

ANÁLISE DAS JUNTAS DE ELEMENTOS SOLDADOS REALIZADOS COM ELETRODOS REVESTIDOS E6013 DE DIFERENTES MARCAS

SILVA, C.D.¹; COSTA, E.B.²; SILVA, W.C.³; SILVA, W.P.⁴

Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Anápolis-Uni EVANGÉLICA, Avenida Universitária, Km 3,5, CEP 75083-515 Cidade Universitária – Anápolis, Go, Brasil

¹cleidimarcsc@gmail.com, ²Eder@gmail.com, ³wallysson.costa@hotmail.com, ⁴wilpasil@bol.com.br

Resumo: Este trabalho teve como principal objetivo a comparação entre soldas realizadas com eletrodos revestidos E6013 de duas marcas diferentes. Para critério de comparação os corpos de prova feitos com aço ASTM 1020 foram confeccionados de acordo com as normas técnicas da ABNT que utiliza a NBR 6152 para definir as formas e dimensões dos corpos de prova. Após sua confecção os corpos de prova foram soldados e posteriormente submetidos ao ensaio de tração. Com os dados obtidos através do equipamento utilizado para realizar o ensaio de tração, calculou-se o desvio padrão dos limites de resistência de cada junta soldada. Observando os resultados obtidos após os cálculos constatou-se que a solda realizada com o eletrodo revestido de marca “A” obteve melhores resultados em relação ao de marca “B”.

Palavras-Chave: Eletrodo revestido, Ensaio, Soldagem

Abstract: This work had as main objective the comparison between welds made with coated electrodes E6013 of two different brands. For the comparison criterion, the specimens made with ASTM 1020 steel were made according to the technical standards of the ABNT that uses the NBR6152 to define the shapes and dimensions of the specimens. After their preparation, the specimens were welded and subsequently subjected to the tensile test. With the data obtained through the equipment used to perform the tensile test, the coated the weld efficiency, and the standard deviation of the resistance limits of each weld joint were calculated. Observing the results obtained after the calculations, it was verified that the welding performed with the "A" brand-coated electrode obtained better results than the "B" brand.

1 INTRODUÇÃO

Na grande maioria dos projetos de fabricação mecânica, o processo de união das peças metálicas se dá por meio da soldagem. O processo de soldagem *Shielded Metal Arc Welding* – (SMAW), em português Eletrodo Revestido, é comumente o meio mais utilizado dentre os vários processos de soldagem, pois este tem grande versatilidade e o seu custo é razoavelmente acessível em se comparado com outros processos [1].

Com o surgimento de diversas marcas similares de eletrodo revestido no mercado brasileiro, o mesmo pode ser encontrado com uma enorme variedade de preços e características. Para este trabalho propomos testar por meio de ensaios de tração as propriedades mecânicas de cordões de soldas realizados com eletrodos revestidos E-6013 de duas diferentes marcas em corpos de provas confeccionados de acordo com a norma NBR 6152.

2 SOLDADGEM

O processo de união de peças se divide em duas categorias, a primeira o processo de união se dá através de forças macroscópicas como por exemplo na rebagem, e o outro processo tem como principal característica a união das peças através de ligações químicas, por exemplo na soldagem [1].

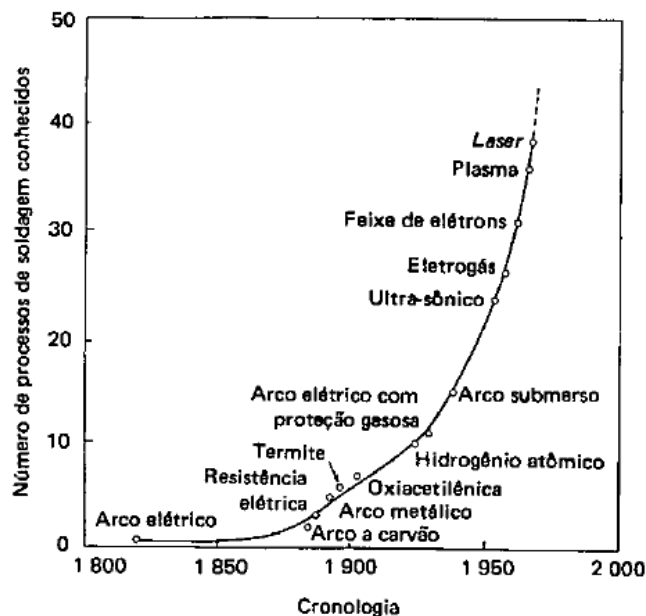
O processo de união de peças metálicas através da soldagem é o meio mais utilizado industrialmente [1]. Este processo é aplicável desde a fabricação de estruturas simples, como uma grade ou portão, até estruturas com elevado grau de responsabilidade, como nas indústrias petrolíferas e nucleares.

2.1 Breve Histórico dos processos de soldagem

O ato de unir peças metálicas já era realizado desde as eras pré-históricas. Existem relatos de que as técnicas de brasagem¹ já eram empregadas desde os anos 3000 ou 4000 a.C [3]. Atualmente no museu de Louvre, existe um pingente de ouro com características de que sofreu soldas durante o seu processo de fabricação por volta de 4000 a C [2].

A figura 1 apresenta a um breve histórico dos processos de soldagens desenvolvidos no decorrer do tempo.

Figura 1 Desenvolvimento Histórico da Tecnologia da Soldagem



Fonte: [4]

2.2 Eletrodo Revestido

A solda a arco realizada com eletrodos revestidos (*SMAW*) é um processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento destes através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e a peça que está sendo soldada. [3]

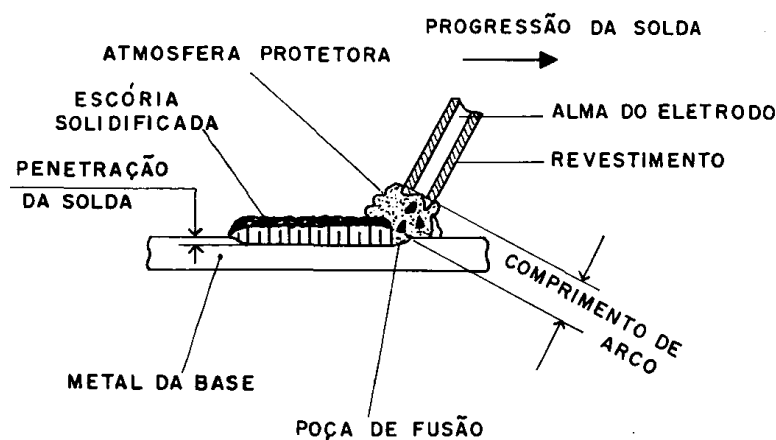
O eletrodo revestido é formado por duas partes. Uma vareta metálica e um revestimento conforme figura 2. A vareta metálica chamada de alma, conduz a corrente elétrica e fornece o material de adição. Já o revestimento tem várias funções sendo considerada a mais importante a proteção da poça de fusão contra os gases da atmosfera. [1].

¹ Processo de soldagem na qual o metal de adição tem um ponto de fusão mais baixo que o metal de base, sendo a junta preenchida por efeito capilar. [2]

No processo de soldagem com eletrodo revestido podem ser utilizados dois tipos de fontes, a de corrente alternada e a de corrente contínua. No processo utilizando fontes de corrente alternada há uma redução no sopro magnético as configurações são mais simples e baratas devido ao custo dos equipamentos e ao custo da manutenção, porém a estabilidade do arco e facilidade de ignição são inferiores. [5]

No processo com fontes de corrente contínua sua principal característica é que se houver variação no comprimento do arco, por influência externa a corrente tende a permanecer constante estas fontes possuem duas configurações que são as unidades geradoras utilizadas normalmente onde o suprimento elétrico não é adequado e as unidades retificadoras que são mais utilizadas por possuírem baixo custo de operação e reduzida manutenção e por possuírem um número mínimo de partes móveis. [4]

Figura 2 Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido



Fonte: [5]

2.3 Características dos Revestimentos dos eletrodos

O revestimento é uma mistura de diversos componentes químicos cuja as principais funções são: a proteção da poça de fusão contra os gases da atmosfera, estabilizar o arco elétrico, conferir características operacionais, mecânicas e metalúrgicas ao cordão de solda através da escória e dos gases que são gerados durante a queima do eletrodo revestido

Os revestimentos são divididos em quatro grandes grupos [1].

2.3.1 Revestimento Ácido:

É constituído por óxido de ferro, manganês e sílica. Este eletrodo pode ser usado em corrente CC (corrente contínua) e CA (corrente alternada) apresentando uma escória de difícil remoção, taxa de deposição elevada e poça de fusão volumosa. Uma das principais características do revestimento ácido são suas propriedades na solda que são consideradas boas em várias aplicações, porém apresenta baixa resistência a formação de trincas de solidificação menor. Possui cordão de solda com bom acabamento superficial [1].

2.3.2 Revestimento Rutílico:

São revestimentos que contêm uma quantidade significativa de rutílo produz uma quantidade elevada de escória. São eletrodos de fácil manuseio podendo ser usado tanto

em CC e CA em todas as posições. Pode apresentar uma média ou baixa penetração com bom acabamento. É um eletrodo de grande versatilidade [1].

2.3.3 Revestimento Básico:

Contêm uma quantidade considerável de carbono de cálcio e fluorita, gera uma escória básica, junto com o dióxido de carbono formado pela decomposição do carbonato protege a solda do contato com os gases da atmosfera. Esta escória protege a solda contra a formação de trincas no momento da solidificação [1].

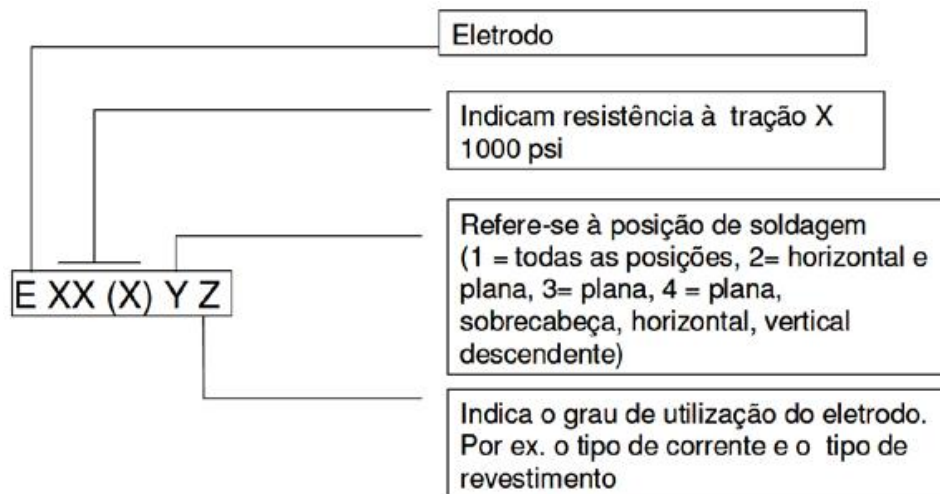
2.3.4 Revestimento Celulósico:

Contem grande quantidade de substâncias orgânicas cuja decomposição no arco gera grande quantidade de gases que protegem o metal líquido. A quantidade de escória produzida é pequena o arco elétrico é forte causando uma grande quantidade de respingo e alta penetração. São geralmente recomendados para soldagem na posição plana [1].

2.4 Classificação dos eletrodos revestidos segundo AWS

Os eletrodos revestidos são classificados com base em propriedades mecânicas do metal de solda, no tipo de revestimento, na posição de solda e no tipo de corrente elétrica (CC ou CA) (4). A norma técnica estabelece um código alfa numérico cujo seu significado está expresso na figura abaixo.

Figura 3 Classificação de eletrodos revestidos para aços carbono



Fonte: [6]

2.5 CARACTERÍSTICA DO ELETRODO REVESTIDO E6013

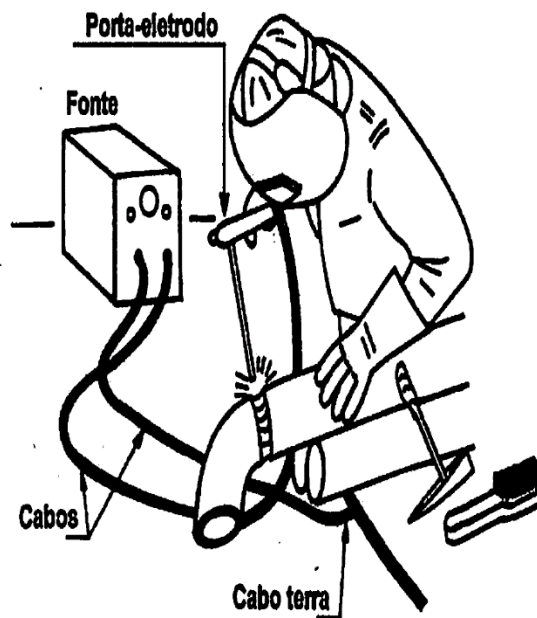
O eletrodo da classe E 6013. Este eletrodo se enquadra no grupo dos eletrodos de revestimento rútilico, pois possui uma grande quantidade de dióxido de titânio (rutílo – TiO₂) em seu revestimento. O seu arco elétrico de baixa penetração permitindo assim que metais de espessuras pequenas sejam soldados sem que haja o furo da peça [4].

2.6 Equipamentos para soldagem a eletrodo revestido:

Processo de soldagem a eletrodo revestido em comparação com os outros processos de soldagem elétrica possui uma das configurações mais simples [4]. Este processo conforme figura 4 é constituído basicamente por:

- Fonte de energia
- Porta eletrodo
- Cabos e conexões
- Equipamentos de segurança (máscara, óculos, avental e etc.)
- Ferramentas (picadeira, escova de aço e etc.)

Figura 4 Circuito de soldagem para processos com eletrodos revestidos

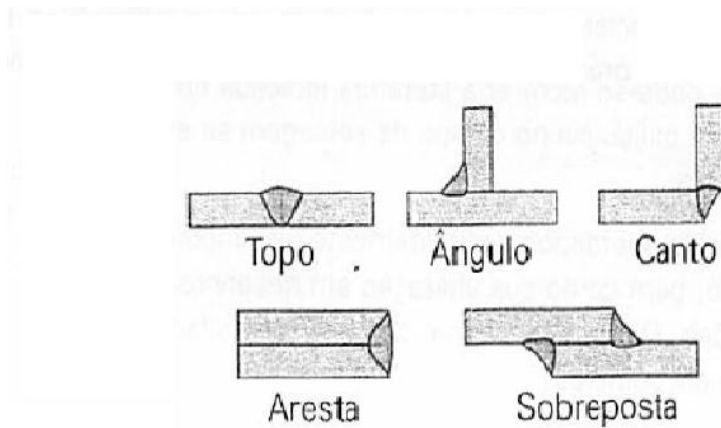


Fonte: [5]

2.7 Juntas

O local onde as peças são unidas por soldagem é chamado de junta. A figura 5 mostra as disposições das peças de acordo os vários tipos de juntas [1].

Figura 5 Tipos de Juntas

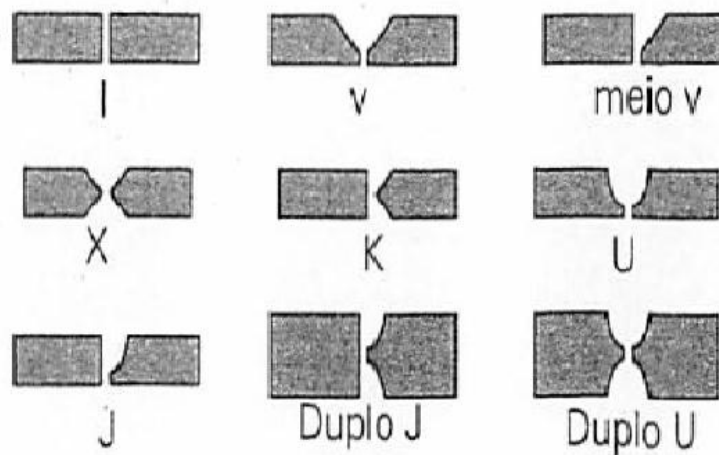


Fonte: [1]

2.8 Chanfros:

Algumas vezes de acordo com as necessidades do projeto e as dimensões das peças, é necessária uma preparação anterior das juntas em forma de cortes ou conformações. Esta preparação recebe o nome de Chanfro. Para a escolha do chanfro adequado deve se levar em consideração vários fatores, como por exemplo: as dimensões das peças, a facilidade do acesso ao local de soldagem, a facilidade de move-las. A figura abaixo mostra os formatos dos chanfros [1].

Figura 6 Tipos de Chanfros

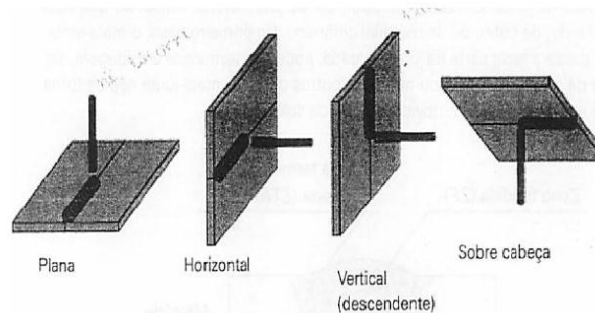


Fonte: [1]

2.9 Posição de soldagem

A soldagem pode ser realizada em quatro posições diferentes, são elas: plana, horizontal, vertical ou sobre cabeça. Estas quatro posições podem ser melhor visualizadas conforme figura abaixo. A soldagem na posição plana geralmente é a mais aconselhável pelo fato da mesma ser executada com maior facilidade e se obter uma maior produtividade [1].

Figura 7 Posições de Soldagem

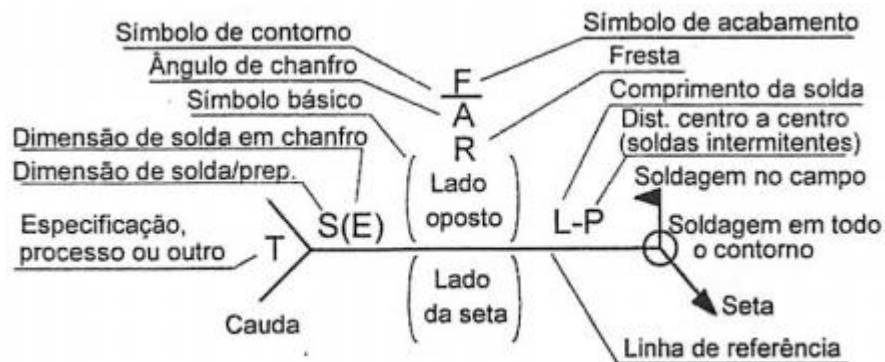


Fonte: [1]

2.10 SIMBOLOGIA DE SOLDAGEM

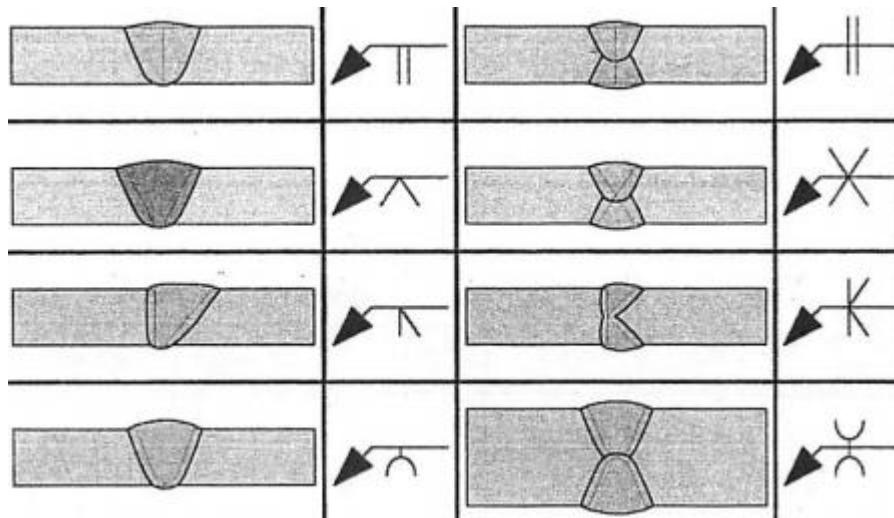
A simbologia é uma forma de representar através de números, sinais e setas um determinado tipo de solda, junta ou chanfro é usado pelos projetistas para transmitir instruções necessárias ao soldador. A NBR 7165 estabelece as simbologias de solda a fim de garantir a execução correta para uma junta soldada. As figuras abaixo mostram a localização dos elementos de soldagem.

Figura 8 Localização dos elementos de um símbolo de soldagem.



Fonte: [1]

Figura 9 Tipos básicos de solda e seus símbolos



Fonte: [1]

3 ENSAIO MECÂNICO

Para que se possa determinar as propriedades mecânicas dos materiais metálicos é necessário a realização de ensaios mecânicos. Estes ensaios se dividem entre destrutivos² e não-destrutivos. Os ensaios mecânicos destrutivos são compostos por ensaio de tração, dobramento, torção, fadiga, impacto, compressão e outros.

Compõe os ensaios não destrutivos ensaios por líquido penetrante, raio x, ultrassom dentre outros. [5]

Para este trabalho optamos por realizar o ensaio de tração, pois através deste ensaio, é possível avaliar diversas propriedades mecânicas dos materiais. [5 p. 7] “ A facilidade de execução e a reprodutividade dos resultados tornam o ensaio de tração o mais importante” [5 p. 7].

3.1 Ensaio de Tração

Este ensaio está contido no grupo dos ensaios classificados como destrutivos cujo objetivo é analisar as propriedades mecânicas dos materiais, o corpo de prova é sujeito a aplicação de força de tração em apenas uma direção axial. Essa força é aumentada de maneira uniforme até sua ruptura. A máquina que realiza o teste de tração alonga o corpo de prova com uma velocidade constante, e o resultado do teste é registrado em forma de gráfico que relaciona a força aplicada e deformação ocorrida durante o teste [7].

3.2 Propriedades Mecânicas Obtidas Pelo Ensaio de Tração:

Ao realizar o ensaio de tração, um gráfico tensão³ e deformação⁴ é gerado a partir da análise das medidas das cargas ou (tensão) e da deformação que o corpo de prova sofre

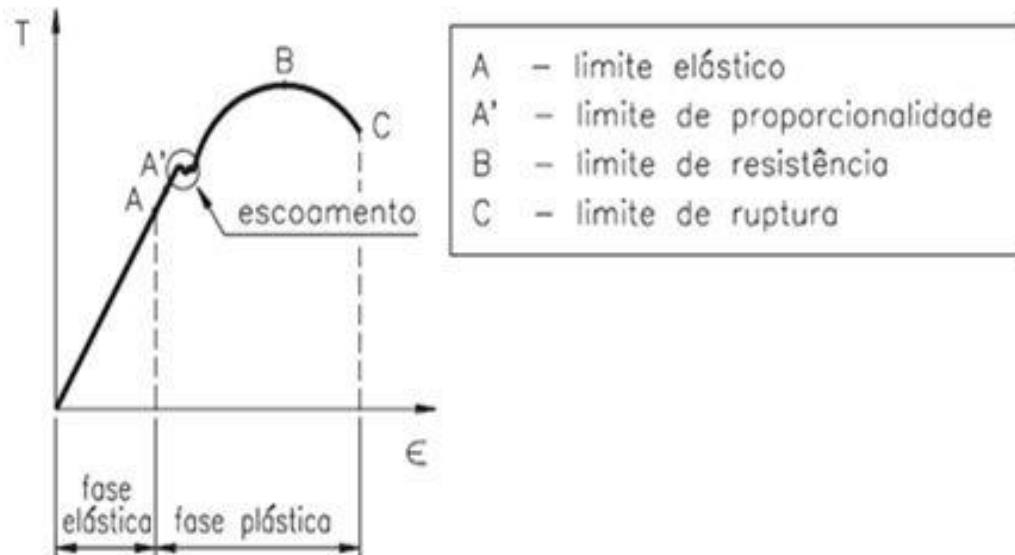
² Promovem a Ruptura ou a inutilização do corpo de prova

³ A tensão é a resistência interna de um corpo a uma força externa aplicada sobre ele, por unidade de área. A unidade de tensão no SI é o $\frac{N}{mm^2} = MPa$. [5]

⁴ A deformação se caracteriza pela variação da dimensão de um dado corpo por unidade de mesma dimensão. Por este motivo a deformação é uma grandeza adimensional. [5]

durante o ensaio. O ensaio de tração nos fornece quatro informações básicas sendo elas: limite Elástico, limite de escoamento, limite de resistência, limite de ruptura [5].

Figura 10 Gráfico Tensão & Deformação



Fonte [10]

3.3 Limite Elástico

O limite elástico que está representado pela letra (A) é definido como a maior tensão que o corpo de prova consegue suportar sem que o mesmo venha sofrer uma deformação permanente. Enquanto o material estiver dentro da fase elástica o mesmo obedece a lei de Hooke, ou seja, a deformação é proporcional a tensão [5].

3.4 Limite de proporcionalidade

O ponto (A') é conhecido como o limite de proporcionalidade, a partir deste ponto a deformação do material não será mais proporcional a tensão. Vale ressaltar que alguns autores colocam (A') abaixo de (A) [5].

3.5 Limite de escoamento:

Quando um metal é submetido a uma força de tração ele sofrerá uma deformação, enquanto esta força não ultrapassar o limite de escoamento o metal poderá retornar a sua forma original ao cessar da força sem nenhum dano a sua estrutura física. Quando o limite de escoamento é atingido o material não estará mais dentro de seu regime elástico e o mesmo não retornará mais a sua forma original [5]. O limite de escoamento é dado pela expressão:

$$\sigma_e = \frac{Q_e}{S_0} \quad \text{Eq (1)}$$

Onde Q_e representa a carga de escoamento dado em (N) e S_0 representa a área inicial dado em (mm^2). A unidade de medida do limite de escoamento é dada em (MPa).

3.6 Limite de resistência

Ao fim da fase elástica o material entra em sua fase plástica, caso a força não cesse, o ensaio continuará até que seja atingida a tensão máxima que o material suportará o que caracteriza o fim da fase plástica e o início da estrição [5]. O limite de Resistência é dado pela expressão:

$$\sigma_r = \frac{Q_r}{S_0} \quad \text{Eq (2)}$$

Onde Q_r representa a carga máxima atingida no ensaio dado em (N) e S_0 representa a área inicial dado em (mm^2). A unidade de medida do limite de resistência é dada em (MPa).

3.7 Alongamento:

Para que se possa obter o alongamento é preciso medir o corpo de prova através de marcas feitas nele antes do ensaio, conforme normas técnicas. Após a ruptura do corpo de prova faz se a união das duas partes para que uma nova medida seja realizada [5]. O alongamento é dado pela expressão:

$$A = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad \text{Eq (3)}$$

Onde L_0 é o comprimento inicial e L é o comprimento final ambas unidades são dadas em (mm). O alongamento é representado em porcentagem.

3.8 Redução de área

A redução de área também conhecida como estrição é dada em porcentagem e é dada pela medida da seção transversal do corpo de prova após a ruptura. “O valor da redução de área mede a ductilidade ou a fragilidade relativa do material [5].

$$\varphi = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad \text{Eq (4)}$$

Onde S_0 é a secção inicial e S é a secção final após a estrição ambas unidades são dadas em (mm^2). O alongamento é representado em porcentagem.

4 CORPOS DE PROVA

Os corpos de provas devem ser confeccionados de acordo com normas técnicas. A associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem o projeto NBR 6152. Este projeto define as formas e dimensões aos corpos de provas quando submetidos ao ensaio de tração [5].

Os corpos de provas podem ter sua seção transversal no formato: circular, quadrada, retangular, anelar ou em casos especiais de outra forma [8].

5 AÇO

Aços são ligas de ferro-carbono na qual as suas propriedades físicas são extremamente sensíveis a quantidade de carbono que geralmente não passa de 1%. Os aços conhecidos como aços comuns são classificados em três grandes grupos de acordo com sua concentração de carbono [7].

5.1 AÇOS COM BAIXO TEOR DE CARBONO

Os aços de baixo teor de carbono são os mais fabricados dentre todos os outros aços. Dentre estes aços podemos exemplificar de acordo com a designação da ASTM os aços 1010, 1020 e A36. Para estes aços sua composição o carbono corresponde a no máximo 0,25% e a sua microestrutura é formada por ferrita e perlita. A sua estrutura é em geral mole e fraca, no entanto possui excelente ductilidade e ótima tenacidade, sendo ele de fácil usinagem e soldagem. Por este motivo ele possui grande aplicabilidade na fabricação de vigas I, canaletas, chapas usadas em tubulações, edificações, pontes e etc. Estes aços possuem o limite de escoamento por volta de 275 MPa, limites de resistência a tração entre 415 e 550 MPa e uma ductilidade de 25% de alongamento [7].

5.2 Aços com Médio Teor de Carbono:

Em geral estes aços possuem uma porcentagem de carbono na casa dos 0,25 e 0,60%. Dentre as várias aplicações podemos citar a fabricação de rodas, trilhos de trem engrenagens, virabrequins e vários outros componentes que exigem uma resistência alta, resistência a abrasão e tenacidade. De acordo com designação AISI/SAE temos como exemplo o aço 1060 [7].

5.3 Aços com alto teor de carbono:

São aços quem contém em sua estrutura uma porcentagem de carbono aproximadamente entre 0,60 e 1,4%. Por serem muito resistentes ao desgaste e a abrasão estes aços são ideais para a fabricação de ferramentas de corte, matrizes para modelação e conformação de materiais e etc. [7].

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Material utilizado para a confecção dos corpos de provas.

O material utilizado para a confecção dos corpos de provas foram barras de aço chato SAE 1020, com as seguintes dimensões 3,18 mm de espessura por 38 mm de largura e com as seguintes composições químicas e propriedades mecânicas, atestadas conforme Certificado de qualidade conforme figura 11, cujo os dados podem ser melhores visualizados na tabela 1.

Figura 11 Certificado de qualidade

GERDAU

**CERTIFICADO DE QUALIDADE
CERTIFIED MATERIAL TEST REPORT**

-ML-BARAO DE COCAIS-BCOC
RUA GETULIO VARGAS, 1555
BARAO DE COCAIS, Minas Gerais - CEP 35970-000
Fone: (31)38378100

CLIENTE / CUSTOMER FABRIL METALURGICA IRMAOS YAMADA LTDA ME		NUMERO / NUMBER 8102890850/000010	PRODUTO / PRODUCT BARRA CHATA	
DATA FISCAL 000325649		PEDIDO CLIENTE / CUSTOMER ORDER 066	DATA / DATE 09.03.2016	NORMA - ESPECIFICACAO - QUALIDADE NORM - SPECIFICATION - GRADE ASTM A36 / NBR7007 MR250
ORDEN DE VENDA / SALES ORDER 3363125		OBSERVAÇÕES / OBSERVATIONS		

BITOLA / SIZE	LOTE / HEAT	QTD / QUANT	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %	Cr %	LE MPa	LR MPa	Along %
1.1/2 X 1/8	4667208103	1,025 T	0,14	0,50	0,13	0,012	0,028	0,02	0,03	319	436	27,00

Fonte: Gerdau

Tabela 1 Propriedades Químicas e Mecânicas Aço SAE 1020

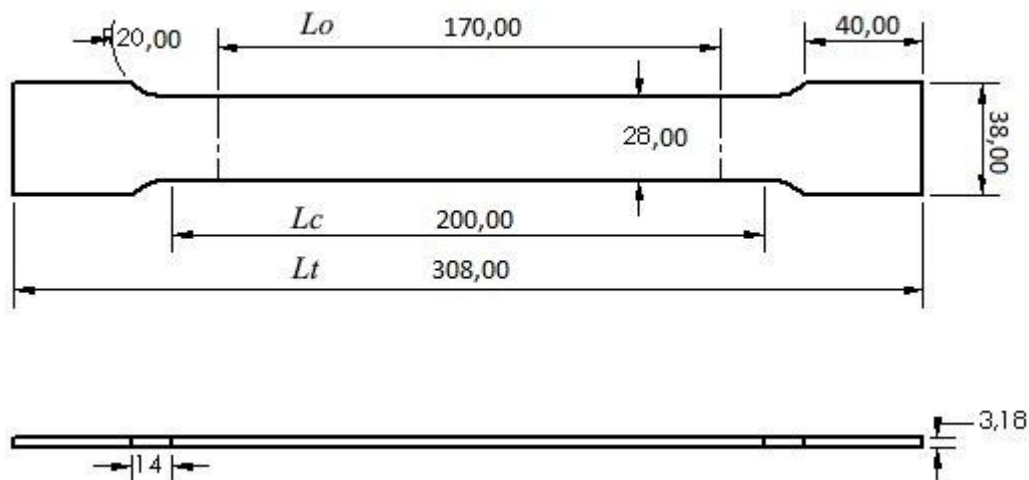
C	Mn	Si	S	P	Cu	Cr	LE	LR	Along
%	%	%	%	%	%	%	MPa	MPa	%
0,14	0,50	0,13	0,012	0,028	0,02	0,03	319	436	27,00

Fonte: Laudo Técnico

6.2 Dimensões dos corpos de provas

Os corpos de provas foram dimensionados conforme Norma Brasileira Regulamentadora NBR 6152. Esta norma recomenda que não ultrapasse a relação de 8:1 entre a largura e espessura do corpo de prova, O raio mínimo de concordância no valor de 12 mm, o valor do comprimento paralelo (Lc) deve ser igual ou maior que: $L_c + 1,5 \sqrt{S_0}$. Os valores em milímetros escolhidos podem ser vistos conforme figura abaixo.

Figura 12 Desenho Técnico Corpo de Prova



Fonte Própria

6.3 Preparação dos corpos de provas

Após definida as dimensões dos corpos de provas, as barras de aço foram cortadas em 15 pedaços menores de 308 mm de comprimento. Para os cortes foi utilizado a máquina serra fita que se encontra no centro tecnológico da Uni Evangélica.

Tabela 2 Dados Técnicos Serra Fita

Marca	Modelo	Velocidade	Peso	Motor	Data
Ronemak	SR-250 VF	50-150 mm/m	360 Kg	105 CV 4P	13/09/2013

Fonte: Própria

Ao estarem devidamente cortadas, as barras de aço foram fresadas no laboratório de mecânica do da faculdade Senai Roberto Mange Anápolis Go, adquirindo assim o formato desejado conforme figura 12 acima.

Em seguida, os corpos de provas já com as devidas dimensões, foram levados ao Centro Tecnológico da Faculdade Uni Evangélica e cortados ao meio utilizando serra fita, e na sequencia todas as partes foram unidas novamente utilizando o processo de soldagem a eletrodo revestido.

6.4 Processo de Soldagem

As soldas dos corpos de provas foram realizadas utilizando aparelho inversor de solda que se encontra no centro tecnológico da faculdade Uni Evangélica.

Tabela 3 Dados Técnicos Aparelho de Soldagem


Marca	Modelo	Tensão	Amperagem de Solda	Tensão de Solda	Frequência
Esab	LHN 220 Plus	220 A 240 V	5 A 200 (a)	20 A 28 V	50 A 60 Hz

Fonte: Própria

Para a soldagem foram utilizados eletrodos revestido E6013, de 2,5 mm de diâmetro de duas diferentes marcas e preço.

Os parâmetros de soldagem foram escolhidos com base em catálogos técnicos das marcas utilizadas e testes realizados em barras de aço 1020 adquiridas para este propósito. A tabela 4 mostra todos os parâmetros de soldagem utilizadas para ambos os eletrodos revestidos durante a soldagem

Tabela 4 Parâmetros de Soldagem

Corrente	Junta	Chanfro	Posição	Abertura Raiz	Simbologia
60 (A) DC	Topo	I	Plana	1 mm	

Fonte: Própria

Para garantir que os eletrodos revestidos não estivessem úmidos no momento da soldagem, uma semana antes da soldagem dos corpos de provas, todos os eletrodos foram colocados em uma estufa no centro tecnológico da faculdade Uni Evangélica a 80°. Pois Os eletrodos devem ser armazenados em estufas cuja temperatura seja no mínimo 10 °C acima da temperatura ambiente ou igual ou superior a 20 °C [9].

Tabela 5 Dados Técnicos Estufa

Modelo	Série	Temperatura Máxima	Capacidade	Tensão	Potência
CBLE-100Tdig	8796	220 °C	100 Kg	220 V	2000 W

Fonte: Própria

Como o objetivo deste artigo é apenas comparar as características mecânicas (limite de resistência) obtidas através dos ensaios de tração realizados nos cordões de soldas dos corpos de provas, optamos por não divulgar as marcas dos respectivos eletrodos revestidos, e somente suas características químicas e propriedades mecânicas, conforme catálogos técnicos das devidas marcas.

Ambos os eletrodos receberam codinomes para uma melhor visualização. Sendo assim as marcas serão descritas neste artigo como “A” ou “B”. As duas marcas foram adquiridas em loja especializada em materiais para serralheiros e soldadores, na cidade de Anápolis Goiás. Os eletrodos das duas marcas estavam devidamente embalados em suas embalagens originais e armazenados em temperatura ambiente.

6.4.1 Eletrodo revestido de marca “A”

O quilograma deste eletrodo custou 2,5 vezes a mais que o quilograma do eletrodo da marca “B”. Abaixo segue tabela com as propriedades químicas e mecânicas do eletrodo revestido de marca “A” conforme catálogo técnico.

Tabela 6 Propriedades Eletrodo Marca "A"

Metal Depositado	Propriedades Mecânicas	Posições de Soldagem	Tensão/ Corrente	Diâmetro mm	Comprimento mm	Faixa Corrente (A)
C 0,07 Si 0,20 Mn 0,35	LR 480-520 Mpa A 22-24%	Todas	18-28 V CA ≥ 50 V CC+ ou -	2,5	350	60-100

Fonte: Catálogo Técnico Marca "A"

6.4.2 Eletrodo Revestido de marca "B"

Abaixo segue tabela com as propriedades químicas e mecânicas do eletrodo revestido de marca "B" conforme catálogo técnico.

Tabela 7 Propriedades Eletrodo Marca "B"

Metal Depositado	Propriedades Mecânicas	Posições de Soldagem	Tensão/ Corrente	Diâmetro mm	Comprimento mm	Faixa Corrente (A)
C 0,08 Si 0,35 Mn 0,65	LR 375-490 A 20-25%	Todas	18-28 V CA \geq 50 V CC+ ou -	2,5	350	60-90

Fonte: Catálogo Técnico Marca "B"

A figura 16 mostra alguns corpos de prova após o processo de soldagem a eletrodo revestido.

Figura 13 Corpos de Prova Soldados



Fonte: Própria

6.5 Ensaio

Antes da realização dos ensaios de tração, todos os corpos de provas foram armazenados por 48 horas na estufa do centro tecnológico da faculdade Uni Evangélica a 95 °C. Pois as soldas realizadas com eletrodos do tipo rutilico devem ser envelhecidas por 48 horas antes do ensaio de tração a uma temperatura da faixa de 95 °C a 115 °C com o objetivo de acelerar a difusão do hidrogênio do metal de solda [3].

Os ensaios foram realizados no dia 24 de setembro de 2017 com início às 19 horas no laboratório de mecânica da Faculdade Senai Roberto Mange, Anápolis Go. Para os ensaios utilizou-se máquina universal de ensaios.

Tabela 8 Dados Técnicos Máquina Universal

Marca	Modelo	Capacidade	Velocidade	Abertura
Emic	DL 10000	100 KN	0,02 A 500 mm/min	120 A 1370 mm

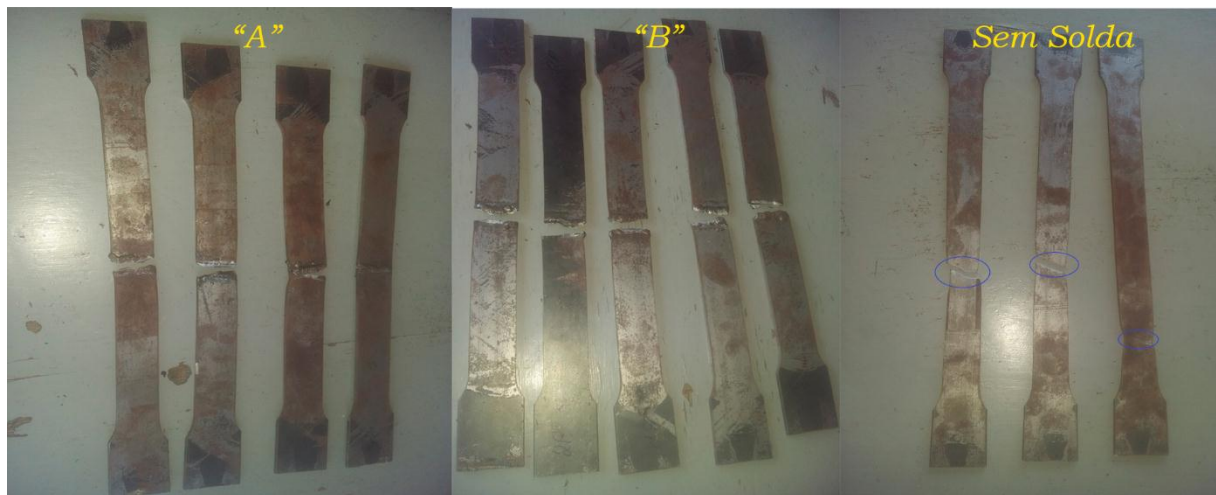
Fonte: [11]

Esta máquina passou por processo de calibração pela empresa QUANTEQ (equipamentos de ensaio Ltda.) conforme figura 13 na data 25 de janeiro de 2017 mediante certificado de calibração número 585/16.01.

Quinze corpos de provas foram levados à máquina universal de tração dentre estes, cinco foram soldados com eletrodos de marca “A” e cinco foram soldados com eletrodos de marca “B” os outros cinco não precisaram passar por soldagem pois estes não foram cortados ao meio. Durante os ensaios alguns problemas ocorreram com os corpos de provas. Dois corpos de provas não se fixaram de forma correta e escorregaram das garras, e um corpo de prova foi comprimido vindo a sofrer uma deformação permanente. Por estes motivos ao todo foram ensaiados 12 corpos de provas, sendo quatro com soldas do eletrodo de marca “A”, cinco com soldas do eletrodo de marca “B” e três corpos de provas que não passaram por processo de soldagem. Após os ensaios conforme figura abaixo pode se observar que todos os corpos de provas que foram unidos por soldas tiveram sua ruptura exatamente no cordão de solda e os corpos de prova sem soldas romperam dentro do limite L_0 (comprimento de medida original)

Onde L_0 sempre será menor que L_c (comprimento livre)

Figura 14 Corpos de prova após ensaio de tração



Fonte: Própria

6.6 Valores obtidos com os ensaios de tração

O limite de resistência (LR) ou a carga máxima atingida, são os únicos valores que podem ser medidos nos ensaios de tração em corpos soldados, pois em materiais heterogêneos a especificação da parte que sofre o escoamento não é muito clara [5].

Os valores demonstrados em tabelas retiradas dos relatórios de ensaios são as forças máximas que cada corpo de prova suportou, ou seja, a partir deste ponto os corpos de provas saem da fase plástica e iniciam a estrição mais popularmente conhecida como empescoamento. Em seguida segue a figura do relatório e dos gráficos Tensão & Deformação gerados pela máquina de ensaio universal.

Figura 15 Relatório de Ensaio Eletrodo Revestido Marca "A"

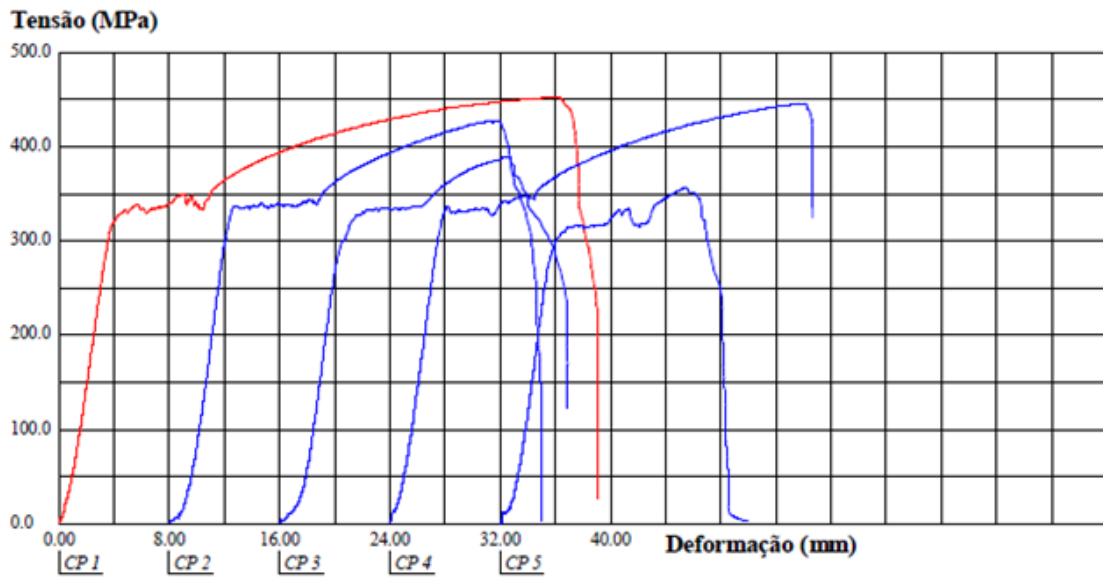
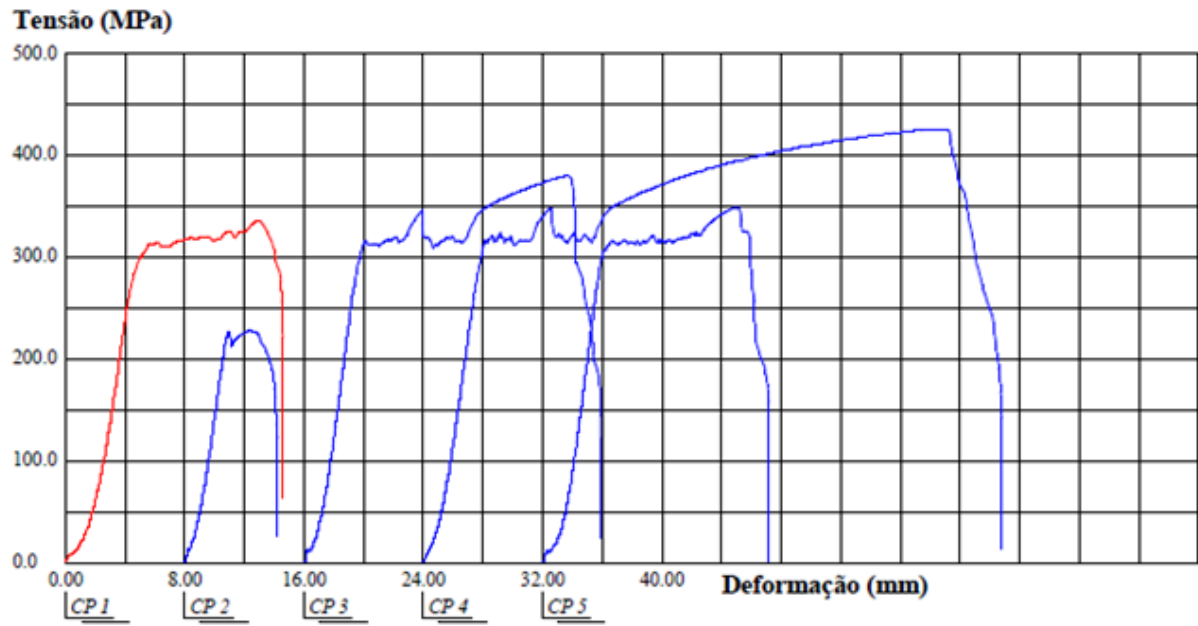


Tabela 9 Carga Máxima Corpos de Prova Eletrodo Revestido Marca "A"

CP 1	38.043,02 N
CP 2	35.934,94 N
CP 3	32.673,63 N
CP 4	37.488,27 N
CP 5	XXXXXXXX
TOTAL	153.049,42 N
MÉDIA	36.034,95 N

Fonte 24 Do Autor

Figura 16 Relatório de Ensaio Eletrodo Revestido Marca "B"



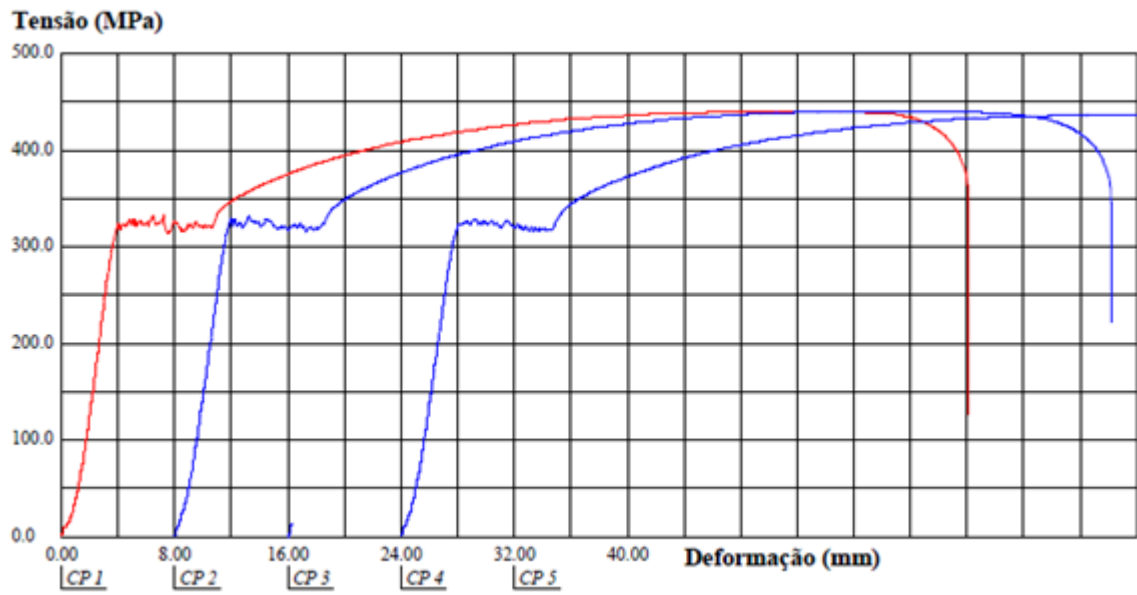
Fonte: Própria

Tabela 10 Carga Máxima Corpos de Prova Eletrodo Revestido Marca "B"

CP 1	29.893,11 N
CP 2	20.364,70 N
CP 3	33.820,13 N
CP 4	37.861,46 N
CP 5	31.110,22 N
TOTAL	153.049,864 N
MÉDIA	30.609,86 N

Fonte: Própria

Figura 17 Relatório de Ensaio Corpos de Provas Sem Solda



Fonte: Própria

Tabela 11 Carga Máxima Corpos de Prova sem solda

CP 1	39.155,90 N
CP 2	39.213,06 N
CP 3	38.849,95 N
CP 4	XXXXXXXX
CP 5	XXXXXXXX
TOTAL	117.218,91 N
MÉDIA	39.072,97 N

Fonte: Própria

7 CÁLCULOS

7.1 Eficiência das Soldas

Calcula-se a eficiência da solda dividindo a carga de ruptura do material soldado com a carga de ruptura do material de base (sem soldas) em %. [5]. Para os cálculos realizados abaixo foram utilizados as médias das forças máximas obtidas nos ensaios. Como alguns corpos de prova sem solda acabaram não rompendo, optamos por descartar os menores valores da carga de ruptura dos corpos de provas “A” e “B” a fim de manter a mesma quantidade para cada amostra.

- Eficiência solda com o eletrodo de marca “A”

$$e = \frac{37155,41}{39072,97} * 100 \quad \text{Eq (6)}$$
$$e = 95,09\%$$

Resultando em uma perda de resistência de 4,91 % Conforme indicado nos cálculos.

- Eficiência solda com o eletrodo de marca “B”

$$e = \frac{34263,93}{39072,97} * 100 \quad \text{Eq (7)}$$
$$e = 87,69\%$$

Resultando em uma perda de resistência de 12,31 % Conforme indicado nos cálculos.

7.2 Dispersão das médias das cargas máximas

A medida das dispersões tem como principal objetivo verificar a homogeneidade dos resultados. Este cálculo foi realizado utilizando a medida do desvio padrão e o quociente de variação. ” [11]

7.2.1 O desvio padrão é uma medida de dispersão em torno da média [11].

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{n-1} \right)^2} \quad \text{Eq (8)}$$

- Resultado obtido com o cálculo de desvio padrão do limite de resistência da solda com eletrodo de marca “A”

$$S=1092,75 \text{ N}$$

- Resultado obtido com o cálculo de desvio padrão do limite de resistência da solda com eletrodo de marca “B”

$$S= 3397,43 \text{ N}$$

- Resultado obtido com o cálculo de desvio padrão do limite de resistência do corpo de prova sem soldas

$$S=195,24 \text{ N}$$

7.2.2 Coeficiente de variação:

O coeficiente de variação mede a variabilidade de um grupo, ou seja, o quanto este grupo se afasta ou se aproxima da média. É importante mencionar que quanto menor for o coeficiente de variação mais homogêneo será o grupo [13].

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad \text{Eq (9)}$$

- Resultado obtido com o cálculo do coeficiente de variação do limite de resistência da solda com eletrodo de marca “A”

$$CV= 2,94 \%$$

- Resultado obtido com o cálculo do coeficiente de variação do limite de resistência da solda com eletrodo de marca “B”

$$CV= 9,92 \%$$

- Resultado obtido com o cálculo do coeficiente de variação do limite de resistência do corpo de prova sem soldas

$$CV=0,50 \%$$

ANÁLISES

Todas as análises que foram feitas para este trabalho levaram-se em conta os resultados obtidos pelos cálculos que estão sendo demonstrados de forma mais organizada na tabela 12 abaixo.

Tabela 12 Resultados dos cálculos

	Corpo de prova “A”	Corpo de Prova “B”	Corpo de Prova sem Solda
Média Limite de Resistência	37.155,41 N	34.263,93 N	39.072,97 N
Perda de Resistência	4,91%	12,31 %	
Desvio Padrão	1092,75N	3397,43 N	195,24 N
Quociente de Variação	2,94 %	9,92 %	0,50%

Fonte Própria

7.3 Eficiência

De acordo com os resultados obtidos nos cálculos de eficiências pode-se afirmar que o corpo de prova soldado com eletrodo revestido de marca “A” obteve uma perda de eficiência de 4,91% em relação ao corpo de prova sem soldas. E o corpo de prova soldado com eletrodo de marca “B” obteve uma perda de eficiência de 9,62%. De acordo com os resultados pode se dizer que o eletrodo de marca “A” se mostrou superior ao eletrodo de marca “B” no quesito eficiência.

7.4 Desvio Padrão

Ao analisar os resultados dos cálculos de desvio padrão do limite de resistência de solda do corpo de prova soldado com eletrodo revestido de marca “A” pode-se afirmar que os resultados obtidos são notoriamente mais homogêneos que os resultados obtidos com os corpos de provas soldados com eletrodos revestidos de marca “B”, por este motivo no quesito homogeneidade de resultados, o eletrodo revestido de marca “A” teve melhor resultado.

7.5 Quociente de variância.

Ao analisar os resultados obtidos através dos cálculos do quociente de variância pode-se afirmar que o eletrodo revestido de marca “A” é mais confiável do que o eletrodo revestido de marca “B”, pois os seus resultados tiveram uma variação de 2,94% enquanto que o eletrodo de marca “B” obteve uma variação bem maior que o eletrodo de marca “A” variando 9,92%

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos pelos ensaios realizados e analisados estatisticamente pelo desvio padrão, pode se observar que em comparação ao corpo de prova sem solda o eletrodo da marca “A” apresentou uma solda mais resistente.

Os resultados dos ensaios mostram a importância da escolha dos eletrodos revestidos para esse processo de soldagem, visto que existe diversas marcas de eletrodos disponíveis no mercado. Para um processo de fabricação por soldagem a eletrodo revestido, a escolha dos eletrodos influencia diretamente qualidade do produto final. As duas marcas analisadas mostram a diferença dos cordões de solda, que não são percebidas visivelmente. Comparando os gráficos das figuras 15, 16 e 17 respectivamente podemos observar que o eletrodo da marca “A” apresentou as propriedades mecânicas tensão e deformação, mais próximas se comparado ao corpo de prova sem solda. Estatisticamente também podemos observar que os valores do eletrodo da marca “A” apresentam um desvio padrão menor, uma maior eficiência e uma variação menor em relação ao eletrodo da marca “B”.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode se usar uma maior variedade de marcas de eletrodos. Assim também como a realização de outros tipos de ensaios.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. BRACARENSE, Alexandre Queiroz; MARQUES, Paulo Villani e MODONESI, Paulo José. *Soldagem Fundamentos e Tecnologia*. Belo Horizonte : UFMG, 2011.
- [2]. TANIGUCHI, Célio e OKUMURA, Toshie. *Engenharia de Soldagem e Aplicações*. Rio de Janeiro : LTC, 1982.
- [3]. AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS A5.1: Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding*. Miami : s.n., 1991.
- [4]. WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte e MELO, Fábio Décourt Homem. *Soldagem Processos e Metalurgia*. São Paulo : EDGARD BLUCHER LTDA, 1992.
- [5]. SOUZA, Sergio Augusto de. *Ensaio mecânicos materiais soldados*. São Paulo : Edgard Blucher Ltda, 1982.
- [6] CENTRO DE CONHECIMENTO ESAB. *ESAB* . [Online] 19 de Maio de 2014. disponível em www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm.
- [7]. CALLISTER Jr, Willian D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. Salt Lake City : LTC, 1999.
- [8] TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. *NBR 6152: Materiais Metálicos: Ensaio de tração a temperatura ambiente*. Rio de Janeiro : s.n., 2002.
- [9] COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS. *Petrobras N-133: Soldagem*. Rio de Janeiro : s.n., 2004.
- [10] COZACIUC, IVAN, SILVA, LUIZ RODRIGUES e TOGNI, ANTONIO MARCOS. *Ensaio de materiais*. São Paulo : Senai, 2000.
- [11] CRESPO, Antônio Crespo. *Estatística Fácil*. São Paulo : Saraiva, 2009.
- [12] BALTAZAR, Paulo. **Emic Máquinas de Ensaio**. *docente.ifb.edu.br*. [Online] [Citado em: 16 de 11 de 2017.] Disponível em docente.ifb.edu.br/paulobaltazar/lib/exe/fetch.php?media=manual_ensaio_tracao_dl10000_emic.pdf.
- [13] BUSSAB, WILTON DE O e MORETTIN, PEDRO A. *Estatística Básica*
- [14]. DA SILVA, Augusto José . **Influência da Aplicação do Processo de Soldagem MIG/MAG na Estrutura da Carroceria Monobloco Automotiva**. *senaispeditora*. [Online] 14 de Agosto de 2013. [Citado em: 06 de Setembro de 2017.]