaram valores médios de 1164,00 MPa  $\pm$  32,42 e dos parafusos normatizados 1137,39  $\pm$  18,2 MPa. Estes resultados encontrados estão de acordo com os valores mínimos estabelecidos pelo item 7 da norma ISO 898-1 para os parafusos de classe 10.9.

O limite de escoamento ( $\sigma_e$ ) é definido como a tensão de início da deformação plástica do material, ou seja, deformação permanente (SANTOS, 2015). Como podemos observar nas Figuras 12 e 13, não é possível calcular a módulo de elasticidade pois não foi possível extrair os valores brutos da máquina devido a limitação do software. Dessa forma, o próprio software da máquina fornece os valores de tensão de escoamento a 0,2% de deformação automaticamente. Assim os valores de  $\sigma_e$  para os parafusos genéricos apresentaram valores médios de 1140,70 MPa  $\pm$  31,83 e os normatizados 1089,89  $\pm$  24,1, conforme indicados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Propriedades mecânicas de Tração parafuso genérico

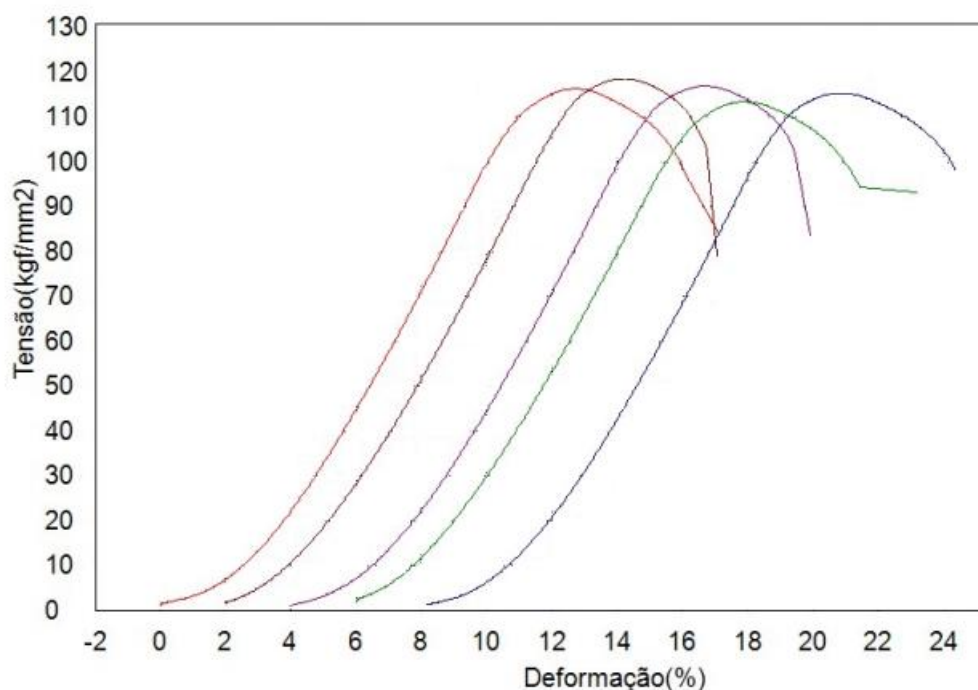
Item Ensaiado	Especificado		PFg1	PFg2	PFg3	PFg4	PFg5	Média
Limite de Resistência ( $\sigma_u$ ) (MPa)	Nom.	1000	1181,17	1200,16	1136,92	1178,51	1123,27	1164,00 $\pm$ 32,42
	Min.	1040						
Limite de escoamento ( $\sigma_e$ ) a 0,2% (Mpa)	Nom.	900	1157,77	1179,08	1113,50	1150,57	1102,60	1140,70 $\pm$ 31,83
	Min.	940						
Alongamento %	Min	9	11	10,5	10	9,5	9,5	10,10 $\pm$ 0,65

PFg: Parafuso genérico.

Fonte: Autor

Da mesma maneira como os valores encontrados de limite de resistência a tração ( $\sigma_u$ ), os resultados para o limite de escoamento ( $\sigma_e$ ) também estão de acordo com os valores mínimos estabelecidos pelo item 7 da norma ISO 898-1 para os parafusos de classe 10.9.

Figura 13 – Gráficos tensão x deformação dos parafusos normalizados



Fonte: Autor

O alongamento percentual (%) dos parafusos ensaiados correspondem ao acréscimo percentual do comprimento final do corpo de prova após o ensaio em relação ao seu comprimento inicial (SANTOS, 2015). Os alongamentos dos parafusos foram calculados de acordo com a Equação (1), onde a variável L corresponde ao valor do comprimento final do parafuso depois o ensaio e Lo ao valor do comprimento inicial útil do parafuso. Todos os parafusos genéricos e normatizados também apresentaram os valores mínimos de alongamento (%) estabelecidos pelo item 7 da norma ISO 898-1 para os parafusos de classe 10.9.

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Tabela 8 – Propriedades mecânicas de Tração parafuso normatizado

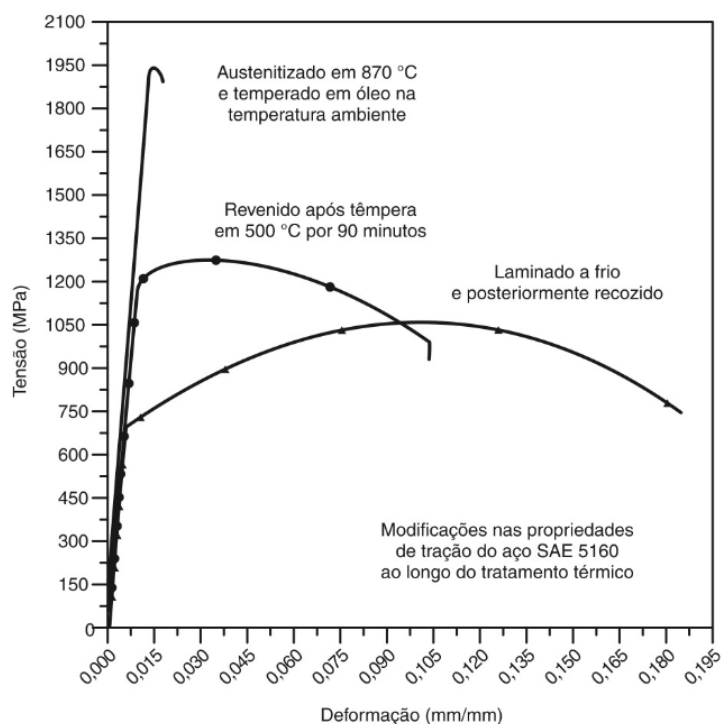
Item Ensaiado	Especificado		PFn1	PFn2	PFn3	PFn4	PFn5	Média
Limite de Resistência ( $\sigma_u$ ) (MPa)	Nom.	1000	1140,92	1163,06	1112,30	1131,70	1138,96	1137,39±18,2
	Min.	1040						
Limite de escoamento ( $\sigma_e$ ) a 0,2% (Mpa)	Nom.	900	1085,06	1124,24	1099,76	1058,89	1081,53	1089,89±24,1
	Min.	940						
Alongamento %	Min	9	15	13	14	15	13	14±1

PFn: Parafuso normatizado.

Fonte: Autor

Cabe ressaltar, que os tratamentos térmicos influenciam nas propriedades mecânicas do material, de modo que ao elevar a dureza do material tem como consequência direta a elevação dos níveis das tensões de escoamento e máxima (GARCIA, 2017). Como por exemplo, a Figura 14 ilustra os diferentes comportamentos mecânicos para o aço SAE 5160 em função de diferentes tratamentos térmicos. Observa-se que este material austenitizado a 870 °C e temperado em óleo, tornou-se extremamente fragilizado, não apresentando nenhuma deformação. Já o material revenido, apresenta um limite de resistência a tração em torno de 1250 MPa e ao ser laminado a frio e recozido, ocorre o aumento considerável da ductilidade do material.

Figura 14 – Curvas tensão x deformação do aço SAE 5160, na condição de laminado a frio e recozido, temperado e revenido



Fonte: (GARCIA, 2017)

Os resultados de propriedades mecânicas apresentaram valores satisfatórios e próximos aos padronizados conforme estabelecidos pela norma ISO 898-1, de tratamento térmico de temperado e revenido. Pois apresentaram, comportamento e propriedades similares a curva de revenido da Figura 14. De modo geral, apesar dos parafusos genéricos não possuírem um controle de qualidade rigoroso quando comparados a grandes empresas automotivas, estes também podem ter um certo nível de segurança para o consumidor final.

### 5.1.2 Dureza Rockwell (HRC)

As medições de dureza obtidas na escala HRC são apresentadas na Tabela 9 para os parafusos genéricos e Tabela 10 correspondentes ao parafuso normatizado.

Comparando as duas tabelas (9 e 10), observa-se que não houve variação significativa nos valores encontrados, inferindo que ambos os parafusos possuem elementos de liga similares. A matéria-prima do aço SAE 4135, possui a dureza em

aproximadamente 175 ~180 HB em seu estado laminado/normalizado, relativamente “mole”.

Tabela 9 – Dureza HRC parafuso genérico

HRC	Especificado (ABNT EB-168)		ENDEN-TAÇÃO	PFg 1	PFg 2	PFg 3	MÉDIA
	Min	Máx					
	Min	32	1	33	32	32	33 ± 1,53
	Máx	39					
	Min	32	2	32	32	32	32 ± 0,58
	Máx	39					
	Min	32	3	35	33	34	32 ± 1,15
	Máx	39					

PFg: Parafuso genérico.

Fonte: Autor

Assim, para os valores de dureza média obtidos, nota-se que os parafusos ensaiados passaram pelos tratamentos térmicos determinados pela norma ISO 898 de tempera e revenimento.

Tabela 10 – Dureza HRC parafuso normatizado

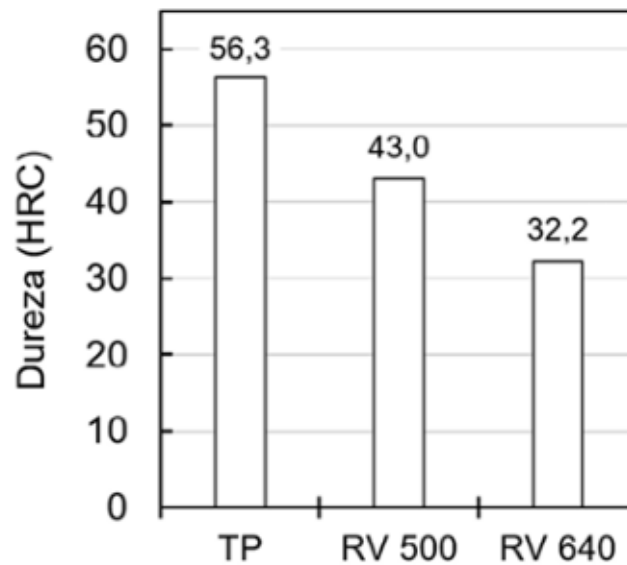
HRC	Especificado (ABNT EB-168)		ENDEN-TAÇÃO	PFn 1	PFn 2	PFn 3	MÉDIA
	Min	Máx					
	Min	32	1	33	34	32	33 ± 0,58
	Máx	39					
	Min	32	2	34	33	33	34 ± 0,58
	Máx	39					
	Min	32	3	33	34	34	33 ± 1,00
	Máx	39					

PFn: Parafuso normatizado.

Fonte: Autor

A Figura 15 mostra os resultados de dureza HRC para o aço SAE 4340 que foi temperado após austenitização a 850 °C e revenido nas temperaturas de 500 °C e 640 °C (PINEDO, 2021). No gráfico, nota-se a queda de dureza com o aumento na temperatura de revenimento de 500 °C para 640 °C.

Figura 15 – Dureza do aço SAE 4340 em função da tempera e revenimento



Fonte: (PINEDO, 2021)

Considerando que a norma ISO 898 determina uma temperatura de revenimento a partir de 425 °C, então para esse material apresentar valores de dureza em torno de 32 ~39 HRC estabelecido pela norma, a temperatura ideal de revenimento seria em torno de 600 °C. Já para o aço 4135, a temperatura de revenimento é mais baixa, entre 500 ~550 °C, conforme estudado por Ferreira et. al, (2011). Percebe-se que a temperatura de revenimento, é um parâmetro primordial para definir as propriedades mecânicas do parafuso, e que varia de acordo com o tipo de aço utilizado.

Portanto, conclui-se que os parafusos genéricos e normatizados estão de acordo com os requisitos da norma ISO 898-1, apresentando propriedades de dureza equivalentes ao tratamento térmico utilizado.

### 5.1.3 Microestrutura e teor de carbono

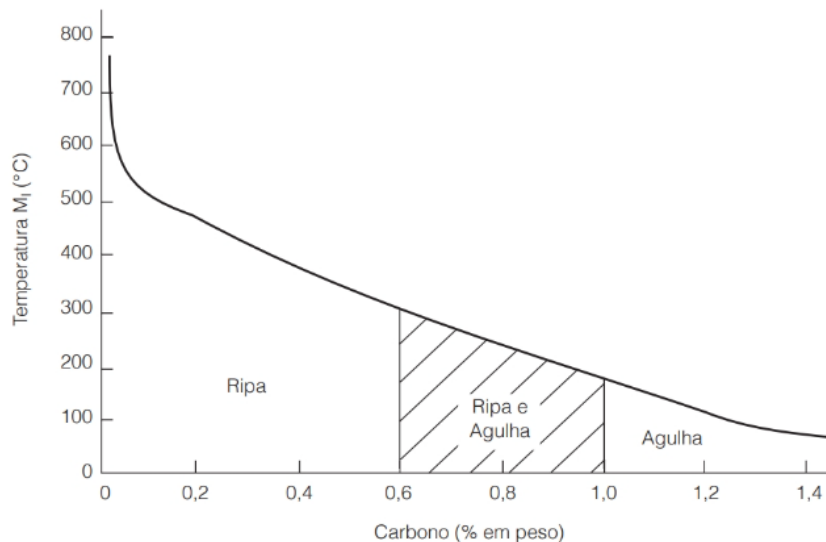
O comportamento e as propriedades mecânicas de um material dependem diretamente de sua microestrutura. A microestrutura de um aço e/ou uma liga depende de sua composição química e suas concentrações, além do tipo de tratamento térmico ao que o material foi submetido (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2012).

Por exemplo, é comum que ocorra a fragilização do material pela tempera, pois ao elevar o material a temperatura de austenitização, em seguida de um resfriamento abrupto, resulta em uma fase metaestável martensítica (PINEDO, 2021).

A martensita é uma solução sólida supersaturada de carbono em ferro tetragonal de corpo centrado (TCC), com tensões residuais excessivas, ductilidade e tenacidade muito baixas (COLPAERT, 2008). Como por exemplo, observa-se o aumento significativo de sua dureza (Figura 15) e sua fragilidade com a perda de propriedades mecânicas como visto na Figura 14. Dessa maneira, para que ocorra o alívio das tensões excessivas provenientes da têmpera, realiza-se o tratamento térmico de revenimento para se atingir valores adequados de propriedades mecânicas (SILVA, 2021).

A estrutura obtida pelo revenimento é chamada de martensita revenida, composta por ferrita e cementita com características de bainita. A forma de sua microestrutura depende diretamente da % de carbono da liga e das etapas realizadas do revenimento (temperatura de transformação entre 250 ~ 700 °C) em que o material foi submetido, como ilustrado na Figura 16 (COLPAERT, 2008; SILVA, 2021).

Figura 16 – Temperatura de início de formação da martensita e sua morfologia em função do teor de carbono



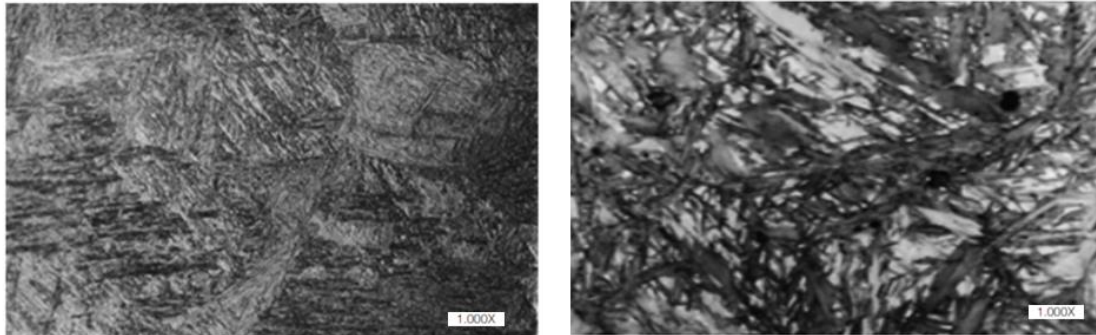
Fonte: Adaptado: (SILVA, 2021)

De acordo com a Figura 16, a microestrutura em formatos do tipo “ripa” podem ser observados nos aços de baixo carbono (< 0,6 %C) e do tipo “agulhas” para aços de alto carbono (acima de 1 %), como exemplificado na Figura 16.

Figura 17 – Estruturas martensíticas em formatos de “ripas (à esquerda) e formato de “agulhas” (à direita)

Aço 0.2 C - 1 Mn - 0,03 Nb

Aço 1095



Fonte: Adaptado: (SILVA, 2021)

De acordo com a Tabela 6, os parafusos da classe 10.9 podem ser fabricados de aço carbono com aditivos e aços ligas de carbono com até 0,55% de carbono e de enxofre de 0,025% em massa. Os resultados desses elementos em massa dos parafusos genéricos e normatizados estão conforme exigidos pela norma, pois o enxofre é uma impureza que pode favorecer a formações de inclusões no material.

Tabela 11 – Teor de carbono e de enxofre dos parafusos genéricos e normatizados

Elemento	Parafusos genéricos	Parafusos normatizados
% Carbono (C) 0,20~0,55	0,3160 % ±0,003	0,3430% ±0,002
% Enxofre (S) 0,25 max	0,007 % ±0,0002	0,010% ±0,0003

A Figura 17 corresponde a microestrutura dos parafusos genéricos e a Figura 18 dos parafusos normatizado tanto na região do flanco e do núcleo. Nota-se que as microestruturas são formadas por martensita revenida em formas de “ripas”, tanto na região do flanco e da região do núcleo, não sendo possível observar diferenças



significativas entre elas. Sendo possível, concluir que os parafusos passaram pelos tratamentos térmicos determinados pela norma ISO 898-1.

Figura 18 – Microestrutura parafuso genérico a) x100, b) 500x flanco e c) x500 núcleo.



Fonte: Autor

Figura 19 – Microestrutura parafuso normatizado a) x100, b) 500x flanco e c) x500 núcleo.



Fonte: Autor

## 6 CONCLUSÕES

Foram analisados parafusos da classe de resistência 10.9 de diferentes fontes de fornecimento, sendo uma especificada pelo próprio fabricante e outro parafuso classificado como genérico. Os resultados das propriedades mecânicas dos parafusos ensaiados foram caracterizados metalurgicamente e mecanicamente, de acordo com norma Internacional ISO 898-1 que diz respeito as especificações de parafusos da classe 10.9. Com os resultados obtidos, foi possível chegar as seguintes conclusões:

Quanto as propriedades mecânicas de tração, as amostras genéricas ensaiadas, possuíram limites de resistência e de escoamento ligeiramente acima dos valores das amostras normatizadas, porém as amostras normatizadas tiveram um alongamento percentual superior às amostras genéricas. Mesmo assim, nenhuma das amostras apresentaram valor divergente das especificações da Norma ISO 898.

Quanto aos valores de dureza encontrados, ambos os tipos ensaiados não apresentaram valores discrepantes de suas médias. No entanto, os resultados foram muito perto dos limites mínimos especificados, mas não configuram um desvio dos padrões.

No ensaio metalográfico, encontrou-se microestruturas martensíticas revenidas, indicando que ambos os parafusos passaram por processos de tratamento térmicos eficientes. Considerando o percentual de carbono encontrado nas amostras, ambos utilizaram percentuais de carbono semelhantes e também não houve a presença de contaminantes do elemento enxofre em excesso em nenhum dos materiais.

De uma maneira geral, os parafusos genéricos, mesmo não possuindo um certificado de qualidade quanto sua origem, mostrou uma qualidade da matéria-prima utilizada, assim como seu processo de fabricação, pois apresentaram valores exigidos pela norma ISO 898. Além disso, os parafusos normatizados não apresentam nenhuma propriedade destoante a norma, inferindo que a utilização dos mesmos realmente é segura e confiável.

## REFERÊNCIAS

ATKINS, Tony; ESCUDIER, Marcel. **A Dictionary of Mechanical Engineering**. United States of America: Oxford University Press, 2019.

BERARDI, Fasteners. **Quality guaranteed, selection of sources and materials, people and tools**, 2022. Disponível em: <<https://www.berardi-screws-bolts.com/about-us/quality/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2022.

BICKFORD, John H. **Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints: Non-Gasketed Joints**. Reino Unido, CRC Press, 2008.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley**. 10ª Edição. 10ª edição. Porto alegre: Mc Graw Hill, 2011.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia dos Materiais - Uma Introdução**. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

COLLINS, Jack A.; BUSBY, Henry R.; STAAB, George H. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas - Uma perspectiva de prevenção da falha**. 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

COLPAER, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4ª edição. São Paulo: Blucher, 2008.

CLIFFORD, Michael *et al.* **An introduction to mechanical Engineering**. 1ª edição. Reino Unido: CRC Press, 2009.

DYM, Clive L.; LITTLE, Patrick; ORWIN, Elizabeth. **Engineering design: a project-based introduction**. 4ª edição. Estados Unidos: Wiley, 2013.

DOWLING, Norman. **Comportamento Mecânico dos Materiais**. 4ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

FATI, Ferramentas. **A história dos parafusos e suas especialidades**, 2020. Disponível em: <<https://www.fatiferramentas.com.br/a-historia-dos-parafusos-e-suas-especialidades>>. Acesso em: 1 de outubro de 2022.

FERREIRA, Itamar; MARCELO, André L.; UEHARA, André Y.; Martins, Jairo A.; UTIYAMA, Roberto M.; TOKIMATSU, Ruis C. **Propriedades de Fadiga de Parafusos de Alta Resistência Mecânica Parte 1**, 2021. Disponível em: <<http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=464>>. Acesso em: 15 de outubro de 2022.

FISCHER, Ulrich; GOMERINGER, Roland; HEINZLER, Max; KILGUS, Roland; NÄHER, Friedrich; OESTERLE, Stefan, PAETZOLD, Heinz; STEPHAN, Andreas. **Manual de Tecnologia Metal Mecânica**. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 2011.

FIRPAR, **Parafusos automotivos**, 2021. Disponível em: < <https://firpar.com.br/posts/a-importancia-do-torque> >. Acesso em: 05 de maio de 2022.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaaios dos materiais**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Grupo Gen - LTC, 2017.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Grupo Gen - LTC, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 898-1: Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread. Geneva: ISO, 2013.

LOW, S; Germak, A.; Knott, A.; Machado, R.; Song, J. **Developing definitions of conventional hardness tests for use by National Metrology Institutes. Measurement: Sensors**, v. 18, p. 100096, 2021.

NIEMANN, Gustav. **Elementos de Máquinas**. Volume 1, 2 e 3. São Paulo: Blucher, 1971.

NORD-LOCK, International. **The history of the bolt**, 2022. Disponível em: < <https://www.nord-lock.com/tr-tr/insights/knowledge/2017/the-history-of-the-bolt/> >. Acesso em: 1 de outubro de 2022.

NORD-LOCK, International. **The making of bolts**, 2022. Disponível em: <<https://www.nord-lock.com/insights/knowledge/2018/the-making-of-bolts/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2022.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem Integrada**. 4ª edição. Porto alegre: Bookman editora LTDA, 2013.

PINEDO, Carlos Eduardo. **Tratamentos térmicos e superficiais dos aços**. 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2021.

PROSPECTS, Market. **What Are a Bolt and the Production Process?**, 2021. Disponível em: < <https://www.market-prospects.com/articles/what-are-a-bolt-and-its-manufacturing-process> >. Acesso em: 1 de outubro de 2022

SANTOS, Givanildo Alves dos. **Tecnologia dos materiais metálicos: propriedades, estruturas e processos de obtenção**. 1ª edição. São Paulo: Érica, 2015.

SILVA, André Luiz V. da Costa; MEI, Paulo Roberto. **Aços e ligas especiais**. 4ª edição. São Paulo: Blucher, 2021.

SMITH, Thomas Fastener. **Technical Information**, 2021. Disponível em: < <https://www.thomasmithfasteners.com/technical/> >. Acesso em: 05 de maio de 2022.

THOMPSON, Rob. **Automotive Maintenance & Light Repair**. 2ª edição. Boston: Cengage, 2019.