



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMAZONAS

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO AMAZONAS

DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR

ERASMO AQUINO DE OLIVEIRA NETO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE JUNTAS SOLDADAS COM
VARIAÇÃO DE TENSÃO EM CHAPA DE AÇO CARBONO
1020 COM ELETRODO E7018**

MANAUS - AM

2017



ERASMO AQUINO DE OLIVEIRA NETO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE JUNTAS SOLDADAS COM
VARIAÇÃO DE TENSÃO EM CHAPA DE AÇO CARBONO
1020 COM ELETRODO E7018**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. MSc Marcelo Martins da Gama.

MANAUS - AM

2017

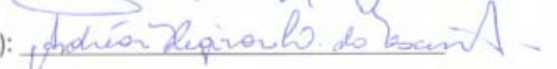


Ata de Defesa de Trabalho Final de Graduação do (a) acadêmico (a)
ERASMO AQUINO DE OLIVEIRA NETO sobre o tema:
"ANÁLISE COMPARATIVA DE JUNTAS SOLDADAS COM
VARIAÇÃO DE TENSÃO EM CHAPA DE AÇO CARBONO
1020 COM ELETRODO E7018."

Aos sete dias do mês de dezembro de
Dois mil e dezesseis, às 18:33 na sala _____ do corredor da Sete de Setembro do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM, realizou-se a Defesa Pública do Trabalho de
Conclusão de Curso - TCC do formando: **ERASMO AQUINO DE OLIVEIRA NETO**, intitulada:
"ANÁLISE COMPARATIVA DE JUNTAS SOLDADAS COM VARIAÇÃO DE TENSÃO EM CHAPA
DE AÇO CARBONO 1020 COM ELETRODO E7018." A composição da Banca Examinadora contou
com o Prof^o MSc. Marcelo Martins da Gama, orientador e presidente da mesma, Prof^o MSc. Andréa Regina
Leite do Nascimento, examinadora e Prof^o MSc. Sávio Raider Matos Sarkis, examinador. A presidência da
mesa deu início aos trabalhos, seguindo metodologia apropriada, após a apresentação, a Banca
Examinadora se reuniu para análise, deliberação e divulgação de nota atribuída ao Trabalho, solicitando
inserção e remoção de dados. A sessão foi encerrada às 19:32 horas. A Prof^o Andréa Regina Leite do
Nascimento, professora titular da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso - TCC do Curso de Engenharia
Mecânica do IFAM, lavrou a presente ata, que depois de lida e aprovada, foi assinada por mim, pelos
membros da Banca Examinadora e formando ERASMO AQUINO DE OLIVEIRA NETO a quem foi
conferido o mérito de aprovado no Trabalho de Conclusão de Curso - TCC de Engenharia Mecânica.
Manaus, sete de dezembro de dois mil e dezesseis.

Orientador (a): 

Examinador (a): 

Examinador (a): 

Formando (a): 

Secretário (a): 

DEDICATÓRIA

À Deus, em primeiro lugar. Senhor, obrigado por me acompanhar em todos esses momentos da minha vida, jamais dei um passo sem seu amparo. Todas as vezes que me senti no escuro e desanimado foi a ti que me recorri e nunca me negou a luz para iluminar meu caminho.

A minha esposa Carolina que sempre esteve ao meu lado se privando dos finais de semana ao meu lado para estudar. Quantas as vezes ouviu um “-Não amor, não vamos sair, preciso ficar em casa para estudar”. E sempre compreensiva, atendendo aos meus pedidos.

Aos meus pais, Erasmo Júnior e Sílvia pelas suas orações e apoio apesar da distância me ligam todos os dias para me confortar com palavras doces. Ao meu irmão Sílvio que sempre companheiro e torcendo pelas minhas vitórias.

Aos meus familiares que me tratam sempre como uma pessoa especial. Quando volto para casa, Tios, tias, primos, primas e meu afilhado Miguel, obrigado pelas orações.

Aos meus amigos de infância, aos amigos feitos em Manaus, aos amigos do trabalho e da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado uma família maravilhosas, que sempre esteve ao meu lado me orientando com conselhos sábios, que não tenho dúvidas que é a voz de Deus através deles. Não canso de contar a história de como eu entrei na faculdade por sua vontade. Em uma conversar com o senhor pedi orientação do porque está dando errado em certo setor do trabalho. Tive a resposta com a aprovação. Fui muito iluminado durante o vestibular para realizar aquela prova. Jamais esquecerei esse presente que me deste. Como sempre digo, “ foi meu prêmio na loteria”.

A minha amada esposa pela paciência e companheirismo que só o amor explica. Aos meus pais pelas orientações e orações que me amparam e me protegem, se sou o que sou, devo isso tudo a vocês. Ao meu irmão pelo brilho nos olhos ao me olhar que me dá muita força para ser sempre mais e servir de inspirações para suas conquistas. Aos meus familiares, Tia Mirinha, Valênia, Tainá, Tia Sônia, Tio Ari, Fábio, Miguel a minha família que Deus colocou em meu caminho Tia Zanza, Carlos, Geisiane e Renan. Agradeço a todos os tios emprestados. Mesmo distante, só tenho a agradecer o apoio que me deram, suas orações me deram forças para conseguir essa grande vitória, superando os momentos difíceis que passei. Minha família, vocês são meu equilíbrio, parte fundamental da minha existência, muito obrigado por vocês sempre estarem ao meu lado.

Aos meus queridos amigos que me apoiaram e me querem bem. Sempre torcendo por mim e me amparando com palavras gentis. Aos amigos feitos durante o curso Ana Paula, Antenor, Aparecido, Felipe, Gerlan, Karla, Lucas, Millano, Rogério e outros mais.

Ao meu Orientador Prof. MSc Marcelo Martins da Gama e coorientador Prof. Rui Fernandes Serique, agradeço todas as cobranças, exigências, dinamismo, confiança e ensinamentos técnicos, vocês foram fundamentais para a elaboração desse projeto. Obrigado por acreditarem em meu potencial.

A todos os professores do curso de Engenharia mecânica, que fizeram parte diretamente desta minha trajetória acadêmica, pelos ensinamentos que muito contribuíram para minha formação. Em especial aos professores Sidney, Andréia Pinto, Andréia Regina, Francisco, João Baptista, André Huk, Sávio Sarkis que muito me apoiaram durante a formação acadêmica.

Para todas as realizações há um momento certo; existe sempre um tempo apropriado para todo o propósito debaixo do céu. Há o tempo de nascer e a época de morrer, tempo de plantar e o tempo de arrancar o que se plantou.

Eclesiastes 3:1:2

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa de junta de topo em soldagem com eletrodo revestido E7018 em chapa de aço carbono 1020, através de ensaio de tração, e tem como objetivo realizar comparação e análise de resistência do metal soldado para chapas soldadas com o mesmo processo, mas com amperagens diferentes. Para realizar a comparação dos resultados, o presente trabalho propõe a análise comparativa de corpos de provas iguais de chapas com espessura de 1/4", com posterior ensaio de tração e análise dos resultados através de diagramas de tensão deformação. Com o objetivo de aprimorar o conhecimento e embasar o trabalho, é feita uma revisão bibliográfica com os principais tópicos relativos ao estudo, como por exemplo, as simbologias empregadas na soldagem, os equipamentos de soldagem utilizados na indústria, o conceito de eletrodo revestido, assim como suas especificações de uso, as normas de segurança que devem ser utilizadas no estudo, o modelo de corpo de prova e o tipo de ensaio empregado. O aço utilizado no estudo possui baixo teor de carbono, em média 0,2 %, e é composto basicamente de manganês, fósforo e enxofre. Para confecção dos corpos de prova, foi utilizado o processo de corte a plasma devido a sua facilidade e simplicidade de uso. O processo de soldagem escolhido foi o de eletrodo revestido, com corrente contínua, cuja máquina é da fabricante ESAB MOD. OrigoTM ARC 406. Os resultados obtidos mostraram diferenças nas resistências mecânicas, na quantidade de passes e no ponto de ruptura da solda para cada tipo de corrente.

Palavras-Chave: soldagem, eletrodo revestido, ensaio de tração, resistência mecânica.

ABSTRACT

This work presents a comparative analysis of top joint in welding with E7018 coated electrode in 1020 carbon steel sheet, by tensile test, and aims at the realization and analysis of resistance of welded metal to sheets welded with the same process, but with different amps. In order to carry out a study of the results, the present work proposes a comparative analysis of bodies of equal thickness of 1/4 ", with posterior tensile testing and analysis of the results by stress strain diagrams. In order to improve the knowledge about the work, is made the bibliographic review study with the main topics related to the study, for example, symbologies used in the welding, welding equipment used in industry, coated electrode concept, as well as its specifications of use, safety standards that are used, the sample body model and the type of test used. The steel used in the study has a low carbon content, on average 0.2%, and is composed of manganese, phosphorus. For the preparation of the test specimens, the plasma cutting process was used due to its ease and simplicity of use. The welding process chosen was the electrode coating with direct current from ESAB MOD Origo™ ARC 406 machine. The results show the differences in the mechanical strengths, the number of passages and the point of rupture of the weld for each type of current.

Keywords: welding, coated electrode, tensile test, mechanical strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo..	19
Figura 2: Ilustração da soldagem com eletrodo revestido.	22
Figura 3: Circuito de soldagem para processo com eletrodo revestido.....	23
Figura 4: Eletrodo Revestido.....	24
Figura 5: Efeito da concentricidade do revestimento.	25
Figura 6: Classificação de eletrodos revestidos para aço carbono.....	26
Figura 7: Equipamentos de proteção individual básicos..	29
Figura 8: Corpo de prova.....	31
Figura 9: Formatos de corpos de prova para ensaio de tração.	32
Figura 10: Tipos básicos de fraturas sob ação de esforço de tração.....	33
Figura 11: Diagrama esquemático de uma máquina para ensaio de tração.....	34
Figura 12: Gráfico padrão tensão x deformação.	36
Figura 13: Esquema de denominação do aço.	39
Figura 14: Interface da máquina de corte e plasma Oxipira.....	40
Figura 15: Processo de corte.	41
Figura 16: Corpos de prova numerados.....	41
Figura 17: Juntas de topo.....	42
Figura 18: Fonte de soldagem.	43
Figura 19: Soldagem com polaridade inversa	44
Figura 20: Gabarito com separação ideal.	45

Figura 21: Execução de uma solda em vários passes.	45
Figura 22: Execução da soldagem.	46
Figura 23: Corpos soldados com 75 A.	46
Figura 24: Corpos soldados com 125 A.	47
Figura 25: Corpos soldados com 175 A.	47
Figura 26: Corpos após o trabalho no esmeril.	48
Figura 27: Corpo de prova posicionado na máquina WDW 100.	49
Figura 28: Interface do software da máquina de tração.	51
Figura 29: Corpos de prova após o ensaio de tração.	52
Figura 30: Corpo de prova 01.	52
Figura 31: Corpo de prova 02.	53
Figura 32: Corpo de prova 03.	53
Figura 33: Corpo de prova 04.	54
Figura 34: Corpo de prova 05.	55
Figura 35: Corpo de prova 06.	55
Figura 36: Corpo de prova 07.	56
Figura 37: Corpo de prova 08.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos eletrodos para aços carbono.....	27
Tabela 2: Propriedade do aço 1020 a 20°C.....	35
Tabela 3: Algarismo de identificação no padrão da norma SAE.	37
Tabela 4: classificação dos aços-carbono e ligados segundo a SAE.....	38
Tabela 5: Composição química do Aço SAE 1020.	40
Tabela 6: Propriedades mecânicas do Aço SAE 1020.	40
Tabela 7: Composição química do eletrodo revestido AWS E7018.	42
Tabela 8: Características técnicas do retificador Origo Arc 406.....	44
Tabela 9: Parâmetros técnicos da máquina WDW 100.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AFNOR - Association Française de Normalisation

ASME – American Society Mechanical Engineers

ASTM – American Society for Testing and Materials

AWS – American Welding Society

Ca - Cálcio

CAD – Computer Aided Design

CAM – Coputer Aided Manufacturing

CNC – Comando Numérico Computadorizado

COPANT - Comissão Pan-americana de Normas Técnicas

DIN - Deutsches Institut für Normung

F - Flúor

JIS – Japanese Industrial Standards

ISO – Organization for Standardization

SAE – Society of Automotive Engineers

UV – Ultra Violeta

LISTA DE SÍMBOLOS

σ – Tensão (Pa)

σ_e – Limite de escoamento (Pa)

σ_u – Limite de resistência à tração (Pa)

U_r – Módulo de resiliência

U_t – Módulo de tenacidade

E – Módulo de elasticidade (Pa)

P – Carga (N)

L - Comprimento

ΔL – Alongamento

L_0 – Comprimento inicial

k – Coeficiente de resistência

n – coeficiente de encruamento

ξ – Deformação

φ - Estricção

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
OBJETIVO GERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.1 Breve histórico da soldagem: O processo de unir materiais.....	18
1.2 Desenvolvimento através do tempo.....	19
1.3 Simbologia de soldagem	21
1.4 Processos de Soldagem com eletrodo revestido	21
<i>1.4.1 Equipamento</i>	<i>22</i>
<i>1.4.2 Eletrodo Revestido.....</i>	<i>23</i>
<i>1.4.3 Funções dos revestimentos dos eletrodos.....</i>	<i>24</i>
<i>1.4.4 A especificação</i>	<i>26</i>
<i>1.4.5 Armazenamento e manuseio do eletrodo.....</i>	<i>27</i>
1.5 Higiene e segurança ligadas à soldagem.....	28
<i>1.5.1 Equipamentos de proteção individual básicos</i>	<i>28</i>
1.6 Significado do ensaio mecânico	30
<i>1.6.1 Sobre normas técnicas.....</i>	<i>30</i>
1.7 Ensaio de tração.....	30
<i>1.7.1 Corpo de prova.....</i>	<i>32</i>

1.7.2 Tipos de fraturas.....	33
1.7.3 Máquina de ensaio	34
1.7.4 Lei de Hooke	35
1.7.5 Módulo de elasticidade (E)	35
1.7.6 Diagrama tensão- deformação.....	35
1.8 Aço-Carbono	37
1.8.1 Classificação dos aços conforme a norma SAE.....	37
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
2.1 Obtenção da chapa	39
2.2 Confecção da junta de topo	41
2.3 Consumíveis utilizados.....	42
2.4 Soldagem dos corpos de prova	43
2.5 O ensaio de tração	48
2.5.1 Automação na operação.....	48
3. RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS.....	51
3.1 Problemas encontrados	51
CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

INTRODUÇÃO

O processo de unir peças através do aquecimento, fusão, solidificação e resfriamento das partes em contato de materiais denomina-se soldagem. Existem várias formas de executar esse procedimento que se diferem e se classificam pelo tipo de fonte de energia ou pela natureza que são unidos (Wainer, 2013). Isso se deve, principalmente, ao fato de se tornar uma união segura quando observados os procedimentos, na maioria das vezes, é mais viável economicamente por requererem relativamente pequenas quantidades de material e o desperdício é muito baixo, e evitando desperdício e um processo que leva pouco tempo em relação a outros processos de junção.

Devido à sua versatilidade e sua simplicidade a soldagem é aplicada em diversas áreas como na construção civil, naval automobilística, aeroespacial, na indústria, em vasos de pressão, junções para confecção de estruturas de diversas áreas, além da ampla aplicação em serviços de manutenção mecânica. Um dos motivos do estudo desse processo está ligado diretamente à segurança operacional do material que foi submetido o processo, uma vez que não observados os procedimentos básicos pode-se levar ao rompimento do material coalescido.

Para todo procedimento, independentemente do tipo a observação dos requisitos de soldagem, o operador deve atentar para requisitos de soldagem, atentar para o tipo de junta de topo, voltagem da máquina, tipo de eletrodo que será utilizado e outros fatores que variam com a classificação do tipo de soldagem.

Para realização deste trabalho foram produzidas nove amostras de aço SAE1020 com espessura de 1/4 da polegada, três delas foram soldadas com voltagem abaixo do previsto, três com a prevista e mais três com voltagem acima da estabelecida. Foi utilizado o eletrodo revestido E7018, e escolhido esse tipo de soldagem devido ser bastante utilizada na indústria.

Através do ensaio destrutivo de tração, foi possível constatar o resultado de soldas quando seguem um parâmetro estabelecido de tensão de soldagem e quando não se segue o parâmetro de tensão determinado.

OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como principal objetivo comparar e analisar a resistência através do ensaio de tração e dureza do material soldado alterando a amperagem da máquina.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar soldagem com eletrodo revestido -E7018- em chapas de aço SAE1020 de 15/416” de espessura.
- Realizar soldagem de três amostras para cada amperagem;
- Realizar e avaliar ensaio de tração;
- Analisar os resultados comparando os resultados através dos ensaios de tração.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Breve histórico da soldagem: O processo de unir materiais.

Unir materiais embora pareça fácil, fenômenos complexos estão atuando por trás de toda essa ação, não é fácil compreendê-los, mas não impossível. Deve-se colocar um ponto inicial para começar o estudo e este é o meio que permite que esse processo ocorra. Já foram descobertas diversas formas de fazê-lo, para alguns processos de união comuns existem vários tipos aplicáveis. Normalmente o processo que é escolhido é o que oferecer menos gastos financeiros (Machado, 1996).

Parando para analisar os processos de fabricações já inventados, o processo de soldagem ocupa um lugar de destaque, pois infinitas são as possibilidades que podemos utilizar para fabricação de um produto através desse processo. É praticamente impossível você não utilizar algum objeto que não passe por esse processo no seu dia a dia. Ao acordarmos, levantamos e pode ser que estávamos deitados em uma cama de ferro, ao abrirmos as portas podemos ter juntas que possivelmente foram soldadas, ao ligarmos a luz, sabemos que a lâmpada por exemplo possui partes soldadas, ao colocarmos os óculos é bem provável que a sua armação possui juntas que foram soldadas e por aí vai, poderíamos escrever páginas e páginas sobre coisas que utilizamos em nossa jornada diária.

Podemos destacar três grupos para o processo de junção de materiais, os quais são a soldagem, a brasagem e a solda branda, além dos adesivos. Cada grupo citado apresenta peculiaridades em sua aplicação.

- Soldagem: Esse processo ocupa um lugar de destaque perante aos demais e é o mais utilizado. Ele é a junção de dois materiais que podem ser de duas formas, pela junção das partes, através da fusão da parte em contato simplesmente, pode ser adicionando outro material fundido. É utilizado para juntar metais e suas ligas, é econômico e apresenta propriedades mecânicas muito fortes.

- Brasagem: É um processo de união de materiais, se difere do anterior, nesse método utiliza-se material adicional fundido, que vai unir o material base que pertencem a fase sólida, o material que é adicionado de obrigatoriamente possuir ponto de fusão acima de 450°C, porém essa temperatura deve ser menor da de solidificação do material base. É um sistema que pode ser utilizado em todos os materiais existentes, causando pouca distorção. Suas restrições ficam para peças grandes, devido ter uma tolerância muito pequena que é aparente com

relação à limpeza dos materiais que se deseja realizar a união e é restrito a versatilidade operacional.

- Solda branda: É um procedimento realizado pela adição de um material, sendo que o material base também permanece na fase sólida. Só que nesse o material de adição deve ficar abaixo de 450°C e não exceder aquela do material base. É bastante empregado na união de circuitos eletro/eletrônicos (Machado, 1996)

1.2 Desenvolvimento através do tempo

Segundo ALMENDRA (2013), a soldagem teve início em 3000 a.C. na cidade de Ur, Caldeia, através da união de peças de ouro que eram comumente utilizados naquela época, o processo utilizado era o de como é conhecido hoje como brasagem.

Com a chegada do ano 2000 a.C., os seres humanos começaram a utilizar o ferro para fins metalúrgicos, criando assim utensílios com a utilização de processo de forjamento.

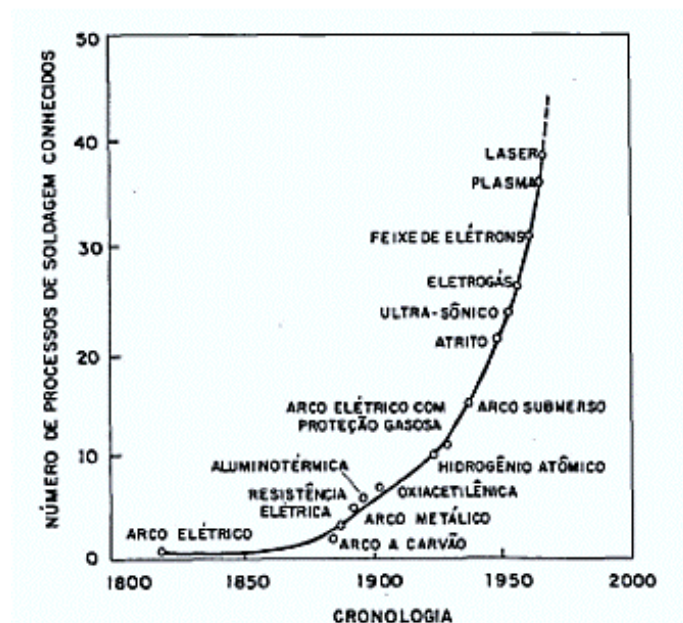


Figura 1: Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo. Fonte: WAINER,2013.

Assim o tempo foi passando até em 1903, é descoberta a aluminotermia (redução dos óxidos metálicos a partir do alumínio para aquisição do metal), com o mesmo pensamento

O.Kjellberg obtém a primeira patente do eletrodo revestido. Em seguida com a Segunda Guerra mundial pode-se dizer que a soldagem deu um grande salto tecnológico com a fabricação de navios, aviões, tanque, apesar do arco elétrico ter sido desenvolvido no século XIX. A figura 1 resume o processo de soldagem através do tempo.

Em 1919, teve início a utilização do processo de soldagem com corrente alternada idealizada por C. J. Halsag. Dez anos depois, H. M. Hobart e P.K. Denver introduziram o gás inerte como proteção do arco elétrico.

No ano seguinte, era raro utilizar outro processo de soldagem sem ser a soldagem a arco elétrico. Ganhou mercado rapidamente devido a rapidez que era confeccionado, a qualidade que oferecia e o custo era baixo.

Uma grande inovação foi descoberta em 1932 com o uso do fluxo granular, que se funde em contato com a elevada temperatura que é gerada no arco elétrico, com isso forma-se uma escória protetora da poça de fusão.

Em 1935, passou-se a utilizar a corrente alternada, que passaram a desenvolver o processo TIG, o eletrodo para esse processo é de tungstênio que não é consumido durante a soldagem. Para proteger usa-se o gás inerte sobre a poça de fusão. Neste mesmo ano surgiu a soldagem por arco submerso. Anos depois H. F. Kennedy desenvolveu o processo de soldagem MIG.

Foi observado durante a Primeira Guerra Mundial que partes metálicas de projéteis e estilhaços, quando colidiam em outras superfícies metálicas, algumas vezes ficavam soldadas. Isso foi visto pelos cientistas da época, surgiu uma ideia de dois discos metálicos ligados a um detonador, após a explosão, foram soldados sem precisar mudar sua fase. Assim foi possível em 1957 soldar uma chapa de alumínio a um perfil de aço e também foi o ano do desenvolvimento da soldagem com arame tubular e proteção gasosa. No ano seguinte, a União Soviética desenvolveu a soldagem eletroestática, utilizada com bastante frequência em grandes espessuras e na posição vertical ascendente.

Nessa mesma década, França e Alemanha juntaram esforços e desenvolveram o processo de soldagem por feixe de elétrons, também surgiu o processo MAG, que utiliza gás ativo para proteção.

Com a chegada dos anos 60, os Estados Unidos, desenvolveram a soldagem a laser; dez anos depois robôs já estavam fazendo trabalho de soldagem, tornando os processos de soldagem cada vez mais automatizados.

Atualmente a soldagem de revestimento é utilizada com o intuito de obter resistência ao desgaste ou à corrosão. Técnicas de deposição são utilizadas para promover alívio de tensões. Até hoje o processo de soldagem continua evoluindo (ALMENDRA, 2013).

1.3 Simbologia de soldagem

Representações gráficas com o intuito de padronizar e tornar um padrão de leitura para desenvolvimento de trabalhos de profissionais ao esquematizar um trabalho com solda. As normas que regularizam tais representações são: AWS (American Welding Society), ISO (International Standard Organization), JIS (Japanese Industrial Standards). A utilizada no Brasil é a AWS A2.4.

1.4 Processos de Soldagem com eletrodo revestido

Conforme descrito em WAINER (2013), a soldagem com eletrodos revestidos é definida como o processo de soldagem com arco, onde a união é produzida pelo calor do arco criado entre um eletrodo revestido e a peça a soldar.

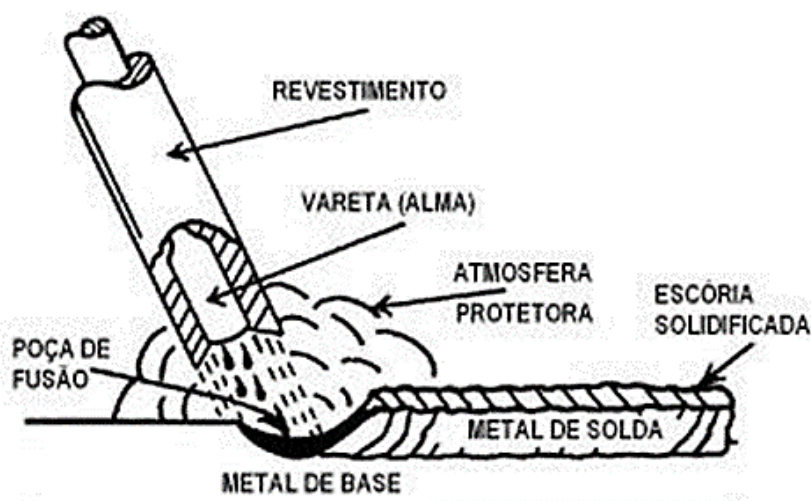


Figura 2: Ilustração da soldagem com eletrodo revestido. Fonte: FORTES, 2005

O eletrodo é formado por em seu centro pela "alma", o revestimento é formado por uma camada de minerais e/ou outros materiais. A alma que conduz a corrente elétrica e serve como metal de adição. O revestimento gera escória e gases que protegem da atmosfera a região sendo soldada e estabilizam o arco. O revestimento pode ainda conter elementos que são incorporados à solda, influenciando sua composição química e características metalúrgicas. O eletrodo que se funde é transformado em gotas, devido a ação do arco elétrico, que são transferidas sob esta forma para a poça de fusão. Essas gotas, devido a ação do arco elétrico, que são transferidas sob esta forma para a poça de fusão. Essas gotas são finas e numerosas, no caso de se soldar com corrente de alta intensidade, e apresentarão o formato de glóbulos maiores, no caso de baixa intensidade de corrente (OKUMURA; TANIGUCHI, 1982).

1.4.1 Equipamento

Basicamente o equipamento para soldagem com eletrodo revestido, comparando com outros processos, possui a configuração mais simples. É constituído de:

- Fonte de energia;
- Alicates para fixação dos eletrodos;
- Cabos de interligação;
- Pinça para ligação à peça;
- Equipamento de proteção individual; e

- Equipamento de limpeza de solda.

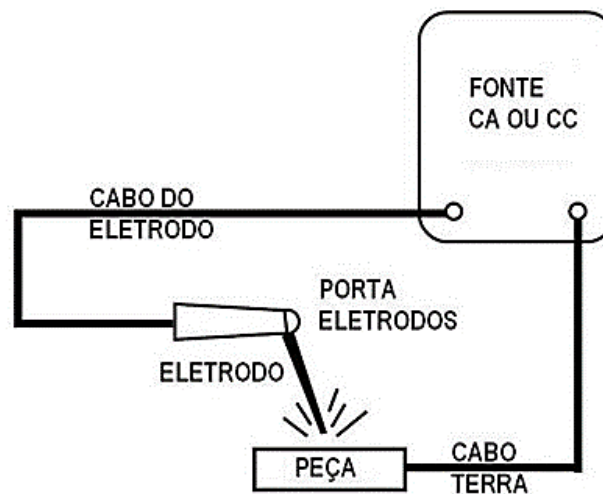


Figura 3: Circuito de soldagem para processo com eletrodo revestido. Fonte: Fortes, 2005.

1.4.2 Eletrodo Revestido

É necessário dar grande importância na escolha do eletrodo a ser utilizado em um processo, a qualidade da solda está diretamente ligada a escolha do eletrodo mais indicado para cada tipo de material a ser coalescido. Outro fator é a que influenciam diretamente em uma boa soldagem é o tipo e intensidade da corrente gerado pela máquina.

A construção básica de um eletrodo revestido é ilustrada na figura a seguir. É constituída de um núcleo metálico (alma), revestido de campos orgânicos e minerais, ferro-liga com proporções estabelecidas. Os revestimentos do eletrodo podem ser confeccionados por extrusão ou apenas banhado com uma camada fina, média ou espessa. O material do núcleo pode ser ferroso ou não ferroso a serem definidos de acordo com o material que se deseja soldar. Os componentes dos revestimentos veem sob forma de pó, e são aglomerados normalmente com silicato de potássio ou de sódio que tem a função de “colar” o material do revestimento.

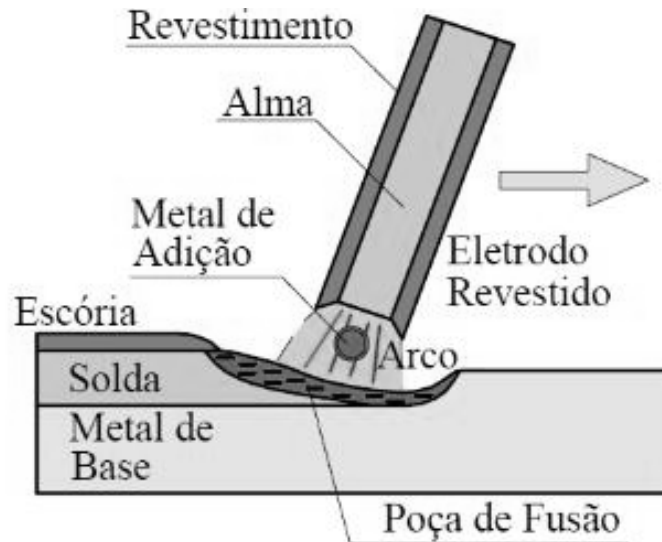


Figura 4: Eletrodo Revestido. Fonte: MODENESI, 2012.

1.4.3 Funções dos revestimentos dos eletrodos

Segundo Fortes (2005), as funções dos revestimentos são:

- **Proteção do metal de solda** – Essa proteção do metal de solda principalmente contra o oxigênio e do nitrogênio do ar nas proximidades do cordão de solda. Essa proteção é necessária para garantir que o metal de solda seja íntegro, livre de bolhas de gás, e tenha a resistência e a ductilidade adequadas.
- **Estabilização do arco** – Quando se abre um arco facilmente, queima suavemente mesmo a baixas correntes e pode ser mantido empregando-se indiferentemente um arco longo ou curto.
- **Adição de elementos de liga ao metal de solda** – Elementos como cromo, níquel, molibdênio, vanádio e cobre podem ser adicionados ao metal de solda incluindo-os na composição do revestimento.
- **Direcionamento do arco elétrico** – É obtido com a cratera que se forma na ponta do eletrodo. O uso de aglomerantes adequados assegura um revestimento consistente que manterá a cratera e dará uma penetração adicional e melhor direcionamento do arco elétrico.

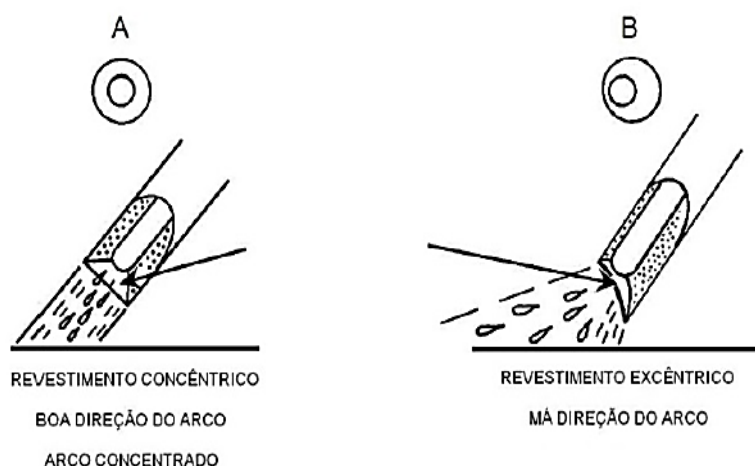


Figura 5: Efeito da concentricidade do revestimento. Fonte: Fortes, 2005.

- **Função da escória como agente fluxante** – A função da escória é (1) fornecer proteção adicional contra os contaminantes atmosféricos, (2) agir como purificadora e absorver impurezas que são levadas à superfície e ficam aprisionadas pelas escórias, e (3) reduzir a velocidade de resfriamento do metal fundido para permitir o escape de gases. A escória também controla o contorno, a uniformidade e a aparência geral do cordão de solda. Isso é particularmente importante nas juntas em ângulo.

- **Características da posição de soldagem** – Um exemplo bem claro é a adição de composto de titânio, que torna possível a soldagem fora de posição (posição vertical e sobre cabeça).

- **Controle da integridade do metal de solda** – Com a composição do revestimento é possível controlar a porosidade ou os gases aprisionados no metal de solda. O ferro manganês é o ingrediente mais comum utilizado para se conseguir a fórmula corretamente balanceada.

- **Propriedades específicas do metal de solda** – Através do revestimento é possível incorporar ao metal de solda propriedades mecânicas específicas. Exemplos como aumento de valores de impacto e resistência mecânicas podem ser obtidos pela adição de elementos de liga ao revestimento.

- **Isolamento da alma de aço** – Usando o revestimento como isolante a alma não causará curto circuito durante a soldagem de chanfros profundos ou de aberturas estreitas. Serve também como proteção ao soldador caso ele venha tocar inadvertidamente.

1.4.4 A especificação

Seguindo especificação da American Welding Society (AWS) os eletrodos para aço carbono são classificados pelos fabricantes de consumíveis, levando em consideração as necessidades nas propriedades mecânicas (físicas) do metal de solda, no tipo de revestimento, posição de soldagem, se será utilizado corrente alternada ou contínua. Com esses dados é possível que o soldador escolha o melhor eletrodo para seu trabalho. O significado das designações da AWS é mostrado na figura e na tabela.

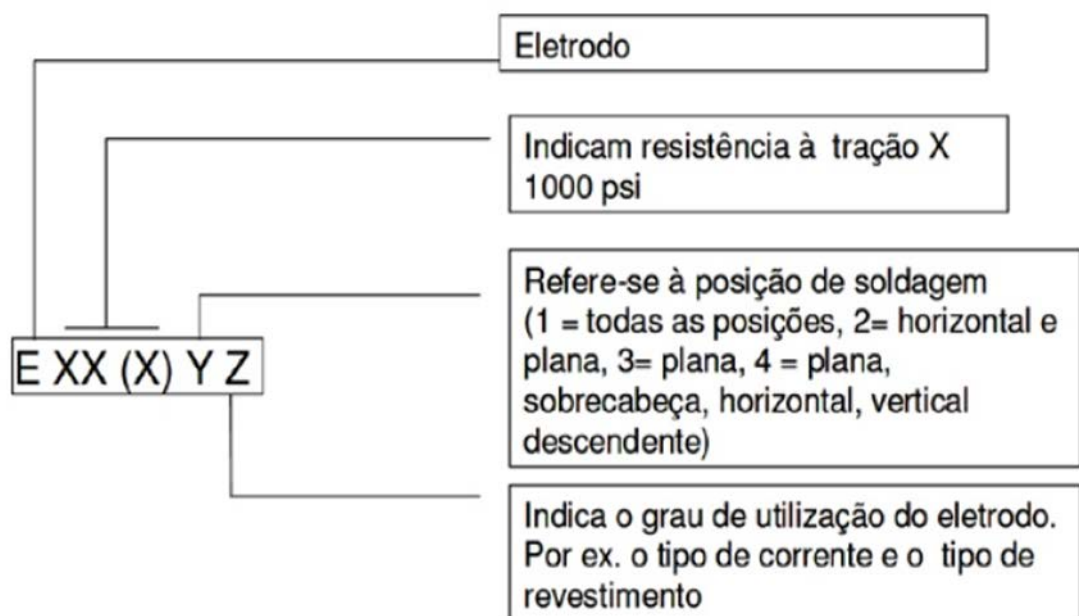


Figura 6: Classificação de eletrodos revestidos para aço carbono. Fonte: AWS

Podem existir quatro tipos de revestimentos: O básico, rutílico, calulósico e ácido. A diferença entre eles está nas solicitações sendo soldado, podendo controlar parâmetros como a estabilização do arco, respingo e tipo de escória.

Tabela 1: Classificação dos eletrodos para aços carbono..

Classe	Corrente	Arco	Penetração	Revestimento-escória	Pó de ferro
EXX10	CC+	agressivo	profunda	celulósico-sódio	0-10%
EXX11	CA/CC+	agressivo	profunda	celulósico-potássio	0
EXX12	CA/CC-	médio	média	rutilico - sódio	0-10%
EXX13	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - potássio	0-10%
EXX14	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - pó de ferro	25-40%
EXX15	CC+	médio	média	baixo hidrogênio - sódio	0
EXX16	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - potássio	0
EXX18	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	25-40%
EXX20	CA/CC-	médio	média	óxido de ferro - sódio	0
EXX22	CA/CC-/CC+	médio	média	óxido de ferro - sódio	0
EXX24	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - pó de ferro	50%
EXX27	CA/CC-/CC+	médio	média	óxido de ferro - pó de ferro	50%
EXX28	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	50%
EXX48	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	25-40%
O percentual de pó de ferro é baseado na massa do revestimento					

Fonte: Fortes, 2005

1.4.5 Armazenamento e manuseio do eletrodo

Muito cuidado e atenção deve-se ter ao armazenar e manusear um eletrodo. Regras básicas para prevenir ao máximo sua inutilização são a não sejam alocados em locais com umidade elevada e nem em baixa temperatura.

Além disso, devemos empilha-los em suas caixas para garantirmos a integridade do mesmo. Recomenda-se seguir as instruções do fabricante, respeitando sempre o número de caixas empilhadas. (AQUILA, 2012).

Após a abertura da embalagem do eletrodo, são necessários outros cuidados com o armazenamento destes, é recomendado que passem por um processo de secagem, elevando sua temperatura para facilitar a retirada da umidade já que eles têm grande capacidade de absorção de umidade. Consequentemente ocorrendo a danificação do eletrodo e todo o processo em si.

1.5 Higiene e segurança ligadas à soldagem

Há pouco tempo grande parte das empresas não atentavam e não davam a devida importância a assuntos relacionados a segurança do trabalho. Porém, a partir das últimas décadas as empresas despertaram para estes aspectos, foram observados que os custos com os absenteísmos, problemas de saúde, queda na produtividade, qualidade de serviço vinham caindo. Com isso houve-se a necessidade de adequar um programa de segurança e higiene na execução de trabalhos de soldagem, estabelecendo procedimentos a fim de proteger os trabalhadores e o meio ambiente, reduzindo os riscos ambientais e acidentes.

Nas operações de soldagem, o soldador deve estar atento às normas de segurança, devendo (FORTES, 2005):

- Usar equipamento de proteção individual (EPI) para evitar danos físicos ou prejuízo à saúde;
- Usar biombos para proteger as pessoas que o rodeiam;
- Evitar danos materiais, não soldando em locais onde haja materiais de fácil combustão como óleo, gasolina, thinner, querosene e materiais explosivos como pólvora, dinamite.

1.5.1 Equipamentos de proteção individual básicos

No processo de soldagem um dos fatores negativos é a geração de uma quantidade significativa de raios ultra-violetas(UV), estes podem causar queimaduras, tal qual como se estivesse diretamente exposto ao sol.

Partes do corpo como mãos, braços, rosto, pernas e pés é primordial. Outro problema não muito agradável são os respingos (pedaços pequenos de metal incandescente), para evitar o contato destes com a pele, as proteções se tornam essenciais.

Devido aos riscos apresentados, cabe ressaltar que a utilização é mandatória e não opcional. Outros problemas como ruídos excessivos, problemas como incêndios e explosões, radiações não ionizantes, choque elétrico, inspiração de fumos e gases podem gerar acidentes de trabalho.

EPI's básicos para um soldador:

- Botas com solado isolante;
- Perneiras de couro;
- Avental em couro;
- Mangotes;
- Luvas de rapa;
- Máscara tipo escudo ou capacete;
- Touca de solda e abafador de ruído

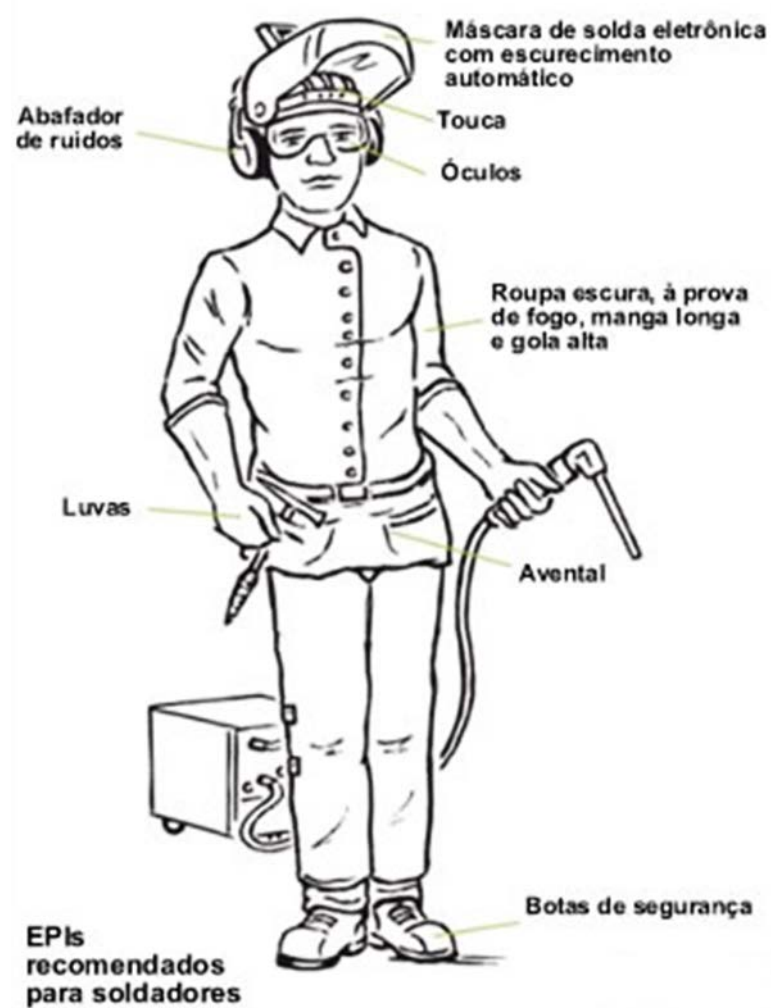


Figura 7: Equipamentos de proteção individual básicos. Disponível em: <http://migtig.com.br/soldagem_x_seguranca_mig.htm>.

1.6 Significado do ensaio mecânico

Para se determinar as propriedades mecânicas de um material metálico existem vários tipos de ensaios que podem ser realizados. Normalmente esses ensaios são destrutivos que como o nome diz promovem a ruptura ou a inutilização do material, como exemplo temos o que daremos maior ênfase que é o ensaio de tração, porém temos também o dobramento, flexão, torção, fadiga, impacto, compressão. O outro tipo existente é o ensaio não destrutivo, utilizados para determinação de propriedades físicas do metal e a ocorrência de falhas internas do mesmo. Uns exemplos de ensaios não-destrutivos para efeito de conhecimento temos os raios x, ultrassom, Magnaflux, elétricos e outros. Como esse trabalho refere-se a ensaio destrutivo não nos aprofundaremos neste tipo de ensaio.

1.6.1 Sobre normas técnicas

Segundo SOUZA (1982), as normas mais utilizadas pelos laboratórios de ensaios pertencem às seguintes associações: ABNT (Associação Brasileira de Normas técnicas), ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (Deutsches Institut für Normung), AFNOR (Association Française de Normalisation), BSI (British Standards Institution), ASME (American Society of Mechanical Engineers), ISO (International Organization for Standardization) JIS (Jaoanese Industrial Standards), SAE (Society of Automotive Engeneers), COPANT (Comissão Pan-americana de Normas Técnicas), além de diversas normas particulares de indústrias ou companhias governamentais.

1.7 Ensaio de tração

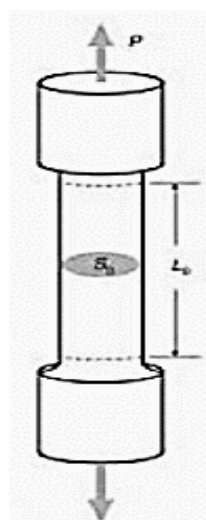
Quando pensamos na palavra tração, não é difícil imaginar que seja a ação de puxar algo ou uma força que causa um movimento, no ensaio de tração não fica muito diferente, o movimento no caso é a estrutura interna do material.

O ensaio consiste em submeter uma carga de tração uniaxial paulatinamente crescente, com isso o aumento de comprimento até que ocorra a ruptura. Essa variação de comprimento que denominaremos de (L) quando colocada em função da carga aplicada (P), nos

proporciona uma curva tensão (σ) versus deformação (ϵ) do corpo de prova. Podemos dizer que é um ensaio bastante utilizado na indústria de componentes mecânicos, sua principal função é fornecer dados quantitativos como das características mecânicas dos materiais. Podemos citar alguns deles, que são: O módulo de elasticidade (E), limite de escoamento (σ_e), limite de resistência à tração (σ_u), módulo de resiliência (U_r), módulo de tenacidade (U_t), coeficiente de resistência (k), coeficiente de encruamento (n) e parâmetros relativos à ductilidade (estricção - φ e alongamento ΔL). Por ser um ensaio destrutivo, basicamente é utilizado como teste para o controle das especificações da entrada de matéria-prima e controle de processo. Resumindo, é feito com a perda do material ensaiado. Cabe ressaltar que os resultados obtidos pelo ensaio de tração sofrem grande influência da temperatura, velocidade de deformação, anisotropia do material, tamanho do grão, porcentagem de impurezas e condições ambientais (Garcia, 2012).

O ensaio de tração é um dos ensaios mais utilizados devido a sua praticidade e resultado oferecer informações primordiais para o projeto e fabricação de peças e componentes.

Como citado anteriormente, existem muitas variantes que podem alterar o resultado do experimento, no Brasil a norma que regula este é a NBR ISO 6892:2002, da associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) utilizada para materiais metálicos à temperatura ambiente, padronização do corpo de prova também tratado nessa obra. Na figura seguinte podemos ter noção de um corpo de prova cilíndrico, porém as nomenclaturas servem para todos os tipos de corpos que iremos estudar a seguir.



P =Carga aplicada

L_0 =Comprimento inicial

S_0 =Área inicial

L =Comprimento antes do ensaio

Deformação convencional (ϵ_c)

$$\epsilon_c = \frac{(L-L_0)}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{eq. 1}$$

Figura 8: Corpo de prova. Fonte: GARCIA, 2012.

1.7.1 Corpo de prova

Os Corpos de prova podem assumir formatos diferentes, isso vai depende de onde o material foi tirado, assim a parte útil pode assumir uma forma circular ou retangular, também o formato dos corpos varia com a norma utilizada. O método MB-4 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) indica as dimensões e formas de corpos de provas.

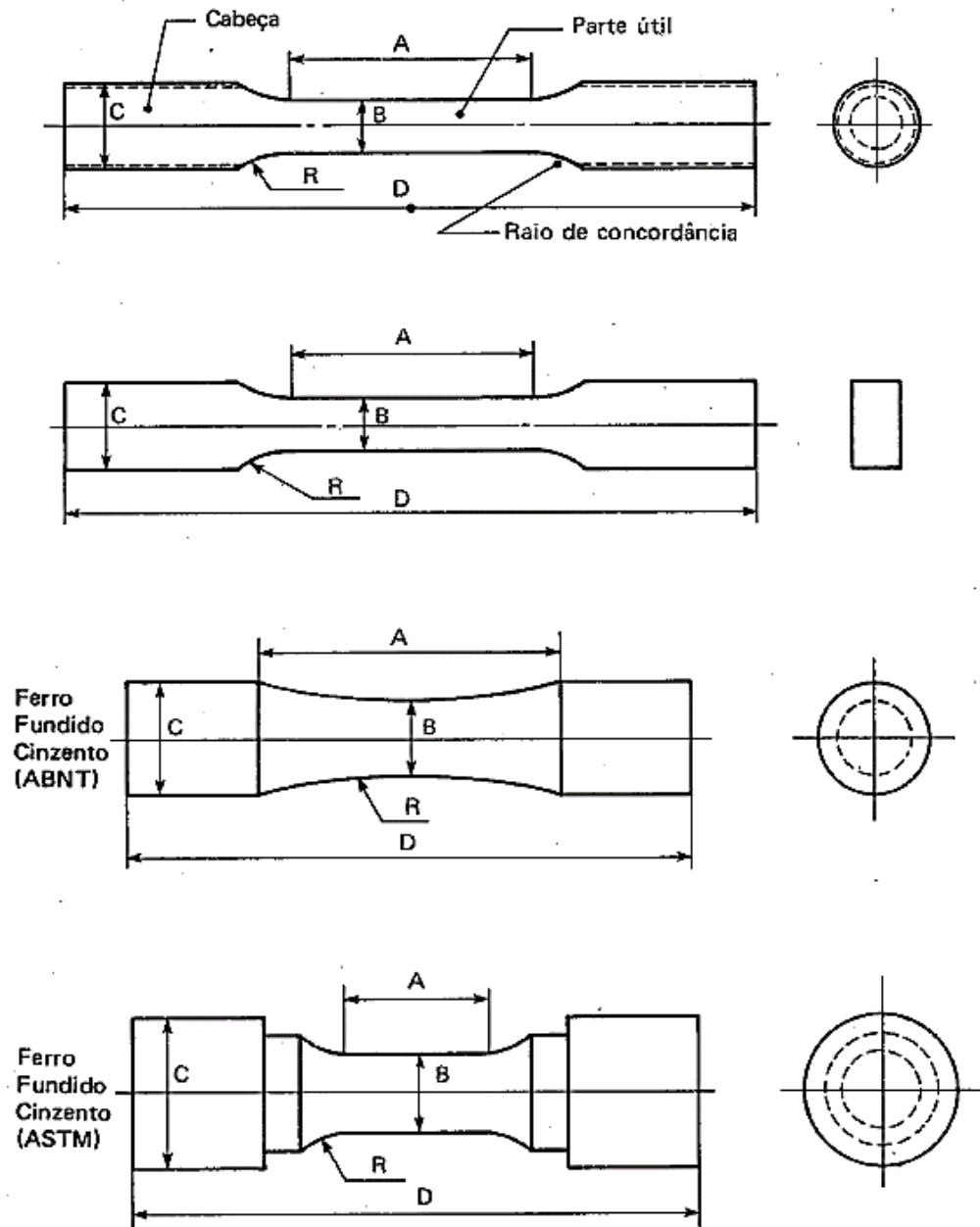


Figura 9: Formatos de corpos de prova para ensaio de tração. Fonte: Souza, 1982.

1.7.2 Tipos de fraturas

A fratura começa se propagando pelos grãos, pela nucleação. Vai passando de um grão para o outro a formação de uma fissura que vai se alastrando até o rompimento final.

Dizer se um material é dúctil ou frágil se torna relativo, quando as fronteiras não são bem definidas. Um exemplo temos:

Por exemplo, o ferro nodular apresenta fratura dúctil quando comparado ao ferro fundido cinzento comum, contudo é considerado frágil quando comparado ao aço doce, de baixo carbono.

Em determinadas condições, como por exemplo em função da temperatura, o comportamento do metal pode passar de dúctil a frágil (CHIAVERINI, 1986 p. 110).

Outros fatores como as diferenças estruturais nos metais, presença de impurezas, quantidade e efeito da deformação podem alterar a forma de rompimento da peça. Existem sete tipos de fraturas básicas que podem ocorrer, classificadas como dois tipos, frágil ou dúctil:

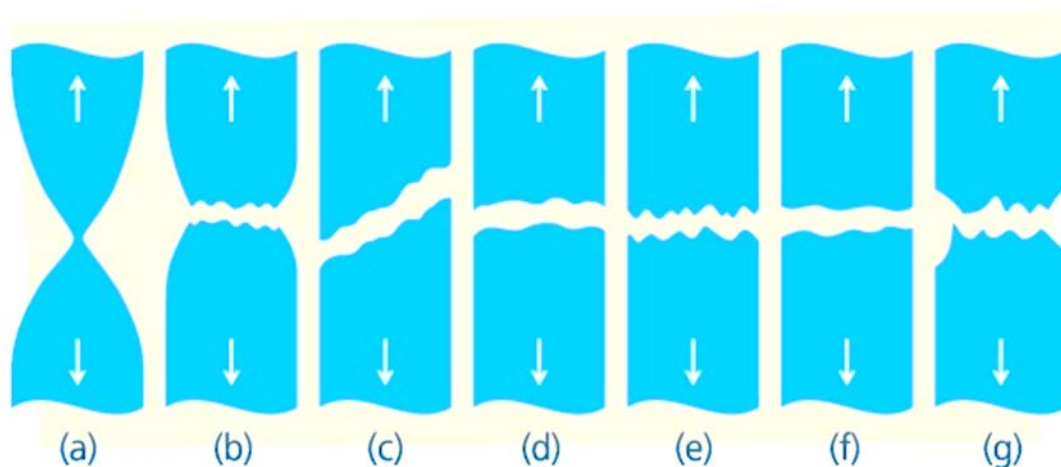


Figura 10: Tipos básicos de fraturas sob ação de esforço de tração Forte: ZOLIN, 2011.

- i) Adelgaçamento plástico – acontece normalmente em temperaturas elevadas ou em metais muito plásticos a temperatura ambiente, como por exemplo o ouro e o chumbo.
- ii) Fratura fibrosa – é uma fratura típica de materiais normalmente plásticos e com uma área muito grande de seção transversal, devido as tensões multiaxiais, geram uma fratura por clivagem muito localizada possivelmente num defeito.

- iii) Fratura frágil de cisalhamento – ocorrem em materiais com resistência ao cisalhamento baixa com alta velocidade de encruamento. Ocorre de forma inesperada, sem a indicação no gráfico. Ocorre normalmente em materiais com superfícies lisas e macias.
- iv) Fratura frágil de clivagem – ocorre também em metais com alta velocidade de encruamento e todos os processos são bastante similar ao anterior.
- v) Fratura intercristalina frágil – esse tipo de fratura ocorre em materiais com baixa resistência de contorno de grão. A superfície partida fica com aparência grosseira.
- vi) Fratura de clivagem dúctil - vai ocorrer um material muito plástico, encrua muito rápido e aumenta demasiadamente as tensões multiaxiais, processo muito similar ao “d”.
- vii) Fratura intercristalina dúctil – em materiais com plasticidade razoavelmente boa e com pouca resistência do contorno de grão são os que mais ocorrem esse tipo de fratura (CHIAVERINI, 1986).

1.7.3 Máquina de ensaio

As máquinas atuais possuem equipamentos que captam e interpretam os dados como variação de comprimento, temperatura, tensão aplicada. Elas normalmente podem realizar ensaios de compressão também, que no caso podem até ser chamadas de “tração negativa” (ZOLIN, 2011).

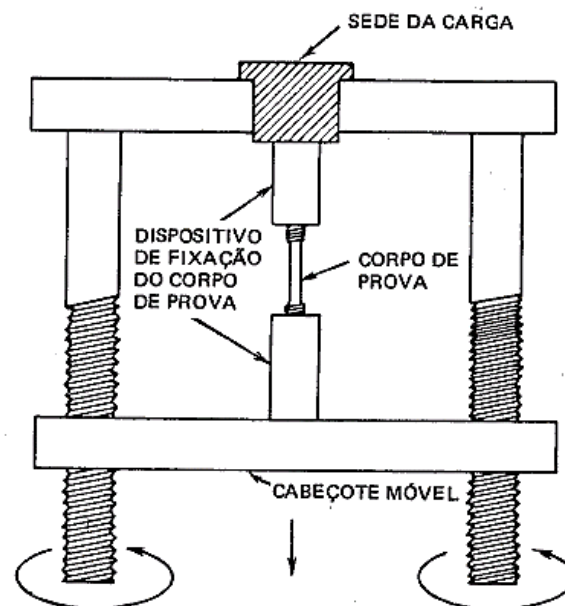


Figura 11: Diagrama esquemático de uma máquina para ensaio de tração Fonte: CHIAVERINI, 1986.

1.7.4 Lei de Hooke

Quando o esforço é aplicado, é gerado um aumento de comprimento da barra ensaiada que é proporcional a força aplicada. A Lei de Hooke trata exatamente sobre esta relação.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{eq. 3}$$

Os gráficos que veremos a seguir possuem uma parte linear e outra não. A Lei de Hooke só é válida para parte linear e no regime elástico. Já a parte plástica, não obedece a esta Lei (ZOLIN, 2011).

1.7.5 Módulo de elasticidade (E)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{eq. 4}$$

Também conhecido como módulo de Young e sua unidade é o Pascal (Pa) que tem como unidade inglesa correspondente o psi, libras/polegada quadrada. Para o aço trabalhado neste trabalho temos as seguintes propriedades do material a 20°C, retirados do apêndice C de VAN VLACK, 2003.

Tabela 2: Propriedade do aço 1020 a 20°C..

Material	Módulo de elasticidade médio, E	
	MPa	psi
Aço 1020	205.000	30x10 ⁶

Fonte: VLACK, Lawrence, 200

Com a tabela 2 podemos notar que ela faz questão de especificar a temperatura que o valor se torna verdadeiro. Com a variação de temperatura há a alteração no módulo de elasticidade. Com o aumento da temperatura, esse módulo diminui e caso contrário também será inversamente proporcional.

1.7.6 Diagrama tensão- deformação

Ao observarmos o gráfico padrão, como o da figura 12, é perceptível a divisão em duas regiões que estão relacionadas ao regime de deformação elástica e plástica.

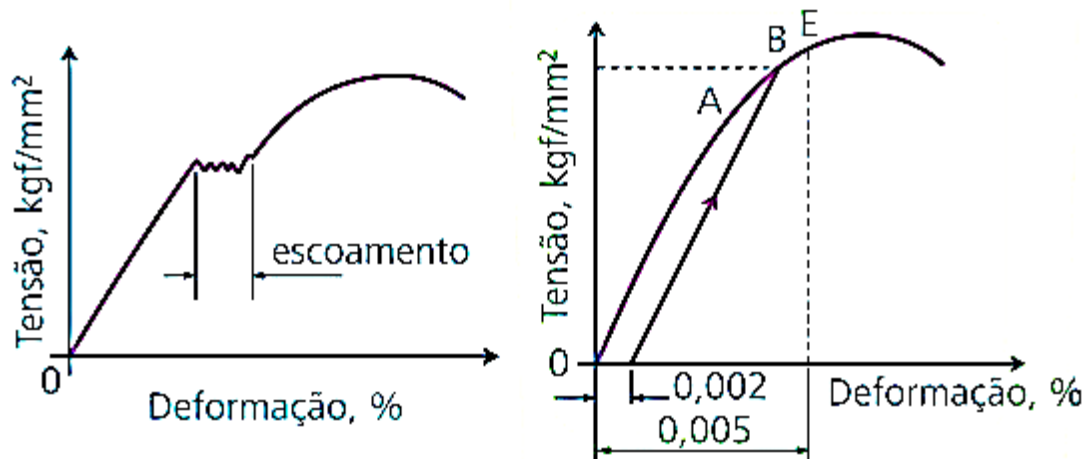


Figura 12: Gráfico padrão tensão x deformação. Fonte: ZOLIN, 2011.

No início da construção da curva, podemos observar uma reta chamada de proporcional, é a parte elástica, qualquer tensão aplicada nessa área e logo em seguida se cessa, o material volta ao seu tamanho original, para essa parte é aplicável a Lei de Hooke. Já na segunda metade já não temos a linearidade como vemos na primeira, entramos então na região de deformação plástica, seção onde a Lei de Hooke não é mais aplicada. Em consequência o material não voltará a sua dimensão inicial.

Após a fase de deformação elástica, e a carga continuar a aumentar, entra na fase plástica, ela começa de forma rápida e continua aumentando até atingir a tensão máxima que o material pode suportar. O ponto de valor máximo de carga sem apresentar deformação permanente é denominado limite de elasticidade. Já o limite de resistência à tração é o valor da tensão máxima suportada pelo material.

Através dos gráficos podemos fazer uma análise quanto a ductilidade do material ensaiado. Para materiais com ductilidade alta, que são os aços com baixo teor de carbono, no ensaio de tração fica nítida a zona de escoamento, demarcando bem o início da fase plástica. Os materiais que apresentam baixa zona de escoamento, os aços com médio teor de carbono, ou seja, são mais frágeis. Basicamente o ensaio de tração consiste na aplicação de uma carga no eixo axial da peça de uma forma crescente no corpo de prova até sua ruptura, podemos afirmar que toda carga é distribuída uniformemente em todo corpo de prova, com isso possibilitando medir satisfatoriamente a resistência do material. A velocidade com que essa força é aplicada geralmente é estabelecida pela norma aplicada.

1.8 Aço-Carbono

Entre os materiais de construção, como é do conhecimento geral, o aço tem uma posição de relevo: combina resistência mecânica, trabalhabilidade, disponibilidade e baixo custo. Assim sendo, é fácil compreender a importância e a extensão da aplicação dos aços em todo campo da engenharia, nas estruturas, quer as fixas, como de edifícios, pontes etc., quer as móveis, na indústria ferroviária, automobilística, naval, aeronáutica etc. (CHIAVERINI, 1986).

Segundo a NBR 6215, 1985, aço “É uma liga ferrosa passível de deformação plástica que, em geral, apresenta teor de carbono entre 0,008 e 2,0% na sua forma combinada e, ou, dissolvida e que pode conter elementos de liga adicionados, ou residuais”.

1.8.1 Classificação dos aços conforme a norma SAE

Devido à grande variedade das propriedades mecânicas que permitem ser obtidas na fabricação dos aços, foram criadas normas específicas para reger as suas composições químicas e aplicações posteriores. Estas normas visam garantir as propriedades físicas e mecânicas dos aços na sua aplicação e servem de referência nas especificações de projetos e negociações entre fabricantes e usuários.

A norma SAE padronizou por intermédio de 4 algarismos como visto na tabela abaixo, podendo aparecer algumas letras para especificar a composição química.

Tabela 3: Algarismo de identificação no padrão da norma SAE.

Número SAE	X	X	X	X
	1º dígito	2º dígito	3º dígito	4º dígito

Disponível em: < <http://www.welding.com.br/site/classificacao-dos-acos>>

- 1º dígito: Indica a classe do aço, segundo a Tabela seguinte.
- 2º dígito: Indica a variação nos teores dos elementos de liga.
- 3 e 4 dígitos: Juntos indicam o teor médio de carbono (% em peso) multiplicado por 100. Quando o teor de carbono é maior do que 1% utilizam-se 3 dígitos para a nomenclatura.

- Letra “B” - Aparece entre o 2 e 3 dígitos e indica a presença de boro (Boron) no aço.
Exemplo: SAE 15B35.

- Letra “L” – Aparece entre o 2 e 3 dígitos e indica a presença de chumbo (Lead) no aço.
Exemplo: SAE 12L14.

- Letra “H” - Aparece após o 4 dígito e indica os aços que têm uma variação na sua faixa de composição química normal.

Tabela 4: classificação dos aços-carbono e ligados segundo a SAE

Tipo de Aço	Denominação SAE
Aços Carbono	1XXX
Simples (Mn 1,00%, máximo)	10XX
Ressulfurado	11XX
Ressulfurado e refosforado	12XX
Com adição de Nióbio	14XX
Com Mn maior que 1,00 %	15XX
Aços – Manganês	13XX
Aços – Níquel	2XXX
Aços – Níquel – Cromo	3XXX
Aços – Molibdênio	4XXX
Aços – Cromo	5XXX
Aços – Cromo – Vanádio	6XXX
Aços – Tugnstênio – Cromo	7XXX
Aços – Níquel – Cromo – Molibdênio	8XXX
Aços – Silício – Manganês	92XX

Aços – Níquel – Cromo – Molibdênio	93XX, 94XX, 97XX, 98XX
Aços com Boro	XXBXX
Aços com Chumbo	XXLXX

Disponível em: < <http://www.welding.com.br/site/classificacao-dos-acos> >



Figura 13: Esquema de denominação do aço. Disponível em <: <http://www.welding.com.br/site/classificacao-dos-acos>.>

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção do trabalho é apresentada a metodologia experimental de todo processo. Os testes e acabamentos foram realizados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, com a utilização do laboratório de soldagem e usinagem para preparação das amostras.

2.1 Obtenção da chapa

A escolha da chapa foi baseada nas diversas aplicações do aço SAE 1020 na indústria. Tem como suas características ser um aço com baixo teor de carbono, em média 0,2% de carbono. Com essa composição química o deixa com uma tenacidade elevada, baixa dureza e fácil de ser usinado.

Tabela 5: Composição química do Aço SAE 1020.

Aço	Carbono (C)	Manganês	Fósforo (P) Máx	Enxofre (S) Máx
1020	0,18-0,25	0,30-0,60	0,04	0,05

Fonte: ROMEIRO, 1997

Tabela 6: Propriedades mecânicas do Aço SAE 1020.

Aço SAE 1020	Limite de Resistência (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)
Laminado	390	210
Trefilado	430	360

Fonte: GUIMARÃE, 2013

Os corpos de prova foram usinados com uma máquina de corte a plasma devido a sua facilidade e simplicidade de uso da máquina shape runner do fabricante oxipira, ela tem como principais características o corte de chapas de alumínio, inox e aço carbono de 0,5 mm a 300 mm com baixo custo operacional, com exclusivo sistema de corte CNC – CAD/CAM.

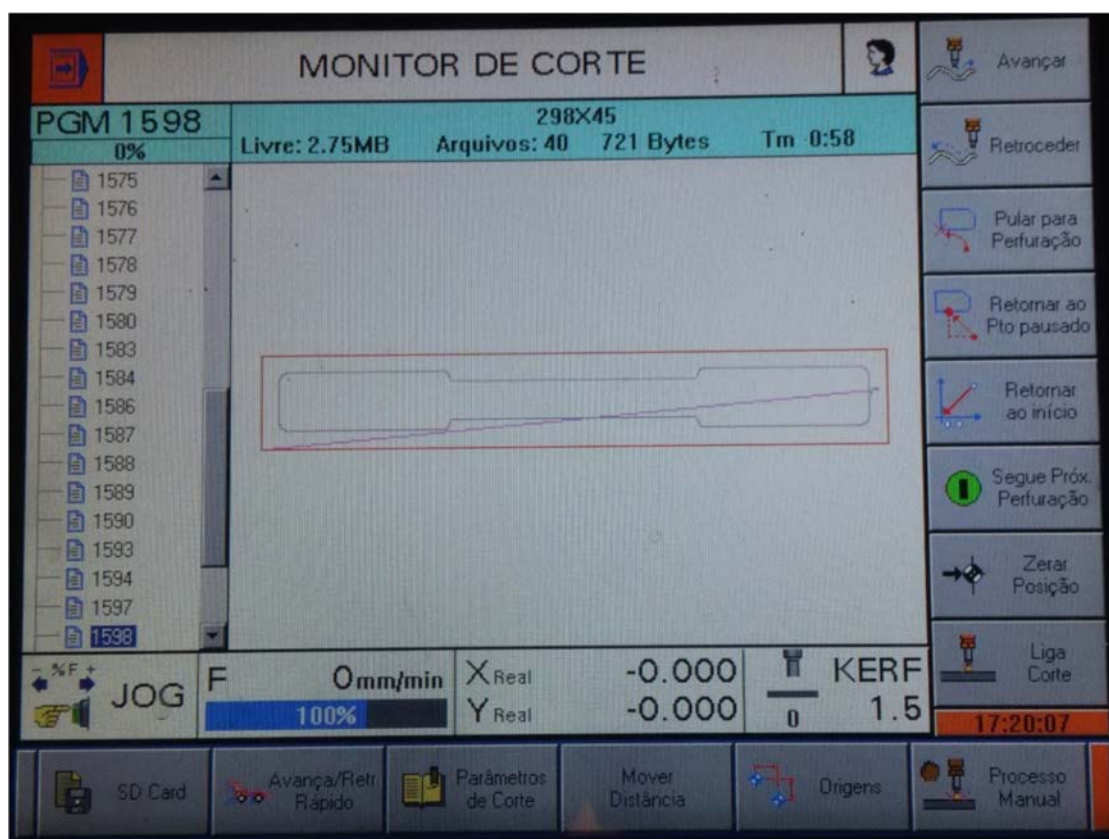


Figura 14: Interface da máquina de corte e plasma Oxipira. Fonte: Elaborada pelo autor.

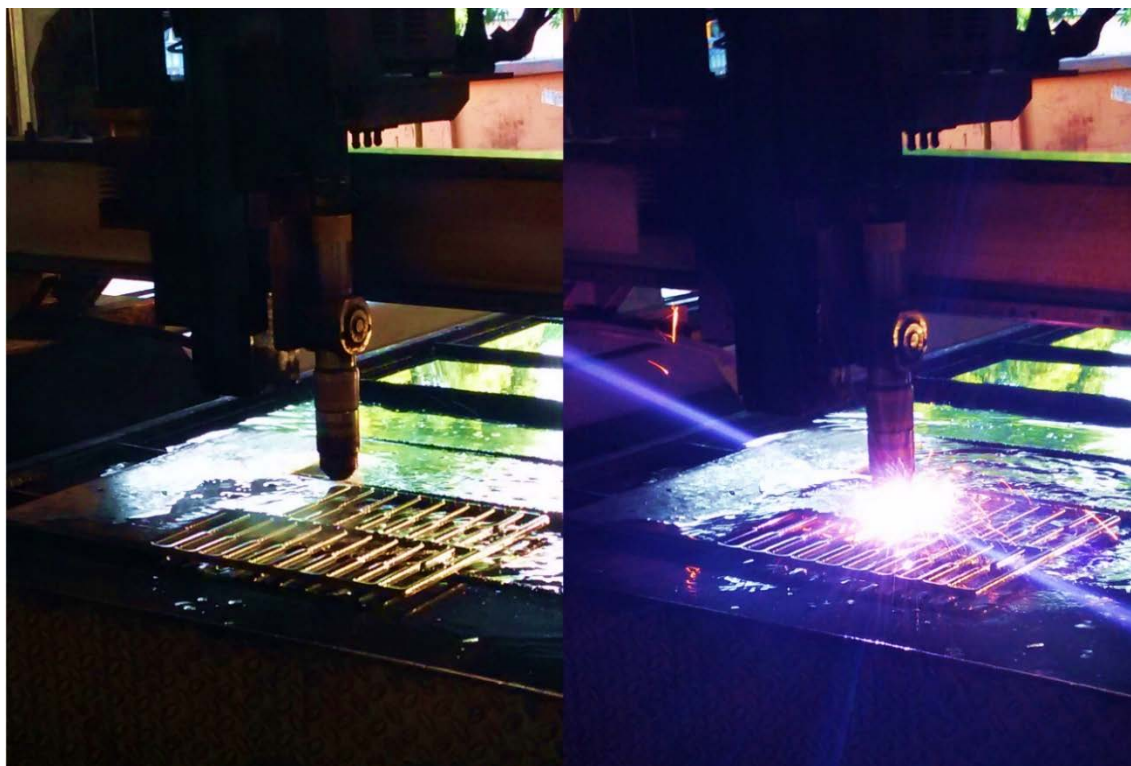


Figura 15: Processo de corte. Fonte: Elaborada pelo autor

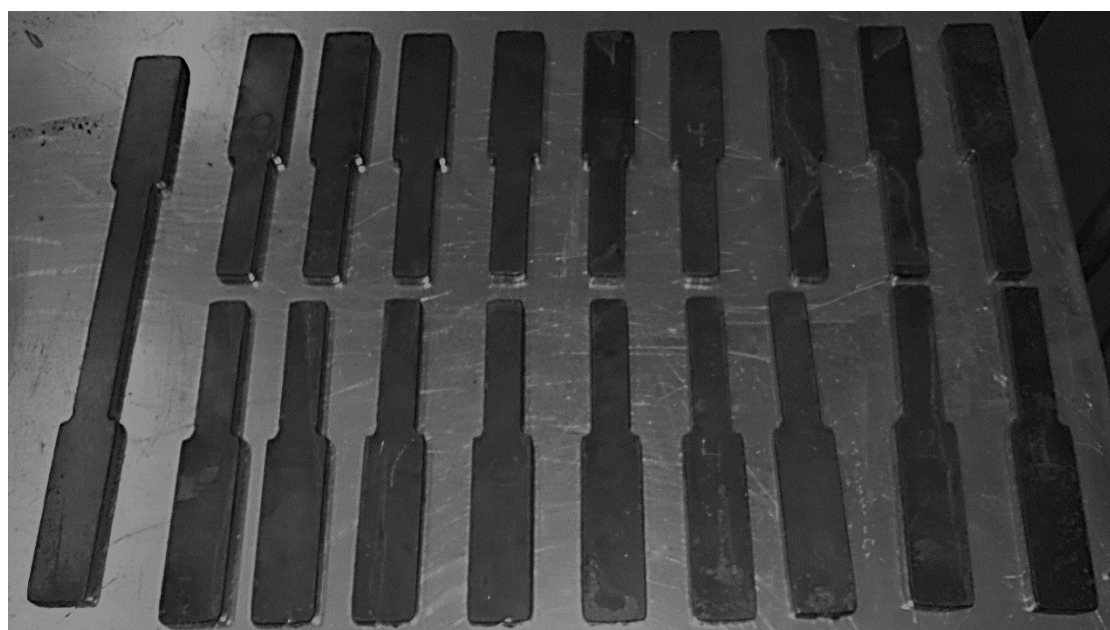


Figura 16: Corpos de prova numerados. Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2 Confecção da junta de topo

As regiões onde se deseja unir das peças através da solda é denominada junta, porém a junta de topo é a união de dois componentes que estão no mesmo plano (SOUZA, 1998).

Devido ao chanfro em “V” se o corte que facilita a soldagem em toda sua espessura, ele foi escolhido para este trabalho. No laboratório de soldagem foi realizada através de uma esmerilhadeira, para garantir a angulação de 30° para cada junta, somando 60° ao serem depositas. Foi utilizado um goniômetro de metal, instrumento utilizado para medir ângulo, para garantir a angulação adequada.

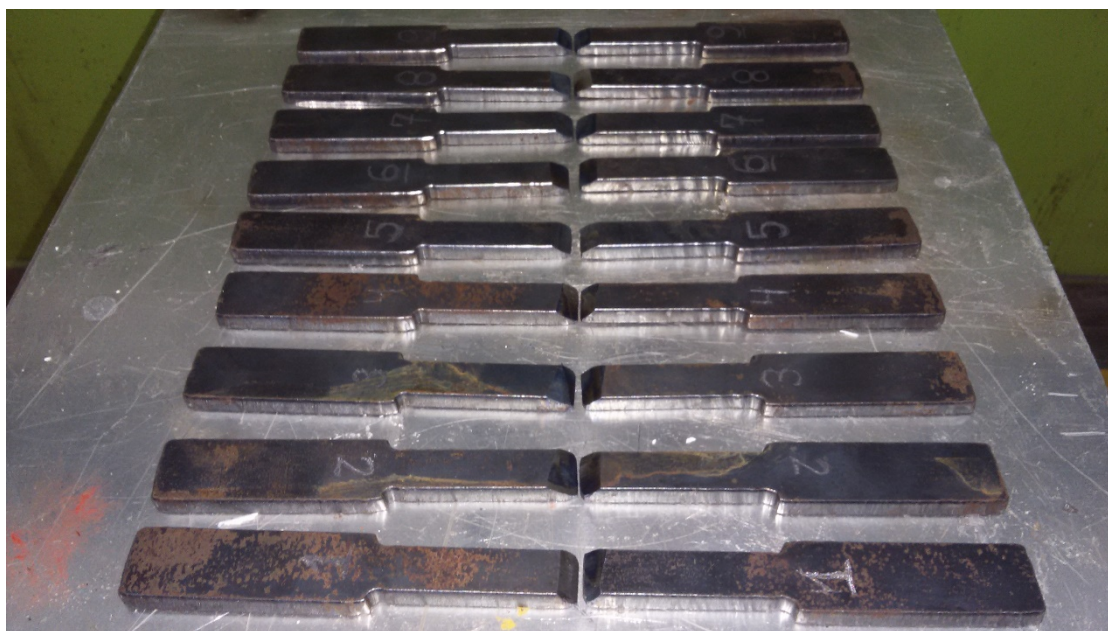


Figura 17: Juntas de topo. Fonte: Elaborada pelo autor.

Após foi realizado a limpeza dos corpos para garantir que não fique impurezas como óxidos, graxas, óleos na junta e interfira no resultado da soldagem.

2.3 Consumíveis utilizados

Por ser um dos eletrodos mais modernos de baixo carbono existentes atualmente, foi escolhido o eletrodo AWS E7018. Com quantidade de 30% de pó de ferro e com característica de pouco respingo durante o processo de soldagem, melhorando assim o manuseio durante o trabalho (FORTES, 2005).

Tabela 7: Composição química do eletrodo revestido AWS E7018.

Carbonato de cálcio	30%
Fluorita (CaF ₂)	20%
Ferro manganês	5%
Silicato de potássio	15%
Pó de ferro	30%

Fonte: FORTES, 2005

O eletrodo possui 3.25 mm de diâmetro, como estabelecido para estrutura da chapa. A máquina para esse tipo de serviço e com essas especificações deve ser soldada com uma corrente de 100 a 150 A.

2.4 Soldagem dos corpos de prova

O processo utilizado para soldagem das chapas foi por arco elétrico por eletrodo revestido do tipo básico E7018, para esse processo é necessário a utilização de uma fonte de energia do tipo retificadora, de corrente contínua, de fabricante ESAB MOD. Origo™ ARC 406 como mostrado na figura 18. Essa máquina tem como as características técnicas mostradas na tabela 6. Com o intuito de se obter maior penetração do metal de adição foi realizada com a polaridade inversa.



Figura 18: Fonte de soldagem. Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 8: Características técnicas do retificador Origo Arc 406.

Origo™ Arc 406			
Classe ABNT			
Faixa de corrente (A) / tensão (V)	60A / 22V - 400A / 36V		
Tensão em vazio máxima (V)	83		
Cargas autorizadas			
- Fator de trabalho (%)	20	40	100
- Corrente (A)	400	280	180
- Tensão em carga convencional (V)	36	32	27
- Alimentação elétrica (V - Hz)	220 / 380 / 440 - 60		
Potência aparente nominal (KVA)	33,5 KVA		
Classe térmica	H (180° C)		
Dimensões (L x C x A - mm)	600 x 1200 x 730		
Peso (kg)	115		

Fonte: Catálogo ESAB Origo™ Arc 256/406/456

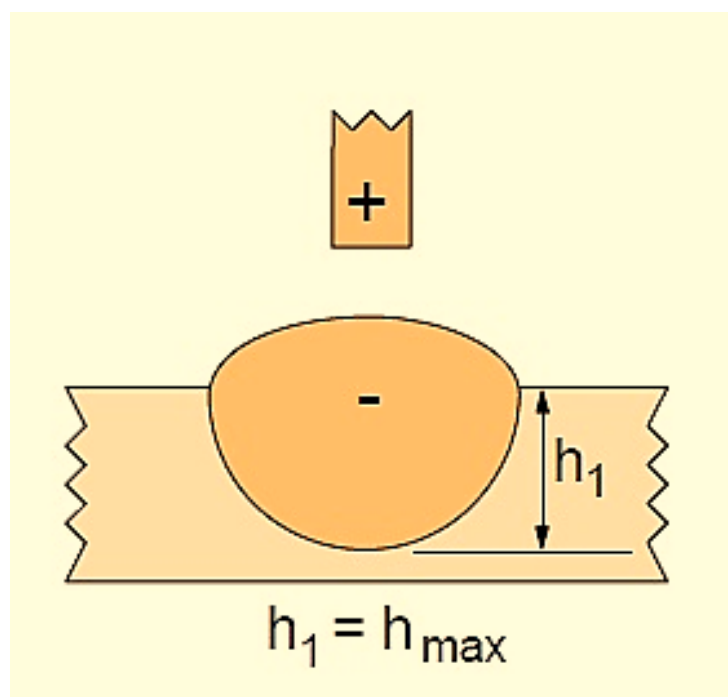


Figura 19: Soldagem com polaridade inversa Fonte: SENAI-SE, 2008.

Para realização da solda o eletrodo revestido E7018 foi mantido por um tempo de 60 minutos a uma temperatura de 100°C com o intuito de retirada da umidade. Além desse cuidado, como prevê a norma NBR 10615 que todo eletrodo revestido deve estar isento de defeitos, oxidações, redução localizada, qualquer dano com trincas e discontinuidades. Todos os utilizados no experimento, foram aprovados na inspeção visual.

O soldador utilizou todos os itens previstos e descritos no item 3.6.1, como luvas, avental, mangote, máscara, perneiras.

Para separação e alinhamento das peças a serem coalescidas foi confeccionado um modelo como da figura a seguir.

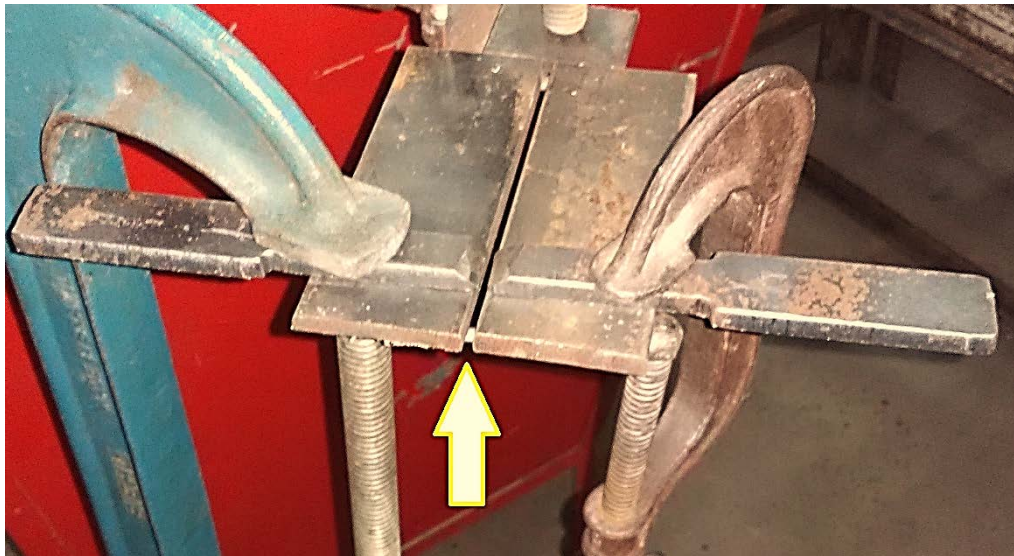


Figura 20: Gabarito com separação ideal. Fonte: Elaborada pelo autor.

Deve-se ter atenção ao realizar um processo de soldagem o metal sofre deformações e empenamentos, devido à contração sofrida pelo metal que é adicionado durante a soldagem, mais aquecimento e resfriamento. Para minimizar esses problemas é necessário prender a peça soldada com grampos.

Foram necessários vários passes, como ilustrado na figura 21, durante a soldagem devido a espessura da peça.

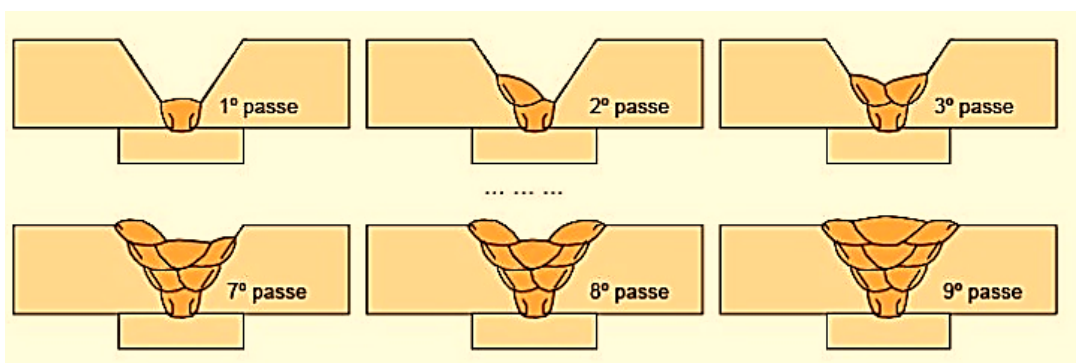


Figura 21: Execução de uma solda em vários passes. Fonte: SENAI-SE, 2008



Figura 22: Execução da soldagem. Fonte: Elaborada pelo autor

A variação de amperagem para soldagem foi definida da seguinte forma, três corpos foram soldados com aproximadamente 75A (abaixo do especificado) para as peças enumeradas com 1, 2 e 3. Para as peças 3, 4 e 5 com aproximadamente 125 A (dentro da faixa esperada). Com os corpos de prova 7, 8 e 9, aproximadamente 175A (acima do previsto).



Figura 23: Corpos soldados com 75 A. Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 24: Corpos soldados com 125 A. Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 25: Corpos soldados com 175 A. Fonte: Elaborada pelo autor.

Como observado nas figuras 23, 24 e 25, com a soldagem ficaram vários cantos vivos na união dos corpos, e como é sabido, estes causam regiões de tensão e aumentam a possibilidade de ruptura no local. Com o intuito de eliminar esses pontos de tensão as peças foram trabalhadas no esmeril como podemos observar na figura 26. Por fim temos os corpos prontos para serem ensaiados por tração.



Figura 26: Corpos após o trabalho no esmeril. Fonte: Elaborada pelo autor.

2.5 O ensaio de tração

Para essa parte do trabalho utilizamos a máquina eletromecânica modelo WDW 100 com controle computadorizado que realiza ensaio de tração, compressão, flexão e cisalhamento. Tem a capacidade de analisar os desempenhos mecânico de materiais metálicos e não metálicos. Podendo também realizar testes de fluência, de alongamento por estresse, tudo isso sobre alta e baixa temperatura. Seus resultados são amplamente utilizados em pesquisas científicas, metalúrgicas, petroquímicas e diversas indústrias.

2.5.1 Automação na operação

Como retirado do manual do proprietário, temos:

- Faixa de medição pode ser automaticamente trocada de acordo com a carga de teste e deformação durante a execução do teste.
- O modo de controle de razão constante de estresse, velocidade constante pode ser mudados automaticamente.
- As condições de teste e seu resultado podem ser salvos automaticamente.
- Após ajustados os parâmetros, o lote de amostras pode ser ajustado automaticamente.

- As curvas do teste do mesmo grupo podem ser superpostas para serem comparadas.
- Qualquer parte da curva do teste pode ser aumentada para sua análise.
- Modelo do relatório pode ser editado de acordo com a necessidade do cliente.
- Se é necessário os parâmetros podem ser corrigidos ou adicionados após o teste, e uma nova curva do teste ou resultado podem ser exibidos de acordo com esses ajustes.
- Automaticamente, analisa e exibe o mau funcionamento do sistema e erros de operação.
- Possui funções de constante de célula de teste, constante de deformação, razão da constante de deformação etc.
- Possui ampla gama de aplicações.
- Todos os tipos de mordentes podem ser fixados com este equipamento para atender os testes não somente para não metálicos, mas também para materiais metálicos grandes.
- Célula de carga com diferentes alcances podem ser fixados com o equipamento para estender a variação da medição da célula.
- Extensômetros clip-on, extensômetros sem contato tipo laser e extensômetro vídeo podem acompanhar o equipamento.
- Esta máquina com múltiplas funções pode atender a várias necessidades de testes.



Figura 27: Corpo de prova posicionado na máquina WDW 100. Fonte: Elaborada pelo autor.

Também no manual encontramos os seguintes parâmetros técnicos.

Tabela 9: Parâmetros técnicos da máquina WDW 100.

Medição da carga de teste	
Carga máxima	100kN
Precisão	0.5%
Variação de medição efetiva	2%-100%
Velocidade da deslocação	
Variação d velocidade	0.005-500mm/min
Precisão	0.5%
Espaço do teste	
Largura do espaço de teste	555mm
Viagem máxima da travessa	1130mm
Medição do deslocamento	
Resolução	0.001mm
Medição da deformação	
Medida de comprimento	50mm
Movimentação	25mm
Precisão	0.5%
Variação da medição efetiva	2%—100%
Fonte de energia	
220V, monofásico, 60Hz	
Potência	
1.5KW, 7 A	
Dimensão	
Estrutura de carga (P×L×A)	990×650×2120mm
Peso Aproximado	
Estrutura de carga (Kg)	1150

Fonte: Manual do Fabricante

A norma utilizada no ensaio foi a ISO 6892 e temos como painel de interface da máquina da forma observada na figura seguinte.

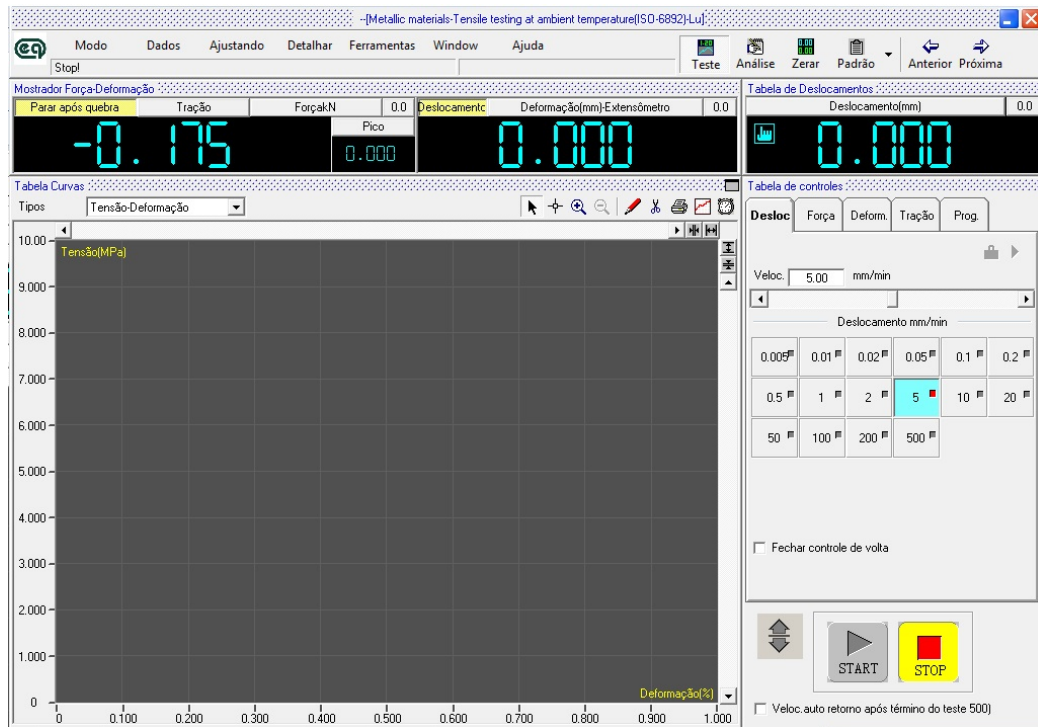


Figura 28: Interface do software da máquina de tração. Fonte: Elaborada pelo autor.

3. RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Nesta seção são apresentados os resultados do trabalho realizado.

3.1 Problemas encontrados

Para obtenção da chapa tivemos problemas com o corte, não era todo lugar que fazia o corte a plasma, fora o valor que no início era muito alto, cerca de R\$ 400, 00, e no final cada corpo de prova saiu por R\$ 2,50.

Outro problema foi conseguir a norma que regulariza o padrão do corpo de prova, o site da ABNT cobra para acesso a norma utilizada.

Com a figura 29 podemos ter uma noção dos resultados obtidos.



Figura 29: Corpos de prova após o ensaio de tração. Fonte: Elaborada pelo autor.

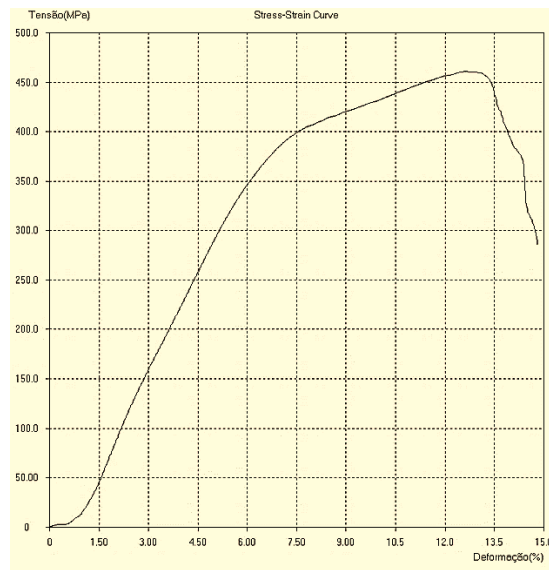


Figura 30: Corpo de prova 01. Fonte: Elaborada pelo autor.

Para realização desse ensaio foi utilizada tensão de soldagem no retificador de aproximadamente 75 A, a abertura do cordão de solda era um fator difícil de controlar mesmo a soldagem sendo realizada por um operador experiente. Na leitura do gráfico podemos notar que o corpo de prova suportou pouco mais de 45 MPa de tração, apresentou deformação de

aproximadamente 15%, região de escoamento não bem definida suportando ocorrendo entre 35 e 40 MPa.

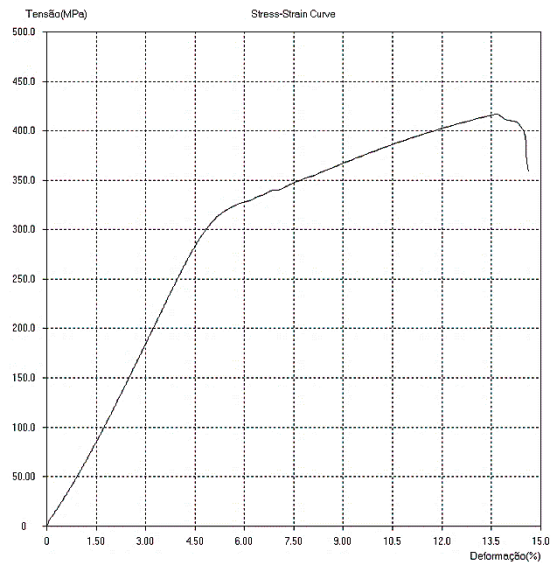


Figura 31: Corpo de prova 02. Elaborada pelo autor.

Seguindo os parâmetros de soldagem do corpo de prova 01, podemos observar que este suportou um pouco mais de 40 MPa, deformação também com aproximadamente chegando aos 15%, região de escoamento não definida entre 30 e 35%.

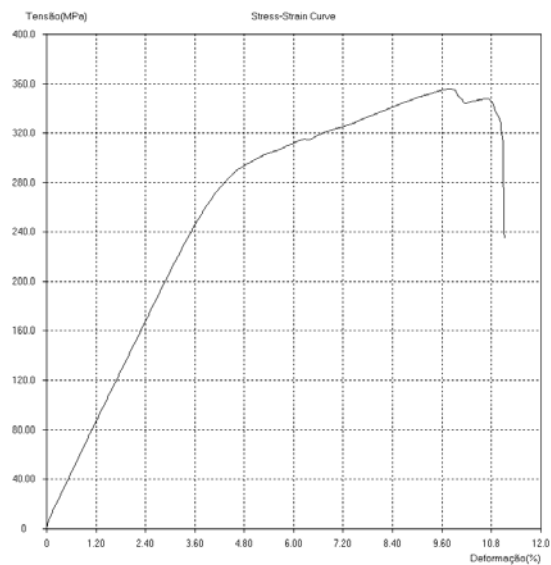


Figura 32: Corpo de prova 03. Fonte: Elaborada pelo autor.

Seguindo os mesmos parâmetros de soldagem dos corpos 01 e 02 o resultado destoou bastante dos outros dois, com resistência um pouco abaixo de 36 MPa, deformação de 11% e escoamento também não definido e com aproximadamente entre 29 e 32%.

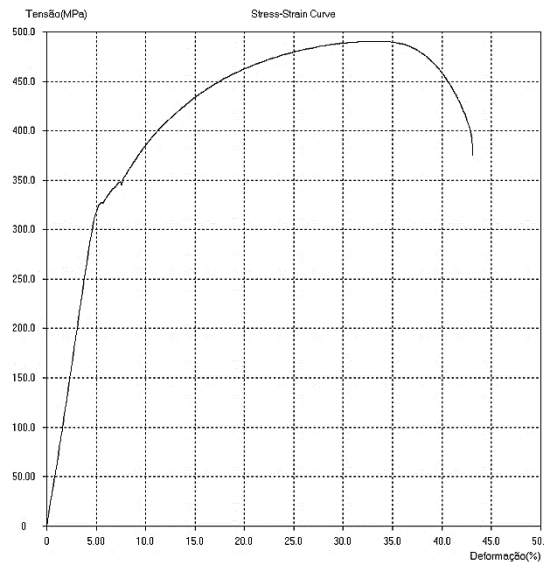


Figura 33: Corpo de prova 04. Fonte: Elaborada pelo autor.

Para este e os outros dois próximos corpos, foi respeitada o padrão quanto a amperagem, temos um gráfico bem mais parecido com o gráfico padrão, tivemos um acréscimo significativo em relação a tensão suportada chegando a quase 50 MPa e a deformação praticamente triplicou chegando a quase 45%, tivemos a região de escoamento ocorrendo com um pouco menos de 35 MPa.

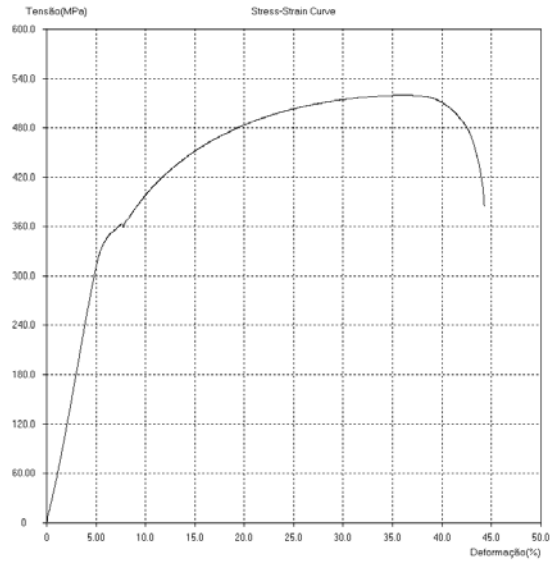


Figura 34: Corpo de prova 05. Fonte: Elaborada pelo autor.

Com formato também parecido com um gráfico padrão, suportou mais de 50 MPa, deformação também com quase 45% e região de escoamento entre 35 e 36%.

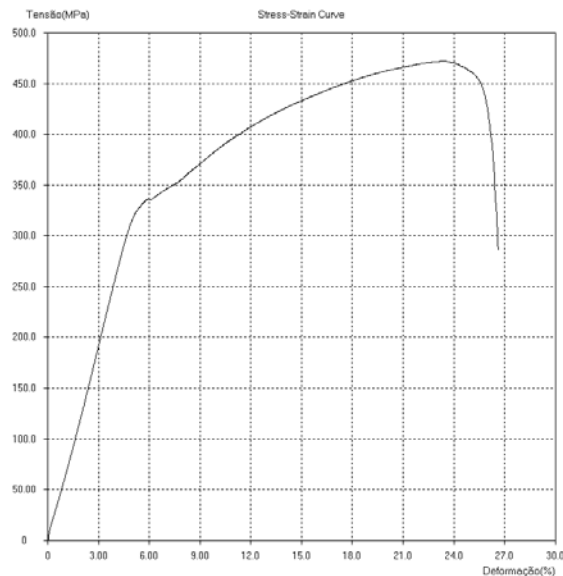


Figura 35: Corpo de prova 06. Fonte: Elaborada pelo autor.

Com formato também parecido com um gráfico padrão e similar aos dois anteriores, suportou menos de 50 MPa, só que a deformação houve um grande decréscimo com menos de 27% e região de escoamento foi curso e ocorreu próximo a 34%.

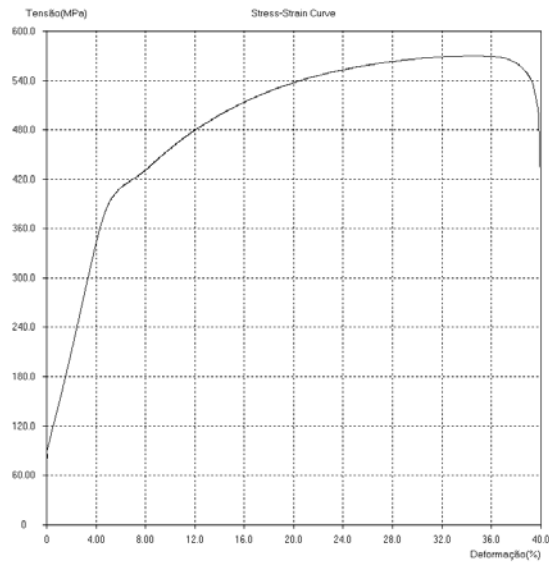


Figura 36: Corpo de prova 07. Fonte: Elaborada pelo autor.

Os corpos soldados com tensão superior a padrão, aproximadamente 175 A, são os corpos 07, 08 e 09 foram os que apresentaram maior dificuldade na soldagem em relação a material depositado, as poças formadas eram muito grandes, com elevada temperatura chegando a fundir também o suporte feito para prover o espaçamento com o corpo de prova. Nessa operação foi perdido o corpo de prova 09 e o suporte para separação. Houve também problema com o corpo de prova 07 no momento do ensaio de tração, a peça demorou para ser travada e começou o ensaio com aproximadamente 8 MPa, fora isso apesar da deformação razoável de 40% e tirando os 8% que foi perdido no início do ensaio ficamos com aproximadamente 50 MPa de força. A região de escoamento não ficou bem definida e ocorreu próximo aos 42%.

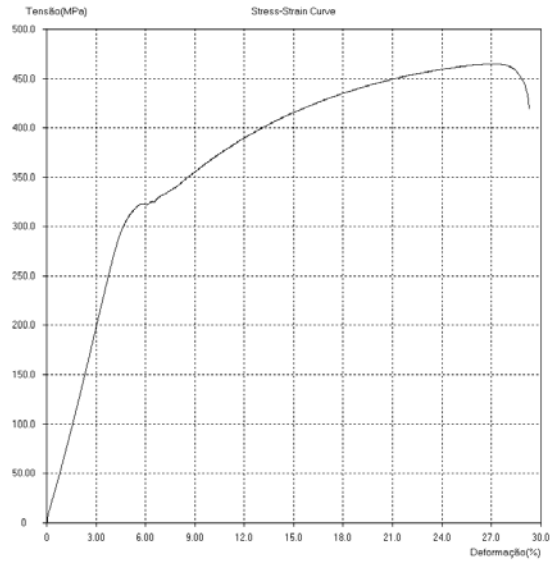


Figura 37: Corpo de prova 08. Fonte: Elaborada pelo autor.

O corpo de prova 08 tem padrão parecido com o 07, resistindo a 47 MPa de força e deformação um pouco menos de 30%.

CONCLUSÃO

Todo este estudo teve como objetivos principais avaliar do comportamento mecânico de chapas de aço SAE 1020 caso ela necessite sofrer um reparo e a atenção para normas de padrão soldagem utilizando o processo de soldagem por eletrodo revestido. De forma geral podemos verificar que se não atentarmos para padrões pré-estabelecidos teremos problemas não só com a resistência mecânica do material reparado, mas também encontraremos dificuldades na ação de soldar.

Quando a tensão é muito baixa encontra-se dificuldade para abertura do cordão de solda, além de a necessidade de realização de vários passes, com a análise dos três primeiros corpos de prova é notório uma baixa resistência mecânica e o material tem comportamento frágil, deformando no máximo 15%. Em todos os três corpos ocorreu a ruptura na solda.

Já ao analisar os corpos com a solda seguindo os parâmetros estabelecidos, temos um aumento significativo na resistência mecânica do aço reparado chegando até atingir valores aproximados de 50 MPa, o material apresenta maior plasticidade com deformações elevadas.

As rupturas ocorreram de forma mista, hora na solda, outa na junção da solda com a peça. Podemos chegar à conclusão que o material ficou com praticamente uniforme, ocorreram devido a alguma falha como cantos vivos ou na zona termicamente afetada.

Quanto as soldas com amperagem elevada, ocorreu uma elevada temperatura na região de solda, uma poça de fusão grande demais, causando a fundição do material soldado e o suporte de espaçamento e tivemos uma queda considerável na eficiência e até mesmo perda de um corpo de prova.

Contudo, sabemos que as tensões residuais (cantos vivos) favorecem a propagação de trincas. Devido a aparições de algumas dessas imperfeições e mesmo com a preparação dos corpos tentando minimizar esses problemas e após inspeção visual foi observado a aparição desses defeitos em algumas peças se tornou um fator que causou variáveis e especificações devem ser seguidas para que aja um trabalho confiável e que atenda aos padrões esperados.

Como sugestão para trabalhos que possam a ser realizados de formatos parecidos, sugiro que seja feito primeiro a solda e depois o corte dos corpos de prova e uma dica que

sejam realizados ensaios metalográfico, de dureza, ultrassom para se comparar com esse trabalho

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRINO, Marcilio. *Avaliação de Tensões Residuais em Soldas de Dutos Utilizando o Efeito Acustoelástico*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ALMENDRA, A. et al. *Soldagem Área Metalúrgica* – 2013. São Paulo: SENAI-SP, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO6892: Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente, 2002.

AQUILA, Victor. *Soldagem por eletrodo revestido*. Escola de Soldagem L&A – Centro de Formação de Soldadores, Salvador, 2012.

.Catolin eutectic Manual de aplicações em soldagem – 2ª ed. Out 2009
http://www.eutectic.com.br/catalogos/manual_de_aplicacoes_em_soldagem.pdf

CHIAVERINI, Vicente. *Tecnologia Mecânica*. 2º ed – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

FORTES, Cleber. *Apostila de Eletrodos revestidos ESAB*, 2005 – Disponível em:
<http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf>.

GARCIA, A.; SPIM. A. J.; SANTOS. A. C.. *Ensaio do Materiais*. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GUIMARÃES, Luiza Cláudia Freitas; *Avaliação do comportamento de juntas soldadas de aço SAE 1020 com e sem restrições utilizando eletrodo revestido*. Manaus. IFAM,2013.

Guimarães, Gil: *Apostila de Processos Metalúrgicos- Soldagem*

MACHADO, Ivan Guerra. *Soldagem e Técnicas Conexas: processo*. Porto Alegre: editado pelo autor, 1996.

MARQUES, Paulo V.; MODENESI, P.J; BRACARENSE, Alexandre. *Soldagem – Fundamentos e Tecnologia*. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

MIYAURA, Edson. *Efeito das tensões residuais sobre a propagação de trincas em juntas soldadas por FSW*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

MODENESI, P.J; MARQUES, P.V.; SANTOS, D.B. *Introdução à Metalurgia da Soldagem*. Belo Horizonte. Jan. 2012. 209p.

OKUMURA. T.; TANIGUCHI. C. *Engenharia de Soldagem e Aplicações*. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

WAINER E.; BRANDI S. D.; MELLO FÁBIO D. H. *Soldagem: Processos de metalurgia*. São Paulo, Blucher, 1992.

SENAI-SE. *Soldagem por eletrodo revestido nível I*. Aracaju, 2008.

SOUZA, S. A. *Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos: Fundamentos teóricos e práticos*. São Paulo, Blucher, 1982.

VLACK, Lawrence H. Van. *Princípio de Ciência e Tecnologia dos Materiais*. Editora Campus, 2000.

ZOLIN, Ivan; *Ensaio mecânicos e análise de falhas*. Santa Maria-RS.UFSM, 2011.