



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CENTRO DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS**

**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA**

**JULIANA JOYCE BARBOSA DE ALBUQUERQUE**

**ESTUDO TEÓRICO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO  
ASTM A36 PELO AÇO SAE 1020**

**FORTALEZA**

**2021**

JULIANA JOYCE BARBOSA DE ALBUQUERQUE

ESTUDO TEÓRICO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO ASTM  
A36 PELO AÇO SAE 1020

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva.

Fortaleza

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A31e Albuquerque, Juliana Joyce Barbosa de.  
Estudo teórico de viabilidade técnica da substituição do aço ASTM A36 pelo aço SAE 1020 / Juliana Joyce  
Barbosa de Albuquerque. – 2021.  
55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva.

1. SAE 1020. 2. ASTM A36. 3. Propriedades mecânicas. I. Título.

CDD 669

---

JULIANA JOYCE BARBOSA DE ALBUQUERQUE

ESTUDO TEÓRICO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO ASTM  
A36 PELO AÇO SAE 1020

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Metalúrgica do  
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de  
Materiais da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo José Gomes da  
Silva.

Aprovada em: \_\_ / \_\_ / \_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo José Gomes de Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jorge Luiz Cardoso  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Hamilton Ferreira Gomes de Abreu  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus,

A minha mãe, Ednete.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu forças em momentos que eu pensei em não conseguir lidar, e que apenas o afago dele pôde me orientar nas dificuldades enfrentadas.

À minha mãe, por todo o suporte durante minha vida, por ser minha melhor amiga, meu exemplo de força e inspiração. E que, mesmo não entendendo sobre Engenharia, se prontificou a escutar todas as vezes que eu precisei explicar o que estava estudando. O meu maior exemplo de amor e força.

Ao meu orientador, Marcelo, por acreditar na minha ideia, me deixar confortável durante todo o processo e me orientar quando necessário.

À Universidade Federal do Ceará, por me receber e me proporcionar tantas experiências fantásticas ao longo do curso.

Ao Felipe, que esteve ao meu lado durante todo o processo, acompanhando, dando apoio, orientando e me segurando, emocional e fisicamente, quando eu me senti perdida e sem chão. Foi um apoio que, sem ele, eu não teria conseguido passar por tudo isso. E agradeço, principalmente, por ser meu maior incentivador, por acreditar em mim mais que eu mesma e me mostrar todos os dias que eu não estava sozinha.

À Stephany, que aguentou todos os surtos, que compartilhou comigo todas as ideias e que escutou, incansavelmente, todos os áudios explicando, reclamando e chorando, durante os últimos anos e especialmente durante esse semestre. E que me ajudou, mesmo sem saber, me fazendo rir e me mostrando que eu conseguia dar conta de tudo.

Ao Israel, que me proporcionou muitos risadas e momentos de entretenimento que me fizeram esquecer o estresse que estava passando, seja mandando vídeos de crianças, seja contando piadas absurdas. Mesmo distante, sempre acreditou em mim e me apoiou durante essa longa caminhada.

Ao Édrio, Mateus e Lucas, por serem meus grandes parceiros de curso, estudando juntos, se desesperando juntos, e principalmente, rindo juntos. Boa parte da minha graduação eu devo a vocês, ao apoio e a amizade. “Ninguém se forma sozinho”

À Vitória, João Carlos e Helny, amigos que eu conquistei durante minha caminhada profissional, mas que se fazem presentes na minha vida pessoal, que sempre me apoiam e me ouvem com carinho.

## RESUMO

Os aços estruturais são materiais com alta ductibilidade e boa relação entre limite de resistência e limite de escoamento. Um dos aços estruturais mais usados na indústria de construção civil é o aço ASTM A36, pois possui média resistência à tração e limite de escoamento, alta ductibilidade e soldabilidade. A composição química do ASTM A36 embora possua alguns teores mínimos de elementos de liga, é majoritariamente ferro e carbono, se assemelhando bastante a composição química de outro aço, o SAE 1020. Como suas composições são semelhantes, suas propriedades mecânicas também são similares. O presente trabalho abordou a viabilidade técnica do uso do aço SAE 1020 como substituto para o aço ASTM A36, uma vez que possuem propriedades mecânicas parecidas. Com o objetivo de comparar as propriedades mecânicas desses materiais, foram analisados artigos científicos e teses que tratavam separadamente de cada um dos materiais citados, abordando as propriedades mecânicas de limite de resistência a tração e limite de escoamento, para que fossem comparados, individualmente e em conjunto, os dados obtidos por cada estudo. De acordo com o material analisado, e os resultados obtidos pela literatura, foi possível notar que as propriedades mecânicas do aço SAE 1020 e ASTM A36 são bem similares, mas que seguindo as normas técnicas para aços estruturais, o aço SAE 1020 não obedece todos os critérios estabelecidos para ser utilizado como um substituto do aço ASTM A36, fazendo o papel de aço estrutural.

**Palavras-chave:** SAE 1020. ASTM A36. Propriedades Mecânicas. Aço Estrutural.

## ABSTRACT

Structural steels are materials with high ductility and a good relationship between strength and yield strength. One of the most used structural steels in the civil construction industry is ASTM A36 steel, as it has medium tensile strength and yield strength, high ductility and weldability. The chemical composition of ASTM A36, although it has some minimum content of alloying elements, is mostly Iron and Carbon, very similar to the chemical composition of another steel, SAE 1020. As their compositions are similar, their mechanical properties are also similar. The present work will address the technical feasibility of using SAE 1020 steel as a substitute for ASTM A36 steel, since they have similar properties. In order to compare the properties of these materials, scientific articles and theses that dealt separately with each of the materials mentioned were analyzed, addressing the mechanical properties of tensile strength and yield strength, so that they could be compared, individually and together, the data obtained by each study. According to the material analyzed, and the results obtained in the literature, it was possible to notice that the mechanical properties of the SAE 1020 and ASTM A36 steel are very similar, but that following the technical standards for structural steels, the SAE 1020 steel does not comply with all established criteria to be used as a substitute for ASTM A36 steel, playing the role of structural steel.

**Keywords:** SAE 1020. ASTM A36. Mechanical properties. Structural Steel.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Diagrama Fe-C .....	15
Figura 3.2 – Gráfico de dureza, tensão e tensão de escoamento vs. Teor de Carbono.....	18
Figura 3.3 – Corpo de prova para ensaio de tração .....	23
Figura 3.4 – Curva tensão vs. deformação.....	24
Figura 4.1 – Gráfico da influência do teor de carbono sobre as propriedades de aços carbonos esfriados lentamente.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Linhas do digrama de fases Fe-C.....	15
Tabela 3.2 – Principais Fases do Diagrama Fe-C.....	16
Tabela 3.3 – Classificação do aço de acordo com seu teor de carbono.....	17
Tabela 3.4 - Classificação de aços, conforme SAE e AISI.....	19
Tabela 3.5 – Propriedades do aço SAE 1035.....	20
Tabela 3.6 – Propriedades mecânicas do aço SAE 1015.....	20
Tabela 3.7 – Propriedades mecânicas do aço SAE 1080.....	20
Tabela 3.8 – Descrição das Propriedades Mecânicas do aço.....	21
Tabela 3.9 – Propriedades mecânicas de acordo com o teor de carbono.....	22
Tabela 3.10 – Influencia dos elementos de liga nas propriedades mecânicas.....	22
Tabela 3.11 – Classificação aços norma ABNT 8800:2008.....	26
Tabela 3.12 – Composição química do Aço SAE 1020.....	26
Tabela 3.13 – Propriedades do aço SAE 1020.....	26
Tabela 3.14 – Composição Química do ASTM A36 (Formas/Shapes).....	27
Tabela 3.15 – Composição Química do ASTM A36 (Chapas).....	27
Tabela 3.16 – Composição Química do ASTM A36 (Barras).....	27
Tabela 3.17 – Propriedades Aço ASTM A36.....	28
Tabela 3.18 – Velocidades de resfriamento de acordo com a secção da peça.....	31
Tabela 3.19 – propriedades mecânicas dos aços normalizados.....	32
Tabela 6.1 – Amostras de dobramento ASTM A36.....	35
Tabela 6.2 – Ensaio de tração ASTM A36.....	36
Tabela 6.3 – Ensaio Charpy para o ASTM A36.....	36
Tabela 6.4 – Ensaio de tração A36.....	37
Tabela 6.5 – Ensaio de compressão A36.....	38
Tabela 6.6 – Ensaio de compressão A36 parte 2.....	38

Tabela 6.7 – Ensaio de tração ASTM A36 .....	39
Tabela 6.8 – Resultado do ensaio de tração aço ASTM A36 .....	40
Tabela 6.9 – Resultado Ensaio de Impacto Charpy ASTM A36 .....	40
Tabela 6.10 – Resultados Ensaio de Tração SAE 1020.....	41
Tabela 6.11 – Ensaio de tração SAE 1020.....	41
Tabela 6.12 – Dados do ensaio de tração.....	42
Tabela 6.13 – Resultado do ensaio de tração com entalhe .....	43
Tabela 6.14 – Resultado ensaio prático sem entalhe .....	43
Tabela 6.15 – Resultado ensaio prático com entalhe.....	44
Tabela 6.16 – Resultados do ensaio de tração SAE 1020.....	44
Tabela 6.17 – Resultado do ensaio de tração do SAE 1020 sem tratamento térmico e sem furo. .....	45
Tabela 6.18 – Resultado no ensaio de tração do SAE 1020 sem tratamento térmico com furo.	45
Tabela 6.19 – Resultado do ensaio de tração SAE 1020 tratados termicamente com normalização. .....	46
Tabela 6.20 – Comparativo de Limite de Resistência à Tração .....	47
Tabela 6.21 – Comparativo de Limite de escoamento .....	47
Tabela 6.22 – Diferença entre os aços SAE 1020 e ASTM A36.....	48
Tabela 6.23 – Desvio Padrão do Limite de Escoamento dos materiais .....	48
Tabela 6.24 – Desvio Padrão do Limite de Resistência à tração .....	49
Tabela 6.25 - Relação LR/LE ASTM A36 .....	49
Tabela 6.26 – Relação LR/LE SAE 1020 .....	49

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 OBJETIVOS .....	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1 Aço.....	14
3.1.1 Classificação dos Aços .....	16
3.1.2 Propriedades Mecânicas .....	21
3.1.3 Ensaios de Tração .....	23
3.1.4 Aplicações do Aço .....	24
3.2 Aços Estruturais.....	25
3.2.2 Aço ASTM A36.....	27
3.3 Tratamentos Térmicos .....	28
4 METODOLOGIA.....	33
4.1. Tipo de pesquisa .....	33
4.2. Fontes de dados.....	33
4.3. Coleta de dados .....	33
4.4. Análise e interpretação dos resultados.....	33
5 ASPECTOS ETICOS .....	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	35
6.1 Analise Aço ASTM A36.....	35
6.1.1 Estudo 1 – ASTM A36 .....	35
6.1.2 Estudo 2 – ASTM A36 .....	37
6.1.3 Estudo 3 – ASTM A36 .....	38
6.1.4 Estudo 4 – ASTM A36 .....	39
6.2. Analise Aço SAE 1020.....	40
6.2.1 Estudo 1 – SAE 1020.....	40

6.2.2 Estudo 2 – SAE 1020.....	41
6.2.3 Estudo 3 – SAE 1020.....	42
6.2.4 Estudo 4 – SAE 1020.....	44
6.3 Analise geral ASTM A36 vs. SAE 1020 .....	46
7 CONCLUSÃO .....	51
REFÊRENCIAS.....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O aço é o um dos principais constituintes do cotidiano da sociedade, presente desde utensílios de cozinha, peças de automóveis, na indústria naval. Uma das principais aplicações do aço é como base para construção civil. Segundo uma pesquisa da Associação Brasileira da Construção Metálica, cerca de 34,1% da produção anual de aços em 2017 foi usada para o setor de construção civil.

Para o seu uso na construção civil, há um tipo específico de aço: o aço estrutural. É ele que é utilizado para fabricação de perfis, vigas, vergalhões e outros tipos de estruturas bases para edificações. A norma técnica brasileira que faz a regulamentação do material é a ABNT NBR 8800, nela são dadas as propriedades mecânicas para o uso em projetos e aplicações mais específicas do aço na construção.

Um dos motivos pela escolha do aço estrutural na construção civil, além do seu baixo custo, é que ele possui alta ductibilidade e soldabilidade, uma vez que durante o projeto são necessários processos onde o material precisará ser ligado a outro através de uma solda, ou ser modelado para perfis, por exemplo.

Os aços estruturais mais comumente usados são aços com baixo teor de carbono, como o aço SAE 1020, segundo Callister (2002), e também o ASTM A36. No caso do aço SAE 1020 não é unicamente usado na área estrutural, mas também na mecânica, como tubos e chapas.

O SAE 1020 e ASTM A36 possuem características muito próximas, como nas composições químicas, uma vez que o teor de carbono é bem próximo, bem como os teores de outros elementos como fosforo e enxofre. Com isso, algumas propriedades mecânicas, como limite de escoamento e limite de resistência à tração, também são semelhantes, possuindo valores entre o mesmo intervalo.

Nesse sentido, a presente pesquisa se propõe a analisar de forma qualitativa se o aço SAE 1020 pode ser usado como substituto para o aço ASTM A36, uma vez que possuem características mecânicas e composição química similares; e que ambos são considerados, de forma geral, aços com aplicações estruturais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Recapitular a literatura a fim de apresentar e discutir a viabilidade técnica da utilização do Aço SAE 1020 como substituto do Aço ASTM A36 em suas aplicações como aço estrutural.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Conceituar o aço, bem como suas propriedades, classificações e aplicações, como também especificar para o Aço SAE 1020 e ASTM A36 as mesmas abordagens;

Analisar as propriedades mecânicas de Limite de Escoamento e Limite de Resistência a Tração do Aço SAE 1020 e do Aço ASTM A36, através da literatura;

Identificar na consulta de dados e literatura a viabilidade do uso do aço SAE 1020 como substituto para o Aço SAE ASTM A36.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados conceitos de diferentes autores sobre aços, abordando de forma mais pontual os aços SAE 1020 e ASTM A36, e suas propriedades, aplicações, processos utilizados, como ensaios mecânicos e tratamento térmico.

#### 3.1 Aço

Segundo Van Vlack (2000), o aço é, basicamente, uma liga metálica constituinte de ferro e carbono, amplamente utilizada no ramo da engenharia, devido seu vasto campo de aplicação, que vai desde engrenagens e esteiras, a uso elétricos, como placas de transformadores, dependendo do tipo do aço.

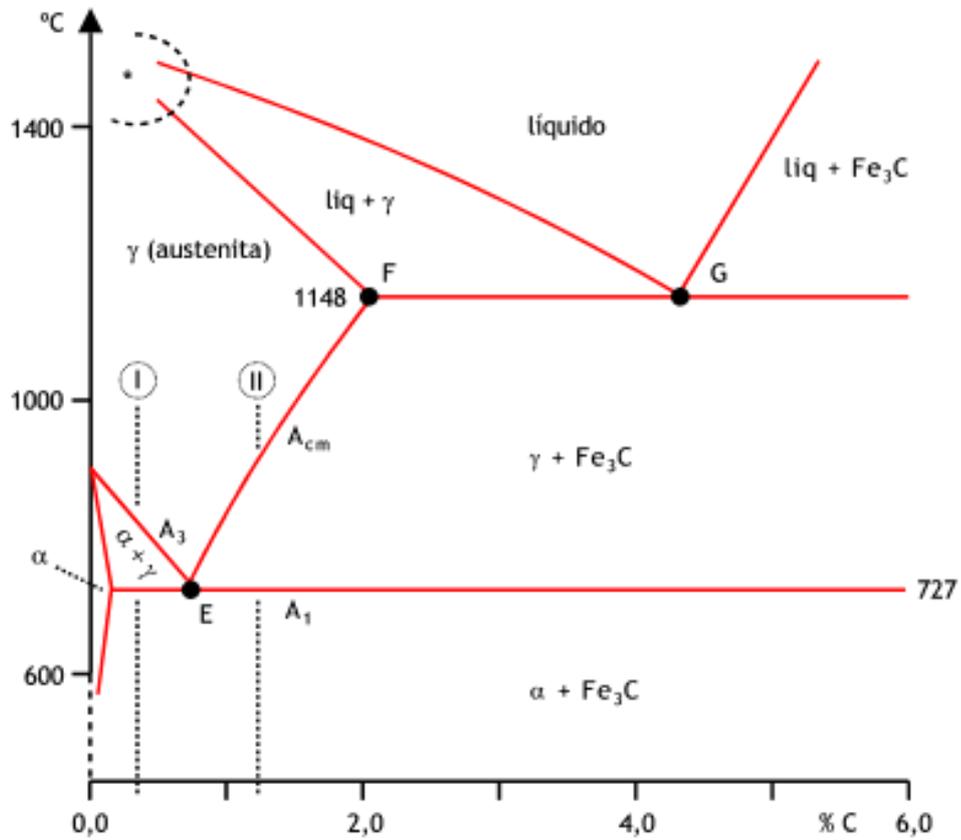
Para fins gerais, são considerados dois tipos principais de aço (CHIAVERINI, 1988, p. 21):

- Aço-carbono ou liga de ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até cerca de 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes dos processos de fabricação;
- Aço-liga ou “aço-carbono que contém outros elementos de liga ou apresenta os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais.”

Um item de suma importância para o total entendimento do que é o aço é o diagrama de fases de Ferro-Carbono. Para Van Vlack (2000), o diagrama de fases é um mapa que mostra, com base na temperatura e nos teores dos elementos principais, as fases presentes da liga, uma vez que a mesma se encontra no equilíbrio. Diante disso, é possível perceber que o aço é um composto formado basicamente por ferro e carbono, e que de acordo com a temperatura e os teores de carbono, possui diferentes fases. Esse fenômeno de existência de fases se chama alotropia, que se trata da capacidade de um mesmo elemento conseguir formar diversas substâncias diferentes, seja em sua estrutura cristalina, ou seja em sua atomicidade.

A figura 3.1 mostra o diagrama Ferro-Carbono para teores comerciais, de 0,022% de Carbono a 6%:

Figura 3.1 – Diagrama Fe-C



Fonte: MSPC, 2009

Observando a figura 3.1, é notório que algumas linhas possuem nomenclatura, são elas:  $A_1$ ,  $A_3$  e  $A_{cm}$ . Cada linha dessa simboliza algo, como é possível observar na tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Linhas do digrama de fases Fe-C

<b>A1</b>	Indica a transformação de austenita ( $\gamma$ ) em perlita ( $\alpha + Fe_3C$ ) a $727^\circ C$ .
<b>A3</b>	Indica a transformação de austenita ( $\gamma$ ) em ferrita ( $\alpha$ ) a $912^\circ C$ .
<b>Acm</b>	Indica a transformação da austenita ( $\gamma$ ) em cementita ( $Fe_3C$ ), iniciando a $727^\circ C$ e indo até cerca de $1148^\circ C$ .

Fonte: Costa e Silva, 1998.

Também com base no diagrama da figura 3.1, é notável que existem várias fases na liga e pontos específicos. Desse modo, detalhando cada fase na tabela 3.1, temos:

Tabela 3.2 – Principais Fases do Diagrama Fe-C

Fase	Definição	Características
Austenita ( $\gamma$ )	Solução sólida de carbono em ferro gama	Média dureza, grande resistência ao desgaste
Ferrita ( $\alpha$ )	Solução sólida de carbono em ferro alfa	Baixa dureza, alta tenacidade e maleabilidade
Cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )	Carboneto de Ferro	Alta dureza e resistência, muito frágil.
Perlita( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ )	Ferrita + Cementita	Maior dureza e resistência que a ferrita, e mais branda e maleável que a cementita.

Fonte: Venson, 201-?

É importante salientar que a composição de um aço se tem no máximo cerca de 2,11% de Carbono, e após esse teor, temos o Ferro Fundido. Desse modo, para analisar o aço o diagrama será considerado apenas até o ponto de 2%.

### 3.1.1 Classificação dos Aços

Observando o canto esquerdo do diagrama da figura 3.1, é possível identificar o ponto E, de Eutetóide, que se situa em cerca de 0,77% de Carbono. Esse ponto é onde a liga apresenta menor temperatura entre as fases ferrita( $\alpha$ ) e austenita ( $\gamma$ ). Outro ponto do diagrama a ser observado, é o ponto F, que simboliza a divisão entre Aço e Ferro Fundido. Devido a isso, é feita outra classificação entre os aços de acordo com o ponto eutetóide:

- Aços Hipoeutetóides: que é o aço que possui um teor de carbono menor que 0,77%, incluídos aços de baixo e médio carbono, e até uns de alto teor.

- Aços Hipereutetóides: são os aços que possuem acima de 0,77% até 2,11% de carbono em sua composição.

Tabela 3.3 – Classificação do aço de acordo com seu teor de carbono

CLASSIFICAÇÃO DO AÇO	% DE CARBONO	APLICAÇÃO
AÇO DE BAIXO CARBONO	ATÉ 0,3%	engrenagens, bielas, entre outros componentes mecânicos.
AÇO DE MÉDIO CARBONO	DE 0,3% A 0,6%	engrenagens, bielas, entre outros componentes mecânicos.
AÇO DE ALTO CARBONO	MAIS DE 0,6%	em trilhos, molas, engrenagens, pequenas ferramentas.

Fonte:Silva; Gianini, 2019

Seguindo isso, temos que as três classificações de acordo com o teor de carbono, são:

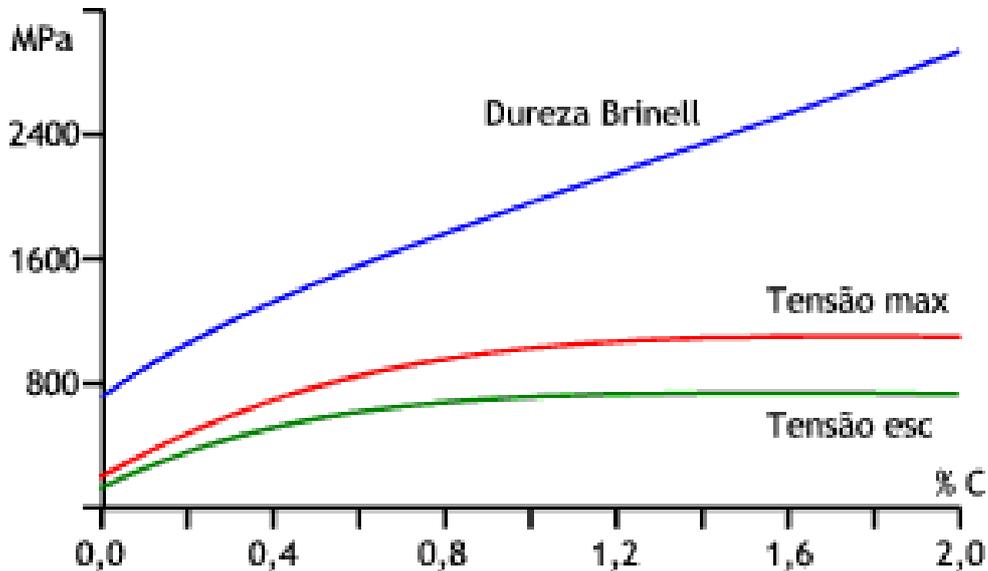
- **Aço com baixo teor de carbono:** tem seu teor de carbono inferior a 0,25%p Carbono. Devido a isso, possuem menor dureza e baixa resistência mecânica, mas outras características como tenacidade e ductibilidade são excelentes. Sua aplicação se dá principalmente na área estrutural, como vigas e canaletas. Também possuem maior resistência à corrosão do que os outros tipos de aço (CALLISTER, 2002).

- **Aço com médio teor de carbono:** são aços com um teor médio de 0,25 a 0,6%p C. São ligas que comumente são tratadas termicamente, com tratamentos de têmpera e revenimento, para otimizar suas propriedades mecânicas. Quando tratados termicamente e comparados aos aços de baixo carbono, o aço de médio teor de carbono tem melhores valores de dureza e resistência mecânica, mas é inferior quando se trata de tenacidade e ductibilidade. Seu uso é mais voltado a indústria, como na fabricação de virabrequins, rodas e até trilhos de trem (CALLISTER, 2002).

- **Aços de alto teor de carbono:** possuem os teores de carbono acima de 0,6%p C e vão até valores de 1,4%p C. São os aços que têm maior dureza e resistência, e também menor ductibilidade e tenacidade (CALLISTER, 2002).

Na figura 3.2 é apresentado a dureza, a tensão máxima e a tensão de escoamento de um aço de acordo com seu teor de carbono:

Figura 3.2 – Gráfico de dureza, tensão e tensão de escoamento vs. Teor de Carbono.



Fonte: MSPC, 2009

Com isso, outra forma de se classificar o aço é de acordo com sua dureza, que é diretamente ligada ao seu teor de Carbono, como é possível observar no gráfico acima. Para Chiaverini (1988, p. 35), existem 3 tipos:

- aços doces – com carbono entre 0,15% e 0,25%;
- aços meio-duros – com carbono 0,25% e 0,5 %;
- aços duros – com carbono entre 0,5% e 1,4%.

No que se trata da nomenclatura dos aços, o teor de carbono também é tido como um dos parâmetros principais, de acordo com o sistema usado no Brasil, que tem como base a classificação segundo o *American Iron and Steel Institute* – AISI e a *Society Automotive Engineers* – SAE, que são dois institutos de referência na área da engenharia. Os dois primeiros dígitos são referentes ao tipo de aço, seja ao carbono, onde tem baixíssima presença de elementos de liga, ou a um aço ligado, onde há presença significativa de elementos de liga. E nos últimos dígitos, seguem a porcentagem do teor de carbono presente (CHIAVERINI, 1988).

Tabela 3.4 - Classificação de aços, conforme SAE e AISI

<b>Sistema de classificação SAE e AISI dos aços</b>		
<b>Designação</b>		<b>Tipo de aço</b>
<b>SAE</b>	<b>AISI</b>	
<b>10XX</b>	<b>C 10XX</b>	Aços - carbono comuns
<b>11XX</b>	<b>C 11XX</b>	Aços de usinagem ( ou corte ) fácil, com alto S
<b>13XX</b>	<b>13XX</b>	Aços - manganês com 1.75% de Mn
<b>23XX</b>	<b>23XX</b>	Aços - níquel com 3,5% de Ni
<b>25XX</b>	<b>25XX</b>	Aços - níquel com 5,0% de Ni
<b>31XX</b>	<b>31XX</b>	Aços - níquel - cromo com 1,25% de Ni e 0,65% de Cr
<b>33XX</b>	<b>E 33XX</b>	Aços - níquel - cromo com 3,50% de Ni e 1,57% de Cr
<b>303XX</b>	-	Aços resistentes a corrosão e ao calor Ni - Cr
<b>40XX</b>	<b>40XX</b>	Aços - molibdênio com 0,25% de Mo
<b>41XX</b>	<b>41XX</b>	Aços - cromo - molibdênio com 0,50% ou 0,95% de Cr e 0,12%, 0,20% ou 0,25% de Mo.
<b>43XX</b>	<b>43XX</b>	Aços- níquel - cromo - molibdênio com 1,82% de Ni, 0,50 ou 0,80% de Cr e 0,25% de Mo.
<b>46XX</b>	<b>46XX</b>	Aço - níquel - molibdênio com 1,57% ou 1,82% de Ni e 0,20% OU 0,25% de Mo.
<b>47XX</b>	<b>47XX</b>	Aços - níquel - cromo - molibdênio com 1,05% de Ni, 0,45 de Cr e 0,20% de Mo.
<b>48XX</b>	<b>48XX</b>	Aços - níquel - molibdênio com 3,50% de Ni e 0,25% de Mo.
<b>50XX</b>	<b>50XX</b>	Aços - cromo com 0,27%, 0,40% ou 0,50% de Cr.
<b>51XX</b>	<b>51XX</b>	Aços - cromo com 0,80% a 1,05% de Cr
<b>501XX</b>	-	Aços de baixo cromo para rolamentos, com 0,50% de Cr
<b>511XX</b>	<b>E 511XX</b>	Aços de médio cromo para rolamentos, com 1,02 de Cr.
<b>521XX</b>	<b>E 521XX</b>	Aços de alto cromo para rolamentos, com 1,45% de Cr.
<b>514XX</b>	-	Aços resistentes a corrosão e ao calor ao Cr.
<b>515XX</b>	-	Aços resistentes a corrosão e ao calor ao Cr
<b>61XX</b>	<b>61XX</b>	Aços - cromo - vanádio com 0,80% ou 0,95% de Cr e 0,10 ou 0,15% de V ( min.)
<b>86XX</b>	<b>86XX</b>	Aços - níquel - cromo - molibdênio com 0,55% de Ni, 0,50 ou 0,65% de Cr e 0,20% de Mo.
<b>87XX</b>	<b>87XX</b>	Aços - níquel - cromo - molibdênio com 0,55% de Ni, 0,50% de CR e 0,25% de Mo.
<b>92XX</b>	<b>92XX</b>	Aços - silício - manganês com 0,65%, 0,82%, 0,85% de 0,87% de Mn, ou 2,00% de Si e 0%, 0,17%, a,32% ou 0,65% de Cr
<b>93XX</b>	<b>93XX</b>	Aços - níquel - cromo - molibdênio com 3,25% de Ni, 1,20% de Cr e 0,12% de Mo.
<b>98XX</b>	<b>98XX</b>	Aços - níquel - cromo - molibdênio com 1,00% de Ni, 0,80de Cr e 0,25% de Mo.
<b>950</b>	-	Aços de baixo teor em liga e alta resistência
<b>XXBXX</b>	<b>XXBXX</b>	Aços - boro com 0,0005% de B min.
<b>XXLXX</b>	<b>CXXLXX</b>	Aços - chumbo com 0,15% - 0,35% de Pb.

Fonte: Cruz, 2014

Seguindo esse princípio, aços que iniciam com o algarismo 10 são aços sem presença relevante de elementos de liga, como no caso do aço SAE 1035. Analisando sua denominação com o exposto até então, temos que ele é um aço ao carbono, com cerca de 0,35% de carbono, sendo considerado um aço meio-duro (CHIAVERINI, 1988).

Para ser feita uma comparação entre as propriedades dos aços, foram elaboradas tabelas com exemplos de aço médio teor de carbono – Aço 1035 –, aço baixo teor de carbono – Aço 1015 – e aço alto teor de carbono – Aço 1080.

Na tabela 3.5 são apresentadas algumas propriedades do aço SAE 1035. É possível perceber que possui bons valores de limite de elasticidade, limite de escoamento e limite de resistência a tração, quando comparados a um aço 1015, que tem baixo teor de carbono, como na tabela 3.6.

Tabela 3.5 – Propriedades do aço SAE 1035

<b>Tipo de aço</b>	<b>Teor de carbono (%)</b>	<b>Limite de elasticidade (GPa)</b>	<b>Limite de escoamento (MPa)</b>	<b>Limite de resistência a tração(MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>
SAE 1035	0,35%	190~210 GPa	550 MPa	620 MPa	13%

Fonte: Luz, 2017

Tabela 3.6 – Propriedades mecânicas do aço SAE 1015

<b>Tipo de aço</b>	<b>Teor de carbono (%)</b>	<b>Limite de elasticidade (GPa)</b>	<b>Limite de escoamento (MPa)</b>	<b>Limite de resistência a tração(MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>
SAE 1015	0,15%	190 GPa	325 MPa	385 MPa	18%

Fonte: Luz, 2017

Quando comparado a um aço de alto carbono, na tabela 3.7, nesse caso ao aço SAE 1080, o aço médio carbono possui propriedades como limite de escoamento, limite de elasticidade e alongamento que são compatíveis, mas que a diferença dos limites de tração são bem relevantes, e conforme for a aplicação do material, pode ser prejudicial ao processo ou projeto.

Tabela 3.7 – Propriedades mecânicas do aço SAE 1080

<b>Tipo de aço</b>	<b>Teor de carbono (%)</b>	<b>Limite de elasticidade (GPa)</b>	<b>Limite de escoamento (MPa)</b>	<b>Limite de resistência a tração(MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>
SAE 1080	0,8%	190~210 GPa	585 MPa	965 MPa	12%

Fonte: Luz, 2017

### 3.1.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas de um material são as características físicas que vão definir o seu comportamento em determinadas situações e aplicações. Nos aços, essas características serão obtidas baseadas na composição química e microestrutura, que tem grande influência de como foi feito o processamento do material.

A maior parte das propriedades mecânicas é ligada à resistência do material. Na tabela 3.8 são apresentadas as principais propriedades mecânicas dos aços:

Tabela 3.8 – Descrição das Propriedades Mecânicas do aço

<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS</b>	
<b>DUREZA</b>	A resistência à deformação plástica localizada induzida por penetração de um indentador ou de uma partícula abrasiva.
<b>LIMITE DE ESCOAMENTO</b>	A tensão máxima que pode ser aplicada sem que o material sofra deformação permanente ou irreversível.
<b>LIMITE DE RESISTÊNCIA</b>	A tensão máxima que um material aguenta quando tracionado (esticado) antes de quebrar.
<b>ALONGAMENTO MÁXIMO</b>	A deformação que um material aguenta quando tracionado (esticado) antes de quebrar.
<b>TENACIDADE</b>	A capacidade de um aço absorver energia e deformar plasticamente sem fraturar.
<b>RESISTÊNCIA A FADIGA</b>	A tensão abaixo da qual um material pode ser submetido a um número infinito de ciclos de esforços sem causar uma fratura por fadiga.

Fonte: Gerdau, 2020

Dentre os vários fatores influenciam as propriedades mecânicas, os principais se dão pela composição química, que no caso do Aço, pode ser dividida pelo teor de carbono, uma vez que Aços ao Carbono com baixo teor de carbono tem propriedades mecânicas bastante diferentes de um aço com médio ou alto teor de carbono, conforme visto na tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Propriedades mecânicas de acordo com o teor de carbono

PROPRIEDADE	baixo teor	médio teor	alto teor
DUREZA	baixa	média	alta
LIMITE DE ESCOAMENTO	baixa	média	alta
LIMITE DE RESISTÊNCIA	baixa	média	alta
ALONGAMENTO MÁXIMO	baixa	média	alta
TENACIDADE	alta	média	baixa
RESISTENCIA A FADIGA	baixa	média	alta

Fonte: Autora

Outro fator relacionado a composição química que influencia nas propriedades mecânicas é o elemento de liga. Aços ao carbono possuem baixíssimos teores de elementos de liga, mas ainda é comum que os tenham, devido aos processamentos recebidos, seja no processo de fabricação, ou no acabamento.

Desse modo, é possível identificar na tabela 3.10 quais elementos e como eles influenciam no aço. As setas em cada coluna representam o nível de influência. Nas células em que há apenas uma seta, a influência é mais baixa, e nas células em que há duas ou três, a influência do elemento é mais significativa.

Tabela 3.10 – Influencia dos elementos de liga nas propriedades mecânicas

ELEMENTOS DE LIGA	PROPRIEDADES MECÂNICAS							
	DUREZA	RESIST. À TRACÇÃO	LIMITE DE ESCOAMENTO	ALONGAMENTO	ESTRICCÃO	RESIST. AO IMPACTO	ELASTICIDADE	RES. MEC. A QUENTE
Silício	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑
Manganês em Aços Perlíticos	↑	↑	↑	~	~	~	↑	~
Manganês em Aços Austeníticos	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	—	—	—
Cromo	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑
Níquel em Aços Perlíticos	↑	↑	↑	~	~	~	—	↑
Níquel em Aços Austeníticos	↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	—	↑↑↑
Alumínio	—	—	—	—	↓	↓	—	—
Tungstênio	↑	↑	↑	↓	↓	~	—	↑↑↑
Vanádio	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑
Cobalto	↑	↑	↑	↓	↓	↓	—	↑↑
Molibdênio	↑	↑	↑	↓	↓	↑	—	↑↑
Cobre	↑	↑	↑↑	~	~	~	—	↑
Enxofre	—	—	—	↓	↓	↓	—	—
Fósforo	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	—	—

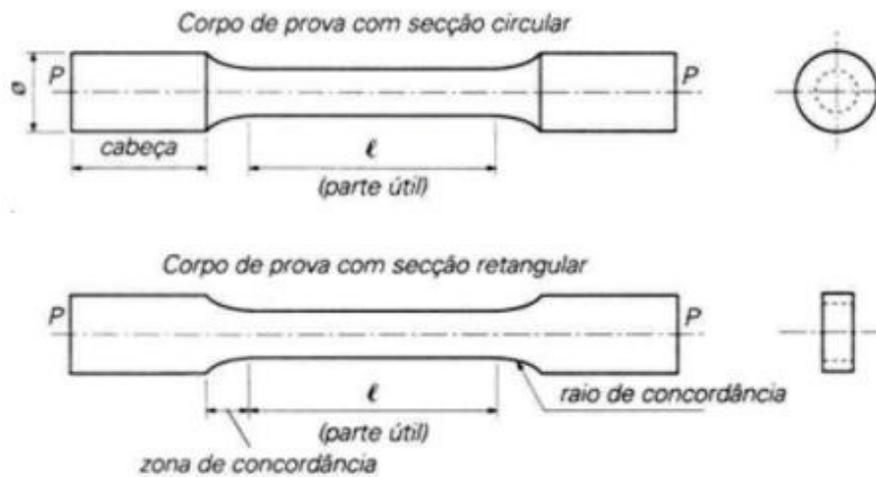
Fonte: Galvão, 20-?

### 3.1.3 Ensaio de Tração

O ensaio de tração é um dos mais comuns ensaios mecânicos realizados em materiais metálicos. Ele é um meio de descobrir e analisar as propriedades mecânicas de um material, de um modo prático. Consiste em submeter uma amostra de material, sob uma geometria específica, a uma carga axial até a ruptura da amostra.

O corpo de prova pode ser circular ou retangular, conforme a figura 3.3

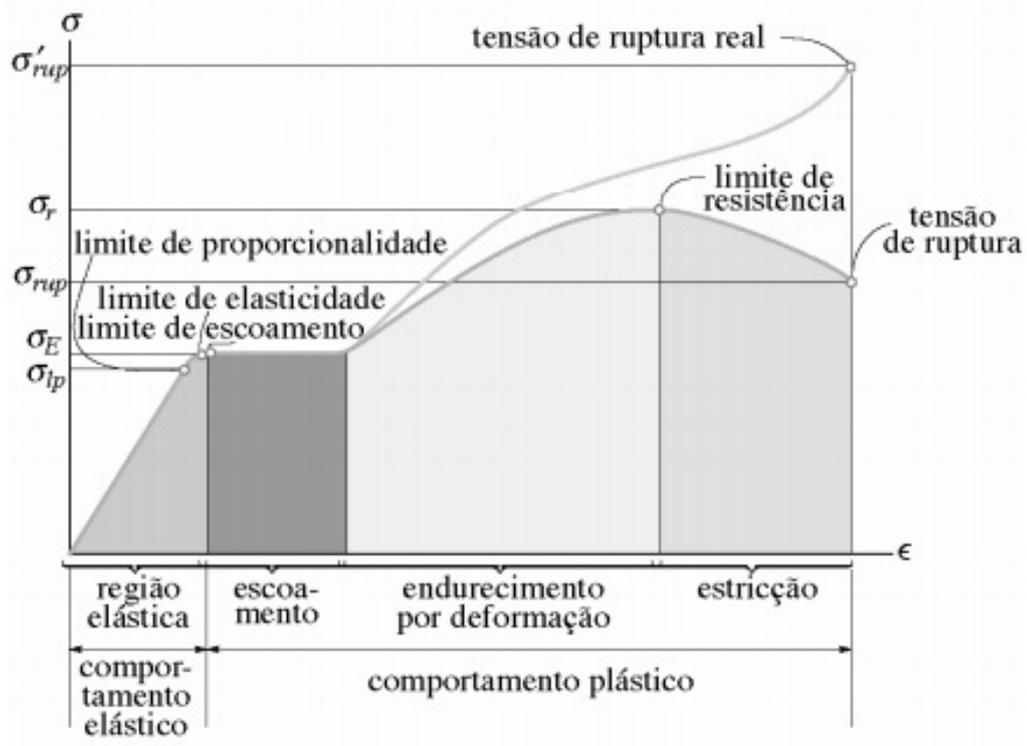
Figura 3.3 – Corpo de prova para ensaio de tração



Fonte: InfoSolda, 2013

Com o ensaio de tração é possível obter a curva tensão/deformação, sendo obtida através das medições da deformação do corpo de prova conforme a força aplicada no corpo de prova. Nessa curva, são calculadas algumas propriedades do material como limite de resistência à tração, limite de escoamento, módulo de elasticidade, módulo de resiliência, e outras. Como é possível ver na figura 3.4.

Figura 3.4 – Curva tensão vs. deformação



Fonte: Buffoni, 2013

### 3.1.4 Aplicações do Aço

O aço possui uma gama de aplicações, nas mais diversas áreas, desde construção civil a indústria naval. Basicamente, as aplicações dos aços são definidas de acordo com suas respectivas propriedades mecânicas, ou seja, seu uso será baseado no que o material poderá suportar e oferecer, como um caso de um aço que possui alta dureza é geralmente usado na indústria mecânica, conhecido como Aços para Ferramentas ou Aço-Ferramenta.

Chiaverini (1988, p. 186), dividiu os aços de acordo com suas aplicações, sendo os principais a seguir:

- **Aços estruturais:** são aços ao carbono ou com baixo teor de liga, que tem boa ductibilidade, soldabilidade e uma relação limite de resistência a tração e limite de escoamento alta.
- **Aços para chapas:** aços com alta taxa de deformabilidade, boa soldabilidade, entre outras.

- **Aços para tubos:** possuem basicamente as mesmas propriedades dos aços para chapas, mas em algumas vezes, é necessária presença de elementos de liga;

- **Aços para ferramentas e matrizes:** são aços conhecidos por sua elevada dureza, média tenacidade, sua resistência mecânica e ductibilidade não são tão significantes para a aplicação.

- **Aços ultra-resistentes:** inicialmente foi aplicado a indústria aeronáutica, mas está se estendendo para outras áreas da engenharia. É necessária alta relação entre resistência e peso, geralmente tem baixo teor de liga.

### 3.2 Aços Estruturais

O aço estrutural, do ponto de vista de fabricação, tem bastante variação de composição química, mas que basicamente o elemento mais importante é o carbono, uma vez que seu teor vai interferir diretamente nas suas propriedades.

Os aços ao carbono mais utilizados como aços estruturais são os aços de baixo teor de carbono, pois possuem maior ductibilidade e não precisam de tratamentos especiais para soldagem. Outro tipo de aço utilizado é o aço com baixo teor de liga, pois também possuem boas propriedades para uso estrutural.

De acordo com a norma técnica ABNT NBR 8800:2008, item 4.5.2.2.1:

Os aços aprovados para uso nesta Norma para perfis, barras e chapas são aqueles com qualificação assegurada por Norma Brasileira ou norma ou especificação estrangeira, desde que possuam resistência ao escoamento máxima de 450 MPa e relação entre as resistência à ruptura ( $f_u$ ) e ao escoamento ( $f_y$ ) não inferior a 1,18.

É feita uma classificação de acordo com a resistência, tipo do aço e aplicação do aço, conforme tabela 3.11:

Tabela 3.11 – Classificação aços norma ABNT 8800:2008

ABNT NBR 7007			ABNT NBR 6648			ABNT NBR 6649 / ABNT NBR 6650		
Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral			Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural			Chapas finas (a frio/a quente) de aço-carbono para uso estrutural		
Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa
MR 250	250	400-560	CG-26	255	410	CF-26	260/260	400/410
AR 350	350	450	CG-28	275	440	CF-28	280/280	440/440
AR 350 COR	350	485				CF-30	---/300	---/490
AR 415	415	520						

Fonte: norma técnica ABNT NBR 8800:2008

### 3.2.1 Aço SAE 1020

Um dos aços de baixo teor de carbono mais comuns utilizados é o aço SAE 1020. Ele é utilizado em várias aplicações, como componentes de automóveis, tubos e chapas. Também é usado como formas estruturais, vigas, canaletas e ferros angulados. Além de chapas, para fabricação de tubos, pontes e edificações (CALLISTER, 2000).

Tabela 3.12 – Composição química do Aço SAE 1020

Tipo de aço	%C	%P	%S	%Mn
1020	0,18~0,23	0,04 máx.	0,05 máx.	0,3~0,6

Fonte: Luz, 2017

O aço SAE 1020 é um aço que quando comparado a aços com elementos de liga, possui ótimo custo-benefício, pois tem propriedades similares, sendo um substituto para alguns outros aços. Quanto a propriedades mecânicas, o SAE 1020 possui boa conformabilidade, soldabilidade (LUZ, 2017).

Tabela 3.13 – Propriedades do aço SAE 1020

Tipo de aço	Teor de carbono (%)	Limite de elasticidade (GPa)	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência a tração (Mpa)	Alongamento (%)
SAE 1020	0,20%	205 GPa	350 MPa	420 MPa	15%

Fonte: Luz, 2017

Como pode ser observado na tabela 3.13, possui uma resistência mecânica relativamente baixa e pouco alongamento. Por se tratar de um aço de baixo carbono, segundo Callister (2000), são ligas moles e não respondem muito bem a tratamentos térmicos que tem por objetivo formar martensita no material; possuem uma ductilidade e uma tenacidade excepcional, além de de ser uma liga com bastante usinabilidade, soldabilidade e com baixo custo de produção.

### 3.2.2 Aço ASTM A36

O ASTM - *American Society for Testing and Materials* - A36 é uma norma para Aços utilizados em aplicações estruturais. Segundo Luz (2017), a composição varia de acordo com a espessura: formas (Shapes), Chapas com largura acima de 380mm e barras com largura acima de 380mm, respectivamente apresentadas nas tabelas 3.14, 3.15 e 3.16.

Tabela 3.14 – Composição Química do ASTM A36 (Formas/Shapes)

<b>Tipo de aço</b>	<b>%C</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>	<b>%Mn</b>	<b>%Si</b>	<b>%Cu</b>
ASTM A36	0,26 máx.	0,04 máx.	0,05 máx.	...	0,4 máx.	0,2 min.

Fonte: Luz, 2017

Tabela 3.15 – Composição Química do ASTM A36 (Chapas)

<b>Tipo de aço</b>	<b>%C</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>	<b>%Mn</b>	<b>%Si</b>	<b>%Cu</b>
ASTM A36	0,25 máx.	0,03 máx.	0,03 máx.	...	0,4 máx.	0,2 min.

Fonte: Luz, 2017

Tabela 3.16 – Composição Química do ASTM A36 (Barras)

<b>Tipo de aço</b>	<b>%C</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>	<b>%Mn</b>	<b>%Si</b>	<b>%Cu</b>
ASTM A36	0,26 máx.	0,04 máx.	0,05 máx.	...	0,4 máx.	0,2 min.

Fonte: Luz, 2017

Para Costa e Silva (1998, p. 258), um aço que visa aplicação estrutural tem como requisitos: Tensão de escoamento alta, uma vez que é necessário que o aço tenha uma boa relação entre limite de ruptura/limite de escoamento, como visto na tabela 3.17; tenacidade elevada, para prevenir a fratura frágil; boa soldabilidade, visto que para essa aplicação é necessário que o material tenha a menor mudança de propriedades possíveis; boa formalidade, ou seja, afinidade com processos de conformação mecânicas, já que é algo necessário para projetar algumas estruturas; e baixo custo.

Tabela 3.17 – Propriedades Aço ASTM A36

<b>Tipo de aço</b>	<b>Teor de carbono (%)</b>	<b>Limite de elasticidade (GPa)</b>	<b>Limite de escoamento (MPa)</b>	<b>Limite de resistência a tração (MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>
ASTM A36	0,26% máx	200 GPa	250 MPa mín	400~550 MPa	23%

Fonte: Luz, 2017

### 3.3 Tratamentos Térmicos

Um dos principais processos em que um Aço é aplicado é o Tratamento Térmico. Existem vários tipos de tratamentos comuns, que variam entre faixas de temperaturas e efeitos, indo desde temperaturas abaixo de 0° C, até temperaturas de 1280° C. E não são processos apenas de aquecimento, mas que contam com vários métodos de resfriamento, que influenciam diretamente no resultado do tratamento (Costa e Silva, 1998).

Segundo Chiaverini (1988, p. 81) o tratamento térmico tem como principais objetivos:

- Remoção de tensões (oriundas de esfriamento desigual, trabalho mecânico ou outra causa);
- aumento ou diminuição da dureza;
- aumento da resistência mecânica;
- Melhora da ductibilidade;
- Melhora da usinabilidade;
- Melhora da resistência ao desgaste;
- Melhora das propriedades de corte;
- Entre outras.

Para cada objetivo desse ser atingido, é feito um tratamento adequado, pois existem fatores que influenciam no resultado, uma vez que como o tratamento térmico envolve aquecimento, resfriamento, e tempo determinado, há uma mudança de microestrutura em muitos casos. Com isso, é necessário que haja um controle do processo para conseguir obter as características desejadas e não perder outras características do material (CHIAVERINI, 1988).

Os principais fatores que influenciam os materiais são, segundo Chiaverini (1988, p. 82): aquecimento, tempo de permanência à temperatura e resfriamento. Tendo cada um deles relação direta com outro, fazendo com que seja necessário analisar todos os fatores em conjunto.

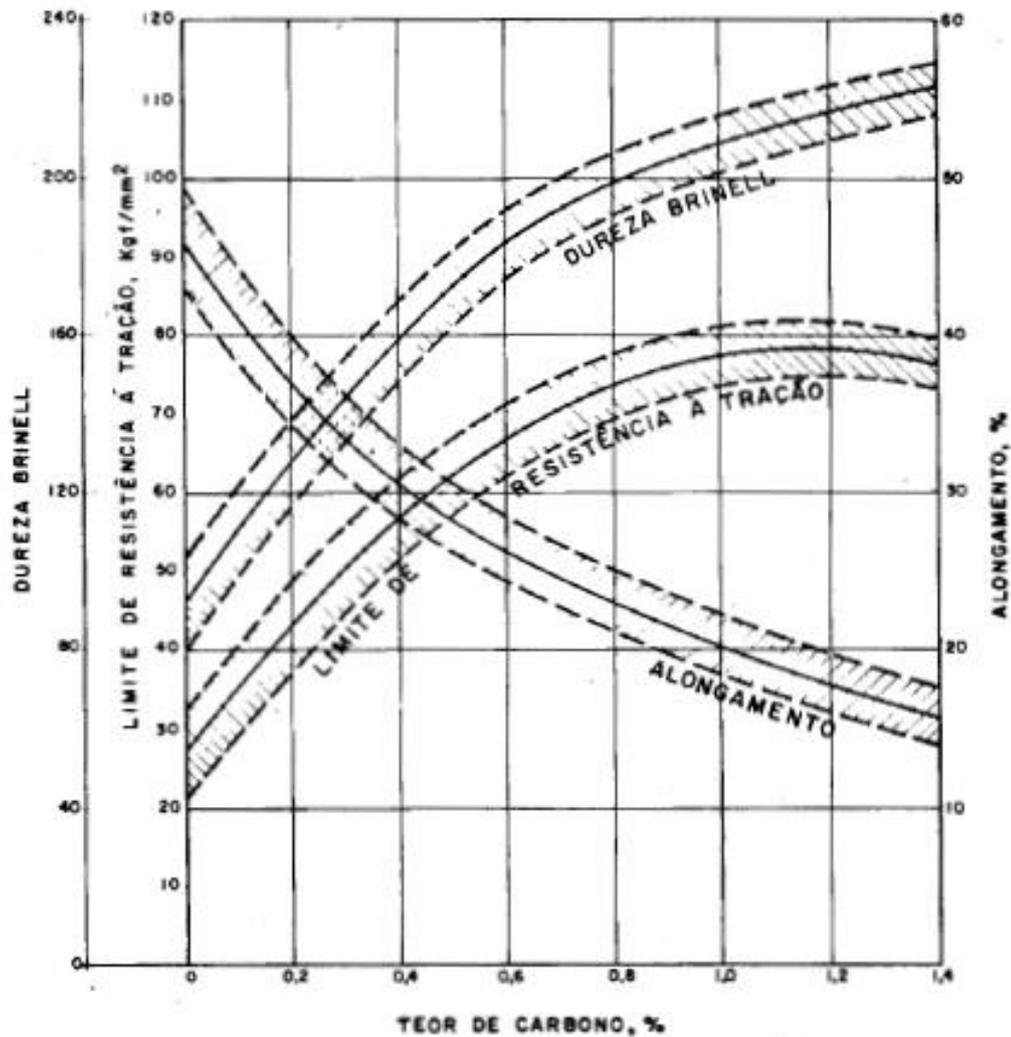
Explanando o aquecimento, é possível dividi-lo em dois: velocidade de aquecimento e temperatura máxima. A velocidade de aquecimento é mais relevante em casos onde o aço possui tensões residuais, visto que se o aquecimento for feito de forma muito rápida pode ocasionar fissuras no material ou empenamento.

Quanto a temperatura de aquecimento é algo que vai ser regulado conforme as propriedades desejadas para o material, assim como o teor de carbono presente. Para aços hipoeutetóides, o máximo indicado para a temperatura é 50°C acima da linha A3, e no caso dos aços hipereutetóides, a máxima se dá até o cruzamento da linha Acm (CHIAVERINI, 1988).

O tempo de permanência à temperatura de aquecimento tem ligação direta com a temperatura máxima, uma vez que quanto mais tempo exposto a uma temperatura alta, maior a chance de acontecerem transformações indesejadas que prejudiquem o objetivo principal do tratamento térmico, como descarbonetação e oxidação.

O fator considerado mais importante, segundo Chiaverini (1988), é o resfriamento, já que é dele que resulta a estrutura e propriedades finais do aço. Como é possível perceber na figura 4.3. Na figura, são apresentadas algumas propriedades do Aço, de acordo com seu teor de carbono, quando resfriado lentamente.

Figura 4.1 – Gráfico da influência do teor de carbono sobre as propriedades de aços carbonos esfriados lentamente



Fonte: CHIAVERINI, 1988

Há vários meios de resfriamento, os mais comuns são ao ar, no forno e em meio líquidos. Alguns desses meios são mais suaves que outros, por exemplo, o ar é um meio mais brando que em meio líquido, uma vez que em meio líquido existe uma mudança de temperatura brusca, e desse modo, a microestrutura e as propriedades do aço são afetadas. Devido a isso, é de grande importância que o meio de resfriamento seja escolhido adequadamente para que não afete negativamente o resultado final do tratamento térmico do aço. (CHIAVERINI, 1988).

Ainda se tratando dos meios de resfriamento líquidos, há a diferença entre os meios líquidos, pois é usado, comumente, óleo, e água, como é possível observar na tabela 3.18:

Tabela 3.18 – Velocidades de resfriamento de acordo com a secção da peça.

**Velocidades relativas de resfriamento de diversos meios**

Meio de resfriamento	Velocidade Relativa de Resfriamento para Diâmetros de:		
	1"	2"	3"
O mais drástico (teórico)	1,23	0,30	0,14
Água em agitação	1,00	0,27	0,13
Óleo em agitação	0,40	0,18	0,093
Corrente de ar	0,032	0,0157	0,0102
Ar tranqüilo	0,0152	0,0075	0,0048

Fonte: CHIAVERINI, 1988

De acordo com a figura 4.1, quanto mais drástico o meio de resfriamento, maior será sua velocidade relativa. De acordo com Chiaverini(1988, p. 84):

“A maior eficácia das soluções aquosas é atribuída à sua ação em remover a casa de óxido superficial e à menor tendência de formar vapor na superfície do aço, evitando assim o inconveniente dos chamados “pontos moles”, muito comuns na têmpera de aços.”

Outro meio de resfriamento, mas menos drásticos que água, óleo, ou ar, são banhos soluções salinas ou banhos de metal em estado líquido. Esses banhos de sal são mais usados no tratamento térmico de tempera, pois permitem o resfriamento de forma mais uniforme e em temperaturas mais altas (CHIAVERINI, 1988).

Visto isso, será explicado, então, os tipos de tratamentos térmicos mais comuns para os aços. Começando pelo recozimento, que pode ser descrito como um processo no qual a temperatura do material é elevada por um determinado período de tempo e então resfriado lentamente. (CALLISTER, 2002). Desse modo, ele tem como principais objetivos, segundo Callister (2002, p. 227):

Aliviar tensões;

Tornar o material mais mole, dúctil e tenaz; e/ou;

Produzir uma microestrutura específica.

Dentre o recozimento, existem vários processos de tratamento térmico que podem ser considerados subdivisões, como recozimento pleno, alívio de tensões e recristalização (GOMES, 2009). Outros tratamentos bem comuns aos aços, são a normalização, esferioidização, e têmpera e revenido. Cada um deles objetiva determinadas propriedades.

### 3.3.1 Normalização

De acordo com Costa e Silva (1998), a normalização é um tratamento térmico que visa homogeneizar a estrutura do material. Consiste na elevação da temperatura até obter a austenitização total do aço e depois é levado ao resfriamento ao ar. É importante expor que aços ligados que podem ser endurecidos ao ar não são normalizados.

A tabela 3.19 mostra as médias das propriedades mecânicas do aço de acordo com o teor de carbono presente:

Tabela 3.19 – propriedades mecânicas dos aços normalizados

<b>NORMALIZADO</b>					
<b>C (%)</b>	<b>TENSÃO DE ESCOAMENTO (MPa)</b>	<b>LIMITE DE RESISTÊNCIA (MPa)</b>	<b>ALONG (%)</b>	<b>ESTRÍCÇÃO (%)</b>	<b>DUREZA (HB)</b>
0,01	18,0	31,5	45	71	90
0,2	31,5	45	35	60	120
0,4	35,5	59,5	27	43	165
0,6	42	76,5	19	28	220
0,8	49	94	13	18	260
1,0	70	106,5	7	11	295

Fonte: Costa e Silva, 1998

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1. Tipo de pesquisa**

O trabalho foi desenvolvido com base em conceito de estudo exploratório, fundamentado por meio de uma pesquisa bibliográfica já difundida, constituída de livros e artigos científicos (GIL, 2008, p.50).

### **4.2. Fontes de dados**

As fontes utilizadas para esse trabalho como referência se baseiam em livros de metalurgia relacionados a aços e ligas, tratamentos térmicos, ciências dos materiais, de autores como Vicente Chiaverini, William Callister, Costa e Silva.

Foram utilizados também diversos artigos científicos e teses para fundamentação dos resultados e discussões, disponíveis no banco de dados do *Google Scholar*. Também foram usadas teses disponíveis do repositório da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Os critérios utilizados para a seleção dos materiais foram que todos abordassem, de forma direta ou indireta, o aço SAE 1020 e ASTM A36, especificamente com relação a suas propriedades mecânicas e a realização de ensaios mecânicos de tração.

### **4.3. Coleta de dados**

Para a coleta de dados do estudo foi realizada uma leitura objetiva de materiais que se encaixavam nos critérios para fonte, a fim de verificar a viabilidade da análise e aplicação no presente estudo.

As informações mais relevantes foram selecionadas e abordadas de forma direta, através de tabelas comparativas durante os resultados do estudo.

### **4.4. Análise e interpretação dos resultados**

A análise feita durante o trabalho considerou expor todos os dados obtidos nas fontes, de forma que as informações fossem transmitidas de forma a contribuir para a problemática abordada.

## **5 ASPECTOS ETICOS**

Durante a realização do estudo, todos os autores foram devidamente citados, de acordo com a norma ABNT NBR 6023, que aborda a produção referências e compilação de dados. Desse modo, a exclusiva finalidade da coleta dos dados deste estudo foi científica.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no que foi exposto pelo estudo, foram selecionadas fontes que ajudam a aprofundar e servir de apoio para analisar o objetivo principal: a viabilidade do uso do Aço ASTM A36 como substituição para o Aço SAE 1020.

Em primeiro momento, serão analisados e comparados os aços, de acordo com suas propriedades mecânicas apresentadas nos artigos e teses selecionadas, como dureza, tenacidade, limite de resistência e limite de escoamento.

### 6.1 Analise Aço ASTM A36

Serão abordados 4 artigos, selecionando as informações mais pertinentes ao objetivo do estudo, para que sejam analisadas. Cada tópico abordará um artigo referente ao aço ASTM A36, trazendo dados de métodos e resultados obtidos no artigo referente.

#### 6.1.1 Estudo 1 – ASTM A36

O artigo abordado tratará a caracterização mecânica e estrutural do aço ASTM A36, pelos autores Rival Coelho da Silva e Simoni Maria Gheno (2017). O aço ASTM A36 foi normalizado, sendo aquecido até sua temperatura de austenitização, cerca de 915°C, sendo mantido na temperatura por 1 hora, e resfriado ao ar. As amostras utilizadas para os ensaios foram dimensionadas em 12,5x50x200mm.

Foram realizados ensaios de impacto Charpy, de acordo com as normas ASTM (2007), ASTM A370; ensaio de tração, seguindo a norma ASTM A370-07, que pôde ser obtido informações como limite de resistência, limite de escoamento, alongamento e redução da área; O ensaio de dobramento também foi realizado, com as seguintes especificações apresentadas na tabela 6.1:

Tabela 6.1 – Amostras de dobramento ASTM A36

<b>Dobramento</b>	<b>Material</b>	<b>Espessura</b>	<b>Cutelo</b>	<b>Abertura</b>
1	A36 usinado	10mm	38,1	60,2
2	A36 usinado	10 mm	38,1	60,2

Fonte: Silva; Gheno(2017)

Também foi realizada a análise microestrutural do material, para apresentar a composição química do A36.

O resultados do ensaios de tração será apresentado na tabela 6.2. Nele, é possível perceber que o A36 seguiu os valores de tensão de escoamento e limite de resistência que estão em literatura, conforme a tabela 3.12.

Tabela 6.2 – Ensaio de tração ASTM A36

ASTM A36	Dimensões (mm)	Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão de Escoamento		Limite de Resistência		Along. (%)
			Carga (Kgf)	LE (MPa)	Carga (Kgf)	LR (MPa)	
TP-01	12,09 X 12,37	149,55	5852	312	8034	440	30
TP-02	11,90 X 12,34	146,85	5603	318	7836	429	29
MÉDIA	-	-	5727	315	7935	434,5	29,5

Fonte: Silva, Gheno (2017)

No ensaio de impacto Charpy, apresentado na tabela 6.3, usado para medir a quantidade de energia absorvida no impacto, sendo verificada a fragilidade do material em temperaturas ambiente e temperaturas negativas. As temperaturas utilizadas foram -20°C e 20°C. Uma vez que o A36 foi normalizado, houve uma grande diferença entre a literatura e o ensaio em questão.

Tabela 6.3 – Ensaio Charpy para o ASTM A36

ATM A36	Dimensões Amostras (mm)	Tipo de Entalhe	Temperatura °C/ Valor J Min	
			-20°C/27J Min	20°C/27J Min
Amostra 1	10 X 50 mm	V	120 J	-
Amostra 2	10 X 50 mm	V	130 J	-
Amostra 3	10 X 50 mm	V	130 J	-
MÉDIA	-	-	126 J	-
Amostra 4	10 X 50 mm	V	-	160 J
Amostra 5	10 X 50 mm	V	-	140 J
Amostra 6	10 X 50 mm	V	-	135 J
MÉDIA	-	-	-	145 J

Fonte: Silva, Gheno (2017)

### 6.1.2 Estudo 2 – ASTM A36

A análise feita pela autora Emanuela Fleck (2018) do aço ASTM A36 se dá quando o mesmo está submetido a temperaturas elevadas, onde a autora considerou como tratamento térmico de normalização, mas para fins de abordagem, será considerado apenas o material como recebido, a temperatura ambiente.

Os ensaios realizados para o material foram de compressão e tração, usando 6 corpos de prova, com seção média de 63,6 mm<sup>2</sup>. A carga aplicada com cerca de 160 kN, que é 80% da capacidade máxima do equipamento. A tabela 6.4 apresenta os valores do ensaio:

Tabela 6.4 – Ensaio de tração A36

<b>ASTM A36</b>	<b>Limite de resistência (MPa)</b>	<b>Tensão de escoamento (MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>
Amostra 1	483.34	348.66	56.94
Amostra 2	478.89	349.16	39.44
Amostra 3	502.50	386.39	49.44
Amostra 4	498.45	361.71	45.42
Amostra 5	491.34	349.37	46.67
Amostra 6	507.32	376.37	46.67
<b>MÉDIA</b>	<b>493.6</b>	<b>361.9</b>	<b>47.43</b>

Fonte: Fleck (2018)

O ensaio de compressão foi feito também com 6 amostras, cada uma com a seção com cerca de 120,7mm<sup>2</sup>. Nesse ensaio é possível obter informações de tensão de escoamento e limite de resistência, mas voltadas a compressão do material, assim como a deformação linear e Módulo de elasticidade, como é apresentado na tabelas 6.5 e 6.6 a seguir.

Tabela 6.5 – Ensaio de compressão A36

<b>ASTM A36</b>	<b>Limite de resistência (MPa)</b>	<b>Tensão de escoamento (MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>
Amostra 1	149.29	234.44	56.94
Amostra 2	149.06	325.99	39.44
Amostra 3	149.06	316.77	49.44
Amostra 4	149.13	326.59	45.42
Amostra 5	149.12	325.67	46.67
Amostra 6	149.17	323.06	46.67
<b>MÉDIA</b>	<b>149.1</b>	<b>308.8</b>	<b>47.43</b>

Fonte: Fleck (2018)

Tabela 6.6 – Ensaio de compressão A36 parte 2

<b>ASTM A36</b>	<b>Deformação linear (mm)</b>	<b>Modulo de Elasticidade (GPa)</b>
Amostra 1	14.47	21.77
Amostra 2	13.93	22.70
Amostra 3	13.77	24.83
Amostra 4	13.89	22.42
Amostra 5	13.95	21.54
Amostra 6	13.96	22.50
<b>MÉDIA</b>	<b>13.99</b>	<b>22.63</b>

Fonte: Fleck (2018)

### 6.1.3 Estudo 3 – ASTM A36

Na tese de Eduardo Fonseca (2005), foram analisados 14 corpos de prova do aço ASTM A36, com o principal objetivo de determinar indiretamente as propriedades mecânicas do ASTM A36 fazendo o uso do equipamento de ultrassom, tendo como base as propriedades obtidas diretamente com o ensaio mecânico de tração.

Para análise do estudo, serão considerados apenas os dados obtidos diretamente no ensaio de tração realizado pelo autor. A tabela 6.7 apresenta os valores para Limite de Resistencia (LR), Limite de Escoamento (LE) e alongamento do material( $\Delta l$ ).

Tabela 6.7 – Ensaio de tração ASTM A36

Amostra	LR (MPa)	LE (MPa)	$\Delta l$ (%)
A	453,2	319,2	29,5
B	428,8	310,2	30,0
C	420,6	298,3	30,0
D	420,0	303,6	29,0
E	453,2	325,8	30,0
F	452,0	333,0	31,0
G	441,0	329,0	29,5
H	453,4	323,4	28,0
I	440,6	317,2	29,5
J	460,1	326,4	28,0
K	448,3	326,2	28,0
L	458,2	330,0	29,5
M	450,5	321,5	27,5
N	458,8	325,6	29,0

Fonte: Fonseca (2005)

#### 6.1.4 Estudo 4 – ASTM A36

Em seu artigo, Amanda Leticia Carlesso et Al, fez uma análise comparativa com três tipos de aço, mas para fins desse estudo, iremos focar no aço ASTM A36. Foram realizados ensaios de tração, para apurar dados de resistência do material e ensaio de impacto.

O corpo de prova utilizado de aço ASTM A36 foi uma peça de espessura de 8,00mm, preparação conforme norma ASTM E 8M e ASTM E-23, referentes as normas regentes para os ensaios realizados.

Para o ensaio de tração foram feitos dois corpos de prova, e o resultados obtidos de tensão de escoamento (limite de escoamento), tensão máxima (limite de resistência) e alongamento, foram os seguintes, conforme tabela 6.8:

Tabela 6.8 – Resultado do ensaio de tração aço ASTM A36

<b>MATERIAL</b>	<b>AMOSTRA</b>	<b>SEÇÃO (MM)</b>	<b>TENSÃO DE ESCOAMENTO (MPa)</b>	<b>TENSÃO MÁXIMA (MPa)</b>	<b>ALONG.(%)</b>
A36	1	221	309	447	14
	2	224	313	441	15

Fonte: adaptado de Carlesso et Al (2018)

No ensaio de Charpy, cujo objetivo é aferir a quantidade de energia absorvida em um impacto, foram usadas 3 amostras, em condições de temperatura de 0°C, conforme a norma ASTM 370/14. Os resultados obtidos após o ensaio seguem na tabela 6.9:

Tabela 6.9 – Resultado Ensaio de Impacto Charpy ASTM A36

<b>MATERIAL</b>	<b>AMOSTRA</b>	<b>RESULTADO (J)</b>	<b>MÉDIA (J)</b>
ASTM A36	1	187	173
	2	161	
	3	172	

Fonte: adaptado de Carlesso et al (2018)

## 6.2. Análise Aço SAE 1020

Foram selecionados quatro materiais sobre o aço SAE 1020, entre artigos e teses, para serem abordados e analisados, baseados em suas propriedades mecânicas.

### 6.2.1 Estudo 1 – SAE 1020

Em seu estudo, Bejo (2019), analisou as propriedades mecânicas do aço SAE 1020 em diferentes condições. O material foi submetido a um ensaio de tração, onde foram obtidas as informações sobre suas propriedades mecânicas. O ensaio foi realizado conforme a norma técnica ABNT NBR ISO 6892-1 (2013).

O SAE 1020 foi estudado como laminado a quente e trefilado a frio. Foram utilizadas quatro barras de aço de 3/8". O corpo de prova tinha 50 mm, e o ensaio foi feito em temperatura ambiente.

O resultado obtido no ensaio de Bejo (2019) é apresentado na tabela 6.10 a seguir:

Tabela 6.10 – Resultados Ensaio de Tração SAE 1020

<b>MATERIAL</b>	<b>LIMITE DE RESISTÊNCIA (MPa)</b>	<b>TENSÃO DE ESCOAMENTO (MPa)</b>	<b>ALONG. (%)</b>
SAE 1020 laminado a quente	466,22	325,8	37,96
SAE 1020 trefilado a frio	615,6	560,28	6,08

Fonte: adaptado de Bejo et al (2019)

É possível notar que o material trefilado a frio apresenta valores maiores de resistência, mas em oposição, valor menor de alongamento.

### 6.2.2 Estudo 2 – SAE 1020

Em seu artigo, Datres et al (2017), fez um ensaio de tração no aço SAE 1020, a fim de analisar as propriedades mecânicas do material. Foram obtidos dados de resistência mecânica, limite de escoamento, módulo de elasticidade, e alongamento.

Foi comparado o valor obtido através de cálculos, da matriz de dados, com o valor fornecido diretamente pelo computador após o ensaio.

Tabela 6.11 – Ensaio de tração SAE 1020

<b>FONTE</b>	<b>ALONG. (%)</b>	<b>TENSÃO DE RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>MODULO DE ELASCIDADE (GPa)</b>	<b>LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)</b>
Máquina	11,0	512,99	185,2789	468,68
Matriz de dados	10,91	512,85	192,3345	470,55

Fonte: Datres et al (2017)

Os valores obtidos na prática do ensaio e pela matriz de dados, como é possível notar, não apresentaram grandes diferenças, e também se mostraram similares aos encontrados na literatura de limite de resistência à tração e limite de escoamento, respeito do aço SAE 1020.

### 6.2.3 Estudo 3 – SAE 1020

Em 2014, Evandro Bertoldi fez uma análise a respeito dos ensaios de tração do aço SAE 2020. Na sua análise, Bertoldi (2014), usou como base a norma técnica NBR ISO 6892:2002. Em seus métodos, o corpo de prova foi pintado com tinta à base de azul metileno, e foram feitas duas marcações a uma distância de 50mm, assim sendo feito o ensaio.

Para uma segunda verificação, foi feito um entalhe em uma das amostras. O material deve diâmetro inicial de 10 mm e comprimento inicial de 72,5 mm.

Na tabela 6.12 é apresentado o resultado no ensaio de tração:

Tabela 6.12 – Dados do ensaio de tração

<b>L(mm)</b>	<b>F(N)</b>	<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>
0	0	0	0
0,032	5928,058	233,9684	0,064
0,093	6514,688	257,1215	0,186
0,154	7101,319	280,2747	0,308
0,215	7811,451	308,3021	0,43
0,246	8521,583	336,3296	0,492
0,277	9293,466	366,7943	0,554
0,338	10065,35	397,2589	0,676
0,399	10682,85	421,6306	0,798
0,47	11300,36	446,0023	0,94
0,541	12041,37	475,2483	1,082
0,613	12782,38	504,4944	1,226

Fonte: Bertoldi (2014)

A seguir, a Tabela 6.13 apresenta os resultados do ensaio de tração com o corpo de prova com o entalhe:

Tabela 6.13 – Resultado do ensaio de tração com entalhe

<b>L (mm)</b>	<b>F (N)</b>	<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>
0,02	0	0	0,04
0,051	185,252	7,184487	0,102
0,132	370,504	14,36897	0,264
0,214	494,005	19,15862	0,428
0,255	617,506	23,94826	0,51
0,295	864,508	33,52755	0,59
0,367	1111,51	43,10688	0,734
0,438	1420,26	55,08102	0,876
0,499	1729,02	67,05515	0,998
0,56	2253,9	87,41117	1,12
0,631	2778,78	107,7672	1,262
0,703	3025,78	117,3465	1,406

Fonte: Bertoldi (2014)

Para obter os valores da resistência a tração, tensão de escoamento e alongamento, foram necessários alguns dados, conforme tabela 6.14 e tabela 6.15:

Tabela 6.14 – Resultado ensaio prático sem entalhe

<b>F<sub>máx</sub></b>	36309,36 N
<b>S<sub>o</sub></b>	78,53 mm <sup>2</sup>
<b>LR = F<sub>máx</sub>/S<sub>o</sub></b>	462,362 MPa

Fonte: Bertoldi (2014)

Tabela 6.15 – Resultado ensaio prático com entalhe

<b>F<sub>máx</sub></b>	33221,824 N
<b>S<sub>o</sub></b>	78,53 mm <sup>2</sup>
<b>LR = F<sub>máx</sub>/S<sub>o</sub></b>	423,046 MPa

Fonte: Bertoldi (2014)

Com os dados obtidos, foram obtidos os valores de resistência a tração, tensão de escoamento e alongamento:

Tabela 6.16 – Resultados do ensaio de tração SAE 1020

<b>MATERIAL</b>	<b>LIMITE DE RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>TENSÃO DE ESCOAMENTO (MPa)</b>	<b>ALONGAMENTO (%)</b>
1020 SEM ENTALHE	462, 362	417,114	34,8
1020 COM ENTALHE	423,046	331,831	13,5

Fonte: Bertoldi (2014)

Os dados obtidos durante o ensaio de tração seguiram o especificado em literatura para valores de limite de resistência à tração e limite de escoamento do aço SAE 1020. Também é possível perceber a diferença entre os valores com entalhe e sem entalhe.

#### 6.2.4 Estudo 4 – SAE 1020

Em sua tese, Barbosa (2018), analisou as propriedades mecânicas do aço SAE 1020 tratado termicamente. Foi realizado ensaio de tração em amostras sem tratamento térmico e com tratamento térmico de normalização e recozimento.

Foi usada uma barra de chata de 3 metros de comprimento, 1 ½’’ de largura e 1/8’’ de espessura. Dois tipos de corpos de prova foram feitos, um tipo sem furo no corpo de prova e um tipo com furo no corpo de prova.

A Tabela 6.17 mostra os dados obtidos no ensaio de tração do SAE 1020 como recebido e sem o furo no corpo de prova.

Tabela 6.17 – Resultado do ensaio de tração do SAE 1020 sem tratamento térmico e sem furo.

Amostra C.P.1	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência a Tração (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Alongamento ( $\Delta L$ %)
Corpo de prova 1	329,341	488,161	417,789	33,95891
Corpo de prova 2	321,914	481,498	407,256	34,02459
Corpo de prova 3	304,891	474,464	410,389	34,13475
Corpo de prova 4	327,252	481,257	412,235	33,98742
<b>Média</b>	<b>320,849</b>	<b>481,345</b>	<b>411,917</b>	<b>34,52641</b>

Fonte: Barbosa (2018)

Em segundo momento, foi feito o ensaio de tração com a amostra com furo de 12,7 mm de diâmetro, apresentado no meio do corpo de prova, como exposto na tabela 6.18.

Tabela 6.18 – Resultado no ensaio de tração do SAE 1020 sem tratamento térmico com furo.

Amostra C.P.1	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência a Tração (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Alongamento ( $\Delta L$ %)
Corpo de prova 1	126,263	200,641	254,73	2,20784
Corpo de prova 2	129,255	294,442	247,76	2,19086
Corpo de prova 3	125,164	304,0693	294,045	2,15640
Corpo de prova 4	129,877	299,045	265,96	2,20844
<b>Média</b>	<b>127,64</b>	<b>274,774</b>	<b>265,62</b>	<b>2,19089</b>

Fonte: Adaptado de Barbosa (2018)

Para as amostras que sofreram tratamento térmico, foram usados os corpos de prova com o furo. Para análise, será abordado apenas as amostras normalizadas. Os dados obtidos seguem na tabela 6.19.

Tabela 6.19 – Resultado do ensaio de tração SAE 1020 tratados termicamente com normalização.

<b>Amostra C.P.1</b>	<b>Limite de Escoamento (MPa)</b>	<b>Limite de Resistência a Tração (MPa)</b>	<b>Limite de Ruptura (MPa)</b>	<b>Alongamento (<math>\Delta L</math> %)</b>
Corpo de prova 1	127,450	254,500	225,804	2,62618
Corpo de prova 2	131,734	260,081	231,897	2,66747
Corpo de prova 3	131,734	260,648	228,971	2,66747
Corpo de prova 4	123,200	262,450	222,291	2,54344
<b>Média</b>	<b>128,530</b>	<b>259,420</b>	<b>227,241</b>	<b>2,62614</b>

Fonte: Adaptado de Barbosa (2018)

### 6.3 Análise geral ASTM A36 vs. SAE 1020

Foram apresentados, de acordo com as propriedades mecânicas, os aços SAE 1020 e ASTM A36. Em uma análise mais direta dos materiais, é possível perceber que há certa compatibilidade em suas propriedades, como já era esperado.

As propriedades mecânicas analisadas para que seja feita a comparação e conclusão se os aços podem ser substituíveis foram o Limite de Resistência a Tração, Limite de Escoamento e Alongamento, uma vez que são as principais propriedades utilizadas para classificação dos aços estruturais, e que também servem de parâmetro para a norma técnica reguladora.

As tabelas 6.20 e 6.21 apresentam as propriedades dos aços sendo comparadas, de acordo com as fontes selecionadas.

Tabela 6.20 – Comparativo de Limite de Resistência à Tração

<b>Fonte</b>	<b>Limite de Resistencia a Tração ASTM A36</b>	<b>Limite de Resistencia a Tração SAE 1020</b>	<b>Fonte</b>
Silva; Gheno (2017)	434,5 MPa	462,36 MPa	Bertoldi (2014)
Fleck (2018)	493,6 MPa	512,99 MPa	Datres et al (2017)
Fonseca (2005)	445,6 MPa	481,34 MPa	Barbosa (2018)
Carlesso et al (2018)	444 MPa	466,22 MPa	Bejo et al (2019)
<b>MÉDIA</b>	<b>454,42</b>	<b>480,72</b>	<b>MÉDIA</b>

Fonte: Autora

Tabela 6.21 – Comparativo de Limite de Escoamento

<b>Fonte</b>	<b>Limite de Escoamento ASTM A36</b>	<b>Limite de Escoamento SAE 1020</b>	<b>Fonte</b>
Silva, Gheno (2017)	315 MPa	417,11 MPa	Bertoldi (2014)
Fleck (2018)	361,9 MPa	468,68 MPa	Datres et al (2017)
Fonseca (2005)	320,67 MPa	320,84 MPa	Barbosa (2018)
Carlesso et al (2018)	311 MPa	325,8 MPa	Bejo et al (2019)
<b>MÉDIA</b>	<b>327,14</b>	<b>383,09</b>	<b>MÉDIA</b>

Fonte: Autora

Comparando as médias de cada material, observa-se que a diferença do aço SAE 1020 para o ASTM A36 é de 5,78%, com relação ao Limite de Resistência a Tração. Já a diferença do Limite de Escoamento é um valor mais elevado e significante, como é possível notar na tabela 6.22.

Tabela 6.22 – Diferença entre os aços SAE 1020 e ASTM A36

<b>PROPRIEDADE</b>	<b>ASTM A36</b>	<b>SAE 1020</b>	<b>DIFERENÇA (%)</b>
Limite de resistência a tração	454,42 MPa	480,72 MPa	5,7
Limite de escoamento	327,14 MPa	383,09 MPa	17,10

Fonte: Autora

Outro fator que chama bastante atenção é a diferença entre os valores obtidos entre os autores de resistência à tração e limite de escoamento do aço SAE 1020. É possível notar que há uma grande diferença, chegando a ultrapassar um intervalo de 100 MPa no limite de escoamento entre os autores Barbosa e Datres et al. Quanto ao aço ASTM A36 é notável que seus valores obtidos são bastante uniformes, não tendo muita diferença entre os quatro autores apresentados. Na tabela 6.23 e 6.24 é apresentado o desvio padrão entre as médias obtidas nos materiais.

Tabela 6.23 – Desvio Padrão do Limite de Escoamento dos materiais

<b>Fonte</b>	<b>Limite de Escoamento ASTM A36</b>	<b>Limite de Escoamento SAE 1020</b>	<b>Fonte</b>
Silva, Gheno (2017)	315 MPa	417,11 MPa	Bertoldi (2014)
Fleck (2018)	361,9 MPa	468,68 MPa	Datres et al (2017)
Fonseca (2005)	320,67 MPa	320,84 MPa	Barbosa (2018)
Carlesso et al (2018)	311 MPa	325,8 MPa	Bejo et al (2019)
<b>DESV. PADRÃO</b>	<b>23,50</b>	<b>72,20</b>	<b>DESV. PADRÃO</b>

Fonte: Autora

Tabela 6.24 – Desvio Padrão do Limite de Resistência à tração

<b>Fonte</b>	<b>Limite de Resistencia a Tração ASTM A36</b>	<b>Limite de Resistencia a Tração SAE 1020</b>	<b>Fonte</b>
Silva; Gheno (2017)	434,5 MPa	462,36 MPa	Bertoldi (2014)
Fleck (2018)	493,6 MPa	512,99 MPa	Datres et al (2017)
Fonseca (2005)	445,6 MPa	481,34 MPa	Barbosa (2018)
Carlesso et al (2018)	444 MPa	466,22 MPa	Bejo et al (2019)
<b>DESV. PADRÃO</b>	<b>26,57</b>	<b>23,01</b>	<b>DESV. PADRÃO</b>

Fonte: Autora

Segundo a norma ABNT NBR 8800:2008, um aço estrutural deverá ter o Limite de Escoamento mínimo de 250MPa, e máximo de 450 MPa. Como é visto na tabela 6.21, o aço SAE 1020 ultrapassa o máximo permitido, fazendo com que não mais se encaixe na norma.

Tabela 6.25 - Relação LR/LE ASTM A36

<b>Fonte</b>	<b>Limite de Resistencia a Tração ASTM A36</b>	<b>Limite de Escoamento ASTM A36</b>	<b>Relação</b>
Silva; Gheno (2017)	434,5 MPa	315 MPa	1,37
Fleck (2018)	493,6 MPa	361,9 MPa	1,36
Fonseca (2005)	445,6 MPa	320,67 MPa	1,38
Carlesso et al (2018)	444 MPa	311 MPa	1,42

Fonte: Autora

Tabela 6.26 – Relação LR/LE SAE 1020

<b>Fonte</b>	<b>Limite de Resistencia a Tração SAE 1020</b>	<b>Limite de Escoamento SAE 1020</b>	<b>Relação</b>
Bertoldi (2014)	462,36 MPa	417,11 MPa	1,10
Datres et al (2017)	512,99 MPa	468,68 MPa	1,09
Barbosa (2018)	481,34 MPa	320,84 MPa	1,50
Bejo et al (2019)	466,22 MPa	325,8 MPa	1,43

Fonte: Autora

Em outro ponto da norma técnica, consta que existe um valor mínimo para a relação entre Limite de Resistência e o Limite de Escoamento do material, que é 1,18. Fazendo a análise desse critério nos dois materiais, o ASTM A36 atende a todos os critérios, já o SAE 1020 não se adequa em metade dos casos estudados, nos autores Datres et al e Bertoldi, como é possível notar na tabela 6.26.

## 7 CONCLUSÃO

De um modo geral, as propriedades mecânicas e composição química dos aços SAE 1020 e ASTM A36 se assemelham bastante, ambos são materiais com uma média resistência e com o teor de carbono entre 0,2 e 0,3%. Considerando esses aspectos amplos, os aços se encaixam e seria possível substituir o ASTM A36 pelo SAE, mas ao longo do estudo detalhado, pode-se observar que existem alguns aspectos que negam essa possibilidade.

Como se pode observar, o aço SAE 1020 obedece alguns critérios mínimos da norma ABNT 8800:2008, utilizada para classificação de Aços Estruturais, como Limite de Resistência e Limite de Escoamento. Considerando apenas essas duas características, o SAE 1020 se encaixaria como Aço MR 250, que possui Limite de Escoamento mínimo de 250 MPa e Limite de Resistência a Tração de 400-560MPa.

Outro ponto a ser observado é que, embora se encaixe na maioria dos casos, o aço SAE 1020 ultrapassou o máximo de 450 MPa de limite de escoamento definido pela norma. Assim também, quando se trata de um aspecto crítico na norma, que relaciona as duas propriedades, o SAE 1020 não apresentou comportamento compatível com a relação. É dado uma relação mínima de 1,18, e em metade dos casos abordados, o SAE 1020 não se encaixa, obtendo uma relação menor a 1,10.

Desse modo, é possível observar que os materiais possuem algumas características semelhantes de maneira geral, mas que não é possível encaixar o aço SAE 1020 como uma substituição do ASTM A36, uma vez que por ser da categoria de Aço Estrutural, deve obedecer os critérios impostos pela norma, e como visto anteriormente, o SAE 1020 atende a alguns desses critérios.

Outro ponto relevante a ser citado é a grande variabilidade nas propriedades do SAE 1020 nos artigos sobre citados. Um dos aspectos mais relevantes para um aço estrutural é que ele tenha um comportamento previsível, ou seja, que suas propriedades/características tenham o máximo de confiabilidade possível, e no caso do SAE 1020, como pode-se observar durante as análises, essas propriedades não uniformes, já que os valores obtidos nos ensaios abordados apresentaram grande diferença.

## REFÊRENCIAS

- CALLISTER, William. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- COSTA E SILVA, André Luiz; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 1988.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 6. ed. São Paulo: [s. n.], 1988.
- VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de ciência dos materiais**. 13. ed. São Paulo: Edgar Blucher LTDA, 2000.
- GHENO, Simoni Maria. Caracterização mecânica e estrutural do aço ASTM A131 classe DH36 em comparação com aço ASTM A36 utilizado para projetos estruturais. **Revista Academus**, v. 5, n. 2, 2017.
- FONSECA, Eduardo. Determinação indireta das propriedades mecânicas de aço ASTM A36 laminado com o uso de ultra-som. 2005.
- LEITE, Sueli Souza et al. Ensaio de tração mecânica e análise metalográfica do aço SAE 1045. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v. 2, n. 1, 2017.
- BEJO, Felipe Govoni et al. Estudo comparativo das propriedades mecânicas dos aços SAE 1045 e SAE 1020, em diferentes condições metalúrgicas, através dos ensaios de tração unidirecional e flexão em três pontos. **Revista Matéria**, v. 26, n. 3.
- CALDAS, Araújo; ANDRADE, Alexandre Ribeiro; DE ARAÚJO CALDAS, Allysson Macário. ESTUDO TEÓRICO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM LIGAS DE AÇO SAE 1020 E SAE 1045.
- OLIVEIRA, Edgard Araújo de Lima et al. Análise das propriedades de um aço 1020 normalizado submetido a concentradores de tensões. 2018.
- BARBOSA, Larissa Moreira. Análise de concentração de tensão do aço sae 1020 tratado termicamente. 2018.
- SOUZA, Sergio Augusto de. **Ensaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1982.

LUZ, Gelson. Aço SAE 1020 Propriedades (e Fornecedores do Aço 1020). Blog Materiais, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 11 de agosto de 2021

UZ, Gelson. Aço ASTM A36 Propriedades Mecânicas e Composição Química. Blog Materiais, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/astm-a36-propriedades-mecanicas-e-composicao-quimica.html>. Acesso em: 26 de julho de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800:2008, Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, 2008.

CAPUS SOLANO, Edisson Stalin. **Análisis de la resistencia al desgaste abrasivo del acero al carbono ASTM A-36 y del AISI 1045, con tratamiento superficial, para utilizar en la reparación de cucharones de retroexcavadoras.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

SILVEIRA, Maicon. Análise comparativa de materiais resistentes à abrasão para canalizações agrícolas. 2016.

SOUZA DE OLIVEIRA BUFFONI, SALETE. **Propriedades Mecânicas dos Materiais.** [S. l.], 20---. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/Propriedades-Mecanicas-dos-Materiais.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021.

SILVA, Renan Wagner Novaes; GIANNINI, Helio. AS VANTAGENS DA FIBRA DE CARBONO EM RELAÇÃO AO AÇO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA.

FLECK, Emanuela. **ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO AÇO QUANDO SUBMETIDO À TEMPERATURAS ELEVADAS.** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade FEEVALE, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://biblioteca.feevale.br/Vinculo2/000014/00001440.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2021.

CARLESSO, Amanda Leticia *et al.* **ANÁLISE COMPARATIVA DOS AÇOS ASTM A131 AH36 E ASTM A36: UM ESTUDO DE CASO DO USO DE UM DOS AÇOS NO PISO DE UM MÓDULO PARA FPSO.** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdades Integradas de Aracruz, [S. l.], 2018. Disponível em: [http://www.faacz.com.br/repositorio\\_de\\_tccs/2018/2018%20-%20CEM-Bozetti-Carlesso-Muniz.pdf](http://www.faacz.com.br/repositorio_de_tccs/2018/2018%20-%20CEM-Bozetti-Carlesso-Muniz.pdf). Acesso em: 2 ago. 2021

DATRES, Kézio Durval Lima *et al.* ENSAIO DE TRAÇÃO E METALOGRAFIA DO AÇO SAE 1020. **Revista Engenharia em Ação Unioledo**, São Paulo, v. 02, 2017. Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/2578/152>. Acesso em: 2 ago. 2021

BERTOLDI, Evandro. Análise de ensaios de tração em corpo de prova de aço SAE 1020. **Rio Grande do Sul, FAHOR**, 2014.

FERROS & Aços II. [S. l.], 201-?. Disponível em: <https://www.mspc.eng.br/dir90/ferr02.php>. Acesso em: 10 jul. 2021.

VENSON, Ivan. **Ferro e Aço Conceitos**. [S. l.], 201-?. Disponível em: [http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasivan/processoscorte\\_arquivos/FerroAcoConceitos.pdf](http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasivan/processoscorte_arquivos/FerroAcoConceitos.pdf). Acesso em: 14 jul. 2021.

SILVA, Renan Wagner Novaes; GIANNINI, Helio. AS VANTAGENS DA FIBRA DE CARBONO EM RELAÇÃO AO AÇO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA. **Semana Acadêmica**, [s. l.], 2019. Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/as\\_vantagens\\_da\\_fibra\\_de\\_carbono\\_em\\_re\\_lacao\\_ao\\_aco\\_na\\_industria\\_automobilistica\\_rv\\_03-24\\_10\\_2019.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/as_vantagens_da_fibra_de_carbono_em_re_lacao_ao_aco_na_industria_automobilistica_rv_03-24_10_2019.pdf). Acesso em: 11 jul. 2021.

CRUZ, Benhur Demetrius de Oliveira. **Tipos de aço**. [S. l.], 4 jan. 2012. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/BenhurDemetrius/tipo-de-aos>. Acesso em: 11 jul. 2021.

LUZ, Gelson. Aço SAE 1035 Propriedades Mecânicas e Composição Química. Blog Materiais, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1035-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 11 de jul. de 2021.

LUZ, Gelson. Aço AISI 1015 Propriedades Mecânicas e Composição Química. Blog Materiais, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-aisi-1015-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 11 de jul. de 2021.

LUZ, Gelson. Aço SAE 1080 Propriedades Mecânicas e Composição Química. Blog Materiais, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1080-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 11 de julho de 2021.

TSCHIPTSCHIN, André Paulo. **Propriedades Mecânicas dos Aços**. [S. l.], 22 set. 2020. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/blog-acos-especiais/propriedades-mecanicas-dos-acos>. Acesso em: 2 ago. 2021.

EFEITOS DOS ELEMENTOS E LIGA NAS PROPRIEDADES DE AÇOS. [S. l.], 200-?. Disponível em: <https://galvaco.com.br/?p=catalogos>. Acesso em: 2 ago. 2021.

ENSAIO mecânico: Tração. [S. l.], 25 fev. 2013. Disponível em: <https://infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-e-mecanicos-livros-senai/209-ensaio-mecanico-tracao>. Acesso em: 14 ago. 2021.

BUFFONI, SALETE SOUZA DE OLIVEIRA. **Propriedades Mecânicas dos Materiais**. [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/Propriedades-Mecanicas-dos-Materiais.pdf>. Acesso em: 14 set. 2021.