

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM MIG (GMAW) NO COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE JUNTAS SOLDADAS EM AÇO NAVAL ASTM 131 GRAU A

Thiago Monteiro Maquiné¹; Márcia Cristina Gomes de Araújo Lima²; Perla Alves de Oliveira³; Salomão Ricardo de Medeiros⁴; José Costa de Macedo Neto⁵

Universidade do Estado do Amazonas (UEA/EST) - thiago.maquine@gmail.com

Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - marciacrisgaprill@hotmail.com

Universidade do Estado do Amazonas (UEA/EST) - perlalves@hotmail.com

Universidade do Estado do Amazonas (UEA/EST) - samedeiros78@gmail.com

Universidade do Estado do Amazonas (UEA/EST) - jotacostaneto@gmail.com

RESUMO

A competitividade entre as empresas de construção naval é determinada pela qualidade de seus produtos. Desta forma, torna-se necessário padronizar e utilizar ensaios mecânicos em seus processos. Neste trabalho, foram realizados os ensaios mecânicos de flexão de três pontos, dobramento 180° e tração de amostras de juntas soldadas do aço naval ASTM 131 grau A. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico de juntas soldadas por processo MIG utilizando diferentes parâmetros. Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas estão diretamente relacionadas aos diferentes parâmetros de soldagem utilizados. Todas amostras apresentaram rompimento no metal de solda (adição), amostra C obteve propriedades melhores.

Palavras-chave: Aço naval 131 A; Ensaio de Flexão; Ensaio de Tração; Dobramento 180°.

ABSTRACT

The competition between shipbuilding companies is determined by the quality of their products. This way, it is necessary to standardize and use mechanical tests in their processes. In this work were made three-point bending mechanical test 180 ° bending test and sample traction of naval steel ASTM 131 degree A. Thus, it aimed to evaluate the mechanical behavior of welded joints by process MIG, using

1 Pós-Graduando em Ciência e Engenharia de Materiais (UEA/EST) – Engenheiro Mecânico – Engenheiro de Segurança do Trabalho.

2 Mestranda em Ciência e Engenharia de Materiais (UFAM) – Engenheira de Produção – Engenheira de Segurança do Trabalho.

3 Pós-Graduanda em Ciência e Engenharia de Materiais (UEA/EST) – Engenheira Mecânica.

4 Graduado em Engenharia de Química, ULBRA, Manaus-AM-BR.

5 Dr. Professor em Engenharia de Materiais, UEA/EST, Manaus-AM-BR.

different parameters. The results showed that the mechanical properties are directly related to the different welding parameters used. All samples showed weld metal disruption (addition), however sample C obtained better properties.

Keywords: Naval Steel 131 A; Flexural Test; Traction Test; Folding 180°

INTRODUÇÃO

O Amazonas é considerado um dos grandes polos brasileiros em termos de produção naval e conta com cerca de 300 estaleiros instalados de pequeno, médio e grande porte (KUBOTA, 2014). Um dos processos envolvidos na fabricação naval é o de soldagem, processo que requer um estudo rigoroso da região soldada. A indústria naval compreende a atividade de fabricação de embarcações e veículos de transporte aquático em geral, envolvendo desde navios de apoio marítimo, portuário, petroleiros, graneleiros, porta-contêineres, além de toda a rede de fornecimento de navieças (PIRES, 2013).

A soldagem talvez seja o principal processo de um estaleiro, pois essa indústria trabalha basicamente na montagem de equipamentos e sistemas que recebe, integrando-os no complexo produto que é um navio. A escolha do processo de soldagem deve considerar os requisitos do projeto, as características físicas e geométricas do material e o grau de mecanização desejado (MARQUES, 2014). Os planos de soldas para embarcações deverão indicar claramente a extensão em que se pretende soldar, a geometria do chanfro, o processo de soldagem, o consumível de soldagem e as dimensões de solda (GARCIA, 2012).

A qualidade do cordão de solda conseguido pelos processos Metal Inerte Gás (MIG) ou *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) é influenciada por alguns parâmetros, tais como intensidade de corrente, tensão e comprimento do arco, velocidade de soldagem, *stick-out*, gases de proteção, diâmetro do eletrodo e posição da tocha, seus tipos e vazão (BARROS, 2012).

As propriedades mecânicas definem o comportamento de um material quando sujeito a esforços mecânicos. A determinação das propriedades dos materiais é realizada por intermédio de ensaios mecânicos. Neste trabalho foram realizados os ensaios de flexão, dobramento 180° e tração para a obtenção das propriedades mecânicas em juntas soldadas em chapa de aço naval ASTM 131 grau A que relacionou as características do material ensaiado com a resposta do mesmo quando submetido a diferentes tensões e deformações.

A finalidade desse artigo é avaliar o comportamento e as propriedades mecânicas dos corpos de prova soldado por diferentes parâmetros de processos de soldagem GMAW em chapa naval ASTM 131 grau A que na qual foram submetidos nos ensaios de flexão, de tração e dobramento com principal intuito

de mensurar e comparar os resultados e suas respectivas aprovações nos projetos, que esses resultados possibilitam aceitação ou rejeição do material que são de suma importância para definir a devida real aplicação nos projetos de construção e tendo benefícios como redução de energia aplicada no processo de soldagem, espessura de material, gases de proteção, menos aplicação de metal solda e conseqüentemente uma redução significativa nos custos da embarcação e contribuindo para o desenvolvimento tecnológico do estado do Amazonas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado foi uma chapa de aço naval ASTM A131 Grau A com espessura de 8 mm, tendo como aplicação em estruturas e cascos de balsas, barcaças e navios de pequeno e médio porte. A soldagem foi realizada em condições reais de trabalho em um estaleiro da cidade de Manaus pelo processo de soldagem MIG (GMAW) com diferentes parâmetros de soldagem (corrente – tensão – velocidade) A, B e C conforme mostra a tabela 1, metal de solda (adição) aplicado BME-04 AWS A5. 18 ER70S – 6 e gás de proteção 82%Ar + 18CO₂. A figura 1 mostra as placas A – B – C após o processo de junção de soldagem MIG (GMAW).

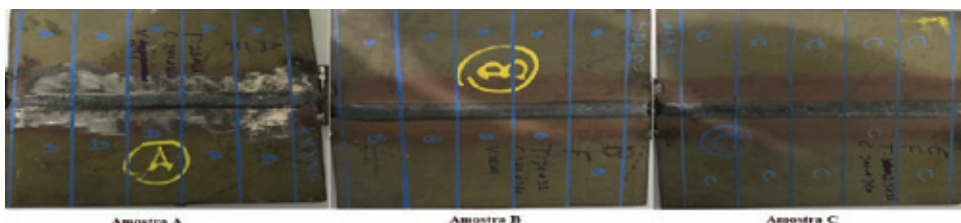


Figura 1: Junção de soldagem GMAW nas placas A – B – C.

Tabela 1: Parâmetros de Soldagem na chapa aço ASTM A 131 Grau A

CP	Dimensões	Soldagem	Corrente	Tensão	Velocidade
A	250x300x8mm	GMAW	240 à 260A	25 à 26V	2,84 mm/s
B	250x300x8mm	GMAW	240 à 280A	30 à 31V	3,90 mm/s
C	250x300x8mm	GMAW	300 à 350A	29 à 31V	6,25 mm/s

Chapa de aço-carbono ASTM 131 grau A com garantia de composição química e propriedades mecânicas, conforme a tabela 2, classificada por uma sociedade classificadora internacional (ABS - BV - DNV - RINA).

Tabela 2: Composição Química e Propriedades Mecânicas ASTM A 131 Grau A

Elemento	Composição	Propriedades	Resultados
Carbono (C)	0,21 máx.	Densidade	7,8 g/cm ³
Manganês (Mn)	2,5 x C máx.	Limite de escoam.	235 MPa
Silício (Si)	0,50 máx.	Resist. Tração	400 MPa
Fósforo (P)	0,035 máx.	Alongamento	24% mínimo
Enxofre (S)	0,035 máx.	Dureza Brinell	Não há Requisito
C + Mn/6	0,40 máx.	Temp. Ensaio	20°C

Fonte: (ASTM A 131/A131M, 1994)

A preparação das amostras para ensaio de flexão foi realizada de acordo com a norma (ASTM E855-90,1990) para o ensaio de dobramento foi de acordo com a Norma (AWS D 1.2,2003) e (API 1104/2010, 1990). Para a realização do ensaio de tração utilizou-se norma (ASTM E 8M, 2013) e (NBR ISSO 6892,2013). Para a confecção das amostras, primeiramente, as juntas foram submetidas ao processo de corte plasma utilizando uma máquina CUT 50D – V8. Obtemos para o ensaio de flexão e dobramento 180° os corpos de prova com as medidas de 180 x 50 x 8 mm e para o ensaio de tração as medidas 200 x 20 x 8 mm.

Em seguida as amostras foram sujeitas ao processo de usinagem para retirada do excesso de metal no cordão de solda e acabamento para o ensaio de flexão. Já para o ensaio de tração e dobramento não houve necessidade da retirada deste excesso de metal de solda conforme consta na Norma API 1104/2010. A figura 2 mostra as amostras finalizadas. Finalmente, realizaram-se a aferição das medidas dos corpos de prova, utilizando um paquímetro Mitutoyo de precisão 0,02mm e o mesmo estava calibrado e certificado.

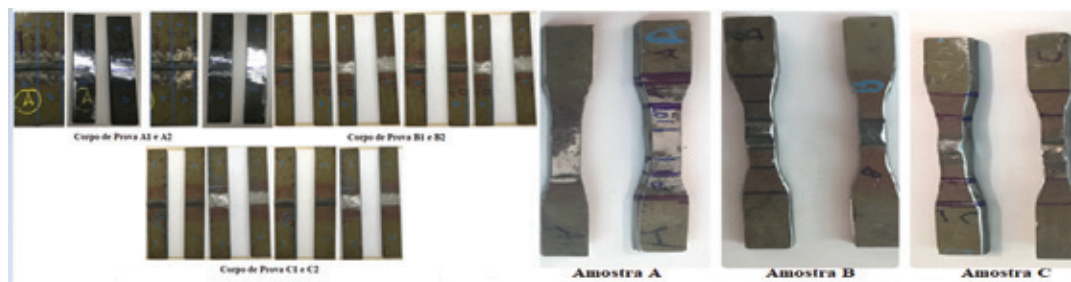


Figura 2: Amostras finalizadas A1- A2, B1 – B2 e C1 – C2

O ensaio de flexão foi realizado o em 03 pontos em seis corpos de prova, conforme método descrito na Norma ASTM E855-90. Esta norma descreve o método de para determinar o módulo de elasticidade na flexão e a resistência à flexão de

tiras ou chapas metálicas. Para este ensaio utilizou-se uma máquina universal de ensaios da marca Instron, modelo 5984. Os corpos de prova foram dispostos no equipamento à distância (l) entre os pontos de apoio, que foi de 82 mm posicionando o cutelo centralizado em relação aos apoios, dimensões dos corpos de prova com 180 x 50 x 8mm, diâmetro do cutelo 10mm, velocidade de ensaio 5 mm/min.

Para a realização do ensaio de tração foi utilizado 06 corpos de prova e ensaiado uma máquina universal modelo UH 300KNA e marca Shimadzu, com velocidade de deslocamento de até 10 mm/min e célula de carga de 300 kN. Todo o ensaio foi controlado pelo software disponível. Os corpos de prova apresentaram dimensões 200 x 20 x 8 mm, parte útil 57 mm, raio de concordância 12,5 mm e cabeça 50 mm de largura. O ensaio foi realizado conforme descrito na Norma ASTM E 8M e NBR ISSO 6892:2013.

Para a realização do ensaio de dobramento nos 06 corpos de prova com dimensões de (180 x 50 x 8 mm) e foram utilizados os mesmos parâmetros de ensaio utilizados no ensaio de flexão. Utilizou-se o método de dobramento livre de 180°, na qual consiste em dobrar o corpo de prova soldado até o ângulo de 180° com auxílio de uma máquina universal com capacidade de 15ton conforme método descrito na norma AWS D 1.2-2003 e API 1104/2010.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das propriedades mecânicas do ensaio de flexão foram obtidos por meio da análise gráfica tensão x deformação, conforme mostra as figuras 3 e 4. Considerando os parâmetros de soldagem GMAW aplicado nos corpos de prova (CP's) conforme tabela 1, temos os resultados das propriedades mecânicas que podemos observar na tabela 3.



Figura 3: Processo de ensaio de flexão e resultados dos corpos de prova

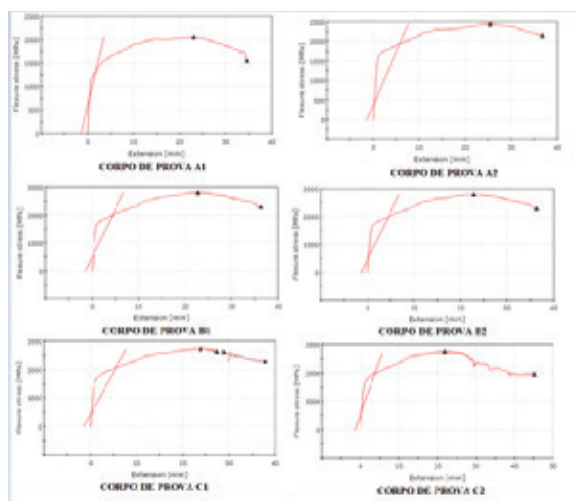


Figura 4: Resultado Gráfico Flexure (MPa) versus Extension (mm) – Amostras

Tabela 3. Resultados do ensaio de flexão nas amostras A1 – A2 – B1 – B2 – C1 – C2

CP	CMF (N)	LR (MPa)	LE (MPa)	TR (MPa)	ME (MPa)	MT (Nm/m ³)	FM (mm)
A1	18277	2000	1300	1557	2811	0,69	35,0
A2	21730	2300	1600	2147	3162	0,87	37,0
B1	24977	2600	1700	2312	3435	0,98	36,0
B2	25630	2700	1800	2437	3131	1,05	38,0
C1	24387	2900	1800	2408	3597	0,94	36,5
C2	24455	2950	1900	2353	3326	1,18	45,0

CMF: Carga máxima em flexão – LR: Limite de resistência – LE: Limite de escoamento – TR: Tensão de ruptura – ME: Módulo de elasticidade – MT: Módulo de tenacidade – FM: Flexão máxima.

Como foi percebido nos resultados dos ensaios flexão, à medida que aumentou a energia de soldagem (corrente elétrica e voltagem), obteve-se uma solda com maior penetração, o que influencia diretamente na resistência mecânica da solda em relação à junta, quanto maior a penetração da solda, maior o limite de resistência (LR) confirmando a previsão teórica do autor (MODENESI, 2017), onde as amostras C1 e C2 obtiveram resultados superiores em relação às outras amostras, tabela 3 nos mostra esses valores.

Para o ensaio de tração todos os corpos de prova ensaiados a ruptura ocorreu sempre no metal base figura 6. Da tabela 4 e figura 7, nota-se que as juntas soldadas de todos os CPs apresentaram limites de escoamento (LE) e de resistências (LR) superiores aos valores máximos fornecidos pelo fabricante do aço mostrados na tabela 2, corroborando com a previsão teórica do autor (CALLISTER, 2008).



Figura 5: Processo de ensaio de tração

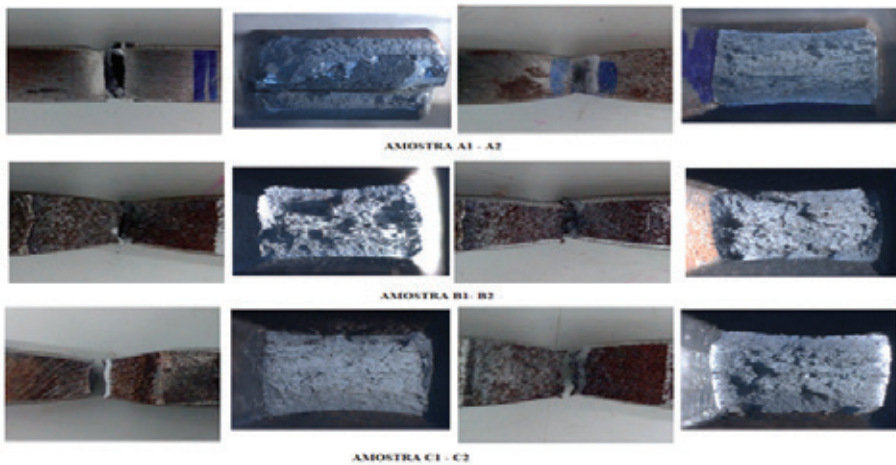


Figura 6: Resultados dos corpos de prova A1 – A2 – B1 –B2 –C1 – C2 no ensaio de tração

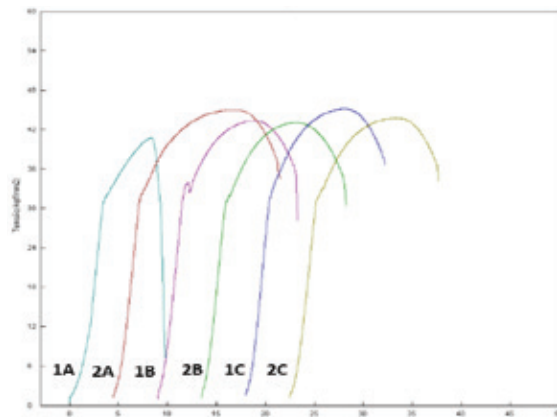


Figura 7: Resultado Gráfico do Ensaio de Tração (kgf/mm) versus Extension (mm)

Tabela 4: Resultados da análise do ensaio de tração nos corpo de prova

CP	CMT (kgf)	LR (MPa)	LE (MPa)	ME (MPa)	A (%)
A1	29.08	400	305	1583	14
A2	32.10	441	309	1483	18
B1	30.93	425	331	1770	18,7
B2	30.73	422	318	1728	18,4
C1	32.21	443	312	2178	19,7
C2	31.24	430	310	2032	20,9

CMT: Carga máxima em tração – LR: Limite de resistência – LE: Limite de escoamento - ME: Módulo de elasticidade– A: Alongamento.

O módulo de elasticidade é dependente da temperatura, quanto maior a temperatura, o módulo de elasticidade tende a diminuir. Quanto menor a velocidade de solda, maior será a exposição do metal a temperatura, onde as amostras A e B tiveram maior exposição e amostra C teve menor exposição à temperatura, os resultados dos módulos podem ser observados na tabela 4, onde os resultados confirma previsão do autor (FIGUERÔA, 2016).

Os seis corpos de prova soldados romperam na ZAC. Avaliando-se os resultados de propriedades mecânicas em função da variação da energia de soldagem e comparando com os dados do metal base, foi observada que houve um aumento do limite de escoamento da ZAC para ambas a energia de soldagem em relação ao metal base. Ocorrência similar foi encontrada por (CANTO, 1991), o autor justifica que esse fenômeno foi causado pelo crescimento dos grãos na ZAC, o que resultou em um aumento na ductilidade dessa região.

Na tabela 4 também se pode observar um alongamento maior para amostras C1 e C2 em relação outras amostras, (COUTO, 2000) encontrou resultado semelhante, o autor atribui esse incremento de ductilidade em função do aumento da energia de soldagem ao maior crescimento de grão na ZAC para maiores energias de soldagem.

Não houve uma grande diferença nos resultados obtidos, pois a diferença nos valores de tensão e velocidade variados é baixa. Esses valores estão de acordo com os padrões do metal base normalizada na ASTM A131 grau A, tendo como Limite de Escoamento (LE): 235 MPa, no mínimo e Limite de Resistência à Tração (LR): 400 MPa – 520 MPa.

Para avaliação dos corpos de provas no ensaio de dobramento 180°, tivemos como referência o critério de aceitação conforme descrito na Norma AWS D1. 2 ED. 2003 parágrafo 3.8.3. A superfície convexa da amostra de ensaios de dobramento deve ser examinada visualmente para descontinuidades superficiais. Para aceitação, a superfície não deve conter descontinuidades que excedam as dimensões descritas

na Norma, tabela 5 mostra os resultados de cada amostra, onde apenas as amostras C1 e C2 foram aprovadas, pois não houve fissuras maiores que 3 mm como mostra figura 8.

Tabela 5. Resultados da análise de descontinuidades superficiais Norma AWS D1. 2 – 2003

CP	Dimensões (mm)	Maquinário	Ângulo de dobramento	Indicação
A1	180 x 50 x 8	PRENSA	180°	REPROVADO
A2	180 x 50 x 8	PRENSA	180°	REPROVADO
B1	180 x 50 x 8	PRENSA	180°	REPROVADO
B2	180 x 50 x 8	PRENSA	180°	REPROVADO
C1	180 x 50 x 8	PRENSA	180°	APROVADO
C2	180 x 50 x 8	PRENSA	180°	APROVADO

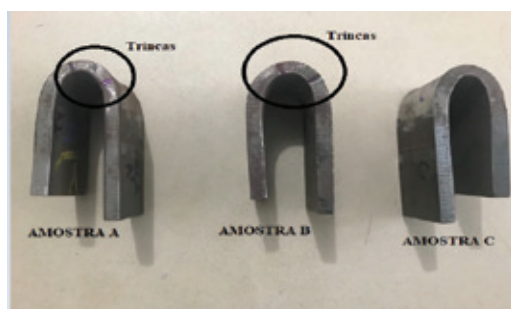


Figura 8: Amostras após o ensaio de dobramento e suas descontinuidades

O resultado serviu para determinar se a solda é apropriada ou não para uma determinada aplicação, conforme relata autor (SOUZA, 1982), forneceu uma indicação qualitativa da ductilidade do material, em função da variação da energia de soldagem onde obteve aumento na ductilidade das amostras.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos testes de flexão, dobramento 180° e tração estão diretamente relacionados aos diferentes parâmetros de soldagem no processo GMAW (corrente, voltagem e velocidade) aplicado nas amostras, e como consequência, houve variação no comportamento das propriedades mecânicas, que foi visto claramente nas tabelas de resultados.

Nos ensaios de flexão e tração foi possível mensurar diferença das propriedades mecânicas das amostras e relacionar os resultados de acordo com os diferentes parâmetros de soldagem GMAW, onde as amostras C1 e C2 apresentaram

valores superiores em relação às amostras B1, B2, A1 e A2.

Para o ensaio de dobramento, podemos afirmar que dos corpos de prova A1, A2, B1, B2 foram reprovadas e C1 e C2 foram aprovadas no exame visual para verificar descontinuidades superficiais onde não houve fissuras acima de 3 mm nas amostras. Este resultado está diretamente relacionado em função da variação da energia de soldagem aplicado nas amostras.

REFERÊNCIAS

KUBOTA, L. C.; CAMPOS, N. C. A. S.; POMPERMAYER, M. **Ressurgimento da indústria naval no Brasil**. Brasília: IPEA, 2014.

PIRES, R. R. C.; GOMIDE, A. A.; AMARAL, L. A. **A ver navios? A revitalização da indústria naval no Brasil democrático**. Texto para discussão. Brasília: IPEA, 2013.

MARQUES, P. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3ª Edição. Minas Gerais: UFMG, 2014.

GARCIA, A. S. J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaaios dos Materiais**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: LTC; 2012.

BARROS, P. M. **Metalurgia da Soldagem I**. São Paulo: Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Fatec/UNESP, 2002.

ASTM A 131/A131M – **Standard Specification for Structural Steel for Ships**, 1994.
 ASTM E 855 – **Standard Test Methods for Bend Testing of Metallic Flat Materials for Spring Applications Involving Static Loading**, 1990.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTES. AWS D1.2: **Structural Welding Code** – Aluminum, 2003.

API 1104 – **Soldagem de Tubulações e Instalações Relacionadas**, 2013.

ASTM E 8M – **Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**, 1990.

ABNT NBR 6892 – **Materiais Metálicos Ensaio de Tração à Temperatura Ambiente**, 2013.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e**

tecnologias. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais. Uma Introdução.** Rio de Janeiro: LTC, 2008.

FIGUERÔA, D.W. **Estudo da Influência do Teor de CO₂ em Misturas de Ar + CO₂ e do Metal de Adição na Soldagem Híbrida Laser – Gmaw Maw em Aço Estrutural.** 22º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 2016.

CANTO, M. A. A. **Influência dos gases de proteção empregados no processo MIG/MAG sobre as propriedades mecânicas do metal de solda.** Dissertação UFRGS, p. 02-06, 1991.

COUTO, J. G. V.; PESSOA, A. A. **Processo CO₂, em solda versus misturas de argônio e dióxido de carbono.** Separata da Revista Engenharia Industrial, p. 01-08, 2000.

SOUZA, S. A.; **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos. Fundamentos teóricos e práticos.** 5ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1982.