

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ – FAACZ  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**IGOR RUY CAMPAGNARO**

**ANÁLISE COMPARATIVA METALOGRÁFICA DE SOLDA OBTIDA A PARTIR DE  
SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO EM AÇO E  
SOLDAGEM A TUNGSTEN INERT GAS (TIG).**

Aracruz  
2019

IGOR RUY CAMPAGNARO

**ANÁLISE COMPARATIVA METALGRÁFICA DE SOLDA OBTIDA A PARTIR DE  
SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO EM AÇO E  
SOLDAGEM A TUNGSTEN INERT GAS (TIG).**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica das Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Harerton Oliveira Dourado

Aracruz  
2019

**IGOR RUY CAMPAGNARO**

**ANÁLISE COMPARATIVA METALGRÁFICA DE SOLDA OBTIDA A PARTIR  
DE SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO EM AÇO E  
SOLDAGEM A TUNGSTEN INERT GAS (TIG).**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
coordenadoria do curso de Engenharia Mecânica  
das Faculdades Integradas de Aracruz, como re-  
quisito parcial para a obtenção do título de Ba-  
charel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em 27 de janeiro de 2020

**COMISSÃO EXAMINADORA**



Dr. Hareton Oliveira Dourado

Faculdades Integradas de Aracruz

(Orientador)



Prof. Dr. Marcos Roberto Teixeira Halasz

Faculdades Integradas de Aracruz

(Examinador interno)

## **DECLARAÇÃO DO AUTOR**

Declaro, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e ao autor.

Aracruz, 29 de janeiro de 2020.

Igor Ruy Campagnaro

## RESUMO

O mercado de solda vem crescendo gradativamente em todo o país devido às grandes vantagens e aplicabilidade que apresentam tendo em vista que pode ser usada tanto em simples junções de peças para a construção de estruturas básicas como construções até mesmo de usinas nucleares. Contudo é relevante que se conheça adequadamente qual o processo a ser empregado para que desta forma se consiga uma melhor qualidade do serviço realizado. Desse modo o presente estudo objetivou realizar uma análise comparativa metalográfica da solda obtida a partir de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido e em *Tungstein Inert Gas* (TIG), Para tanto o estudo buscou ainda definir e caracterizar os processos de soldagem de arco elétrico revestido e TIG, diferenciando os mesmos. A realização da presente produção foi construída por meio de embasamento teórico sendo este fundamental para a construção do referencial teórico apresentado, e de estudo de caso para averiguar na prática a teoria estudada. A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido apresenta grande versatilidade em se tratando da junta e posição da soldagem assim como na solda TIG, contudo esta segunda tem maior custo enquanto a primeira sofre constantes mudanças nos eletrodos.

Palavra-chave: Soldagem. Arco elétrico. Eletrodo revestido. TIG.

## **ABSTRACT**

The welding market has been growing gradually throughout the country due to the great advantages and applicability that they present since it can be used both in simple joints of parts for the construction of basic structures and constructions even of nuclear power plants. However, it is important to know adequately the process to be employed in order to achieve a better quality of service. Thus, the present study aimed to perform a comparative metallographic analysis of the weld obtained from electric arc welding with coated electrode and in Tungsten Inert Gas (TIG). For this the study also sought to define and characterize the arc welding processes and TIG, differentiating them. The realization of the present production was constructed by means of theoretical foundation, being this fundamental for the construction of the theoretical reference presented, and of case study to ascertain in practice the theory studied. The electric arc welding with coated electrode presents great versatility when it comes to joint and welding position as well as TIG welding, however, this second one has a higher cost while the former suffers constant changes in the electrodes.

Keyword: Welding. Electric arc. Coated electrode. TIG.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquemática do processo de soldagem SMAW.....	15
Figura 2 – Influência da polaridade no processo SMAW.....	17
Figura 3 - Defeito por falta de penetração.....	18
Figura 4 - Defeito por falta de fusão.....	18
Figura 5 - Exemplo de mordedura.....	19
Figura 6 – Exemplo de porosidade na solda.....	19
Figura 7 - Trincas longitudinais.....	20
Figura 8 – Esquemática do processo de soldagem TIG.....	21
Figura 9 – Exemplo das chapas utilizadas em estudo de caso.....	24
Figura 10 – Esquema de chanfro realizado nas peças em estudo.....	25
Figura 11 – Fonte utilizada para soldagem.....	26
Figura 12 – Peças soldadas a arco elétrico com eletrodo revestido.....	27
Figura 13 – Peças polidas para realização do ensaio.....	27
Figura 14 – Microestruturas observadas nas peças analisadas: a) microestrutura apresentada pela peça 1; b) microestrutura apresentada pela peça 2; c) microestrutura apresentada pela peça 3; d) microestrutura apresentada pela peça 4.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de corrente em função do diâmetro para os principais tipos de eletrodo. ....	16
Tabela 2 – Composição química do eletrodo revestido E7018. ....	25
Tabela 3 – Propriedades mecânicas do eletrodo E7018. ....	25
Tabela 4 – Características mecânicas do eletrodo ER70S-3. ....	26
Tabela 5 – Características químicas do eletrodo ER70S-3. ....	26

## LISTA DE ABREVIATURAS

*Et al.* – *Et alii* (e outros)

Indiv. – Individual

Jr. – Júnior

Me. – Mestre

P. – Página

Prof. – Professor

Temp. - Temperatura

## LISTA DE SIGLAS

A – Ampére  
Al – Alumínio  
Ar – Argônio  
AWS – *American Welding Society*  
°C – Grau Celsius  
C - Carbono  
CA – Corrente alternada  
CC – Corrente Contínua  
Ch – Chumbo  
Cr – Cromo  
Cu - Cobre  
Er – Eletrodo nu  
FAACZ – Faculdades Integradas de Aracruz  
Hz - Hertz  
J – Joule  
Ksi – Quilo-libra  
LE – Limite de Escoamento  
LR – Limite de Resistência  
mm – milímetro  
Mn – Manganês  
Mo - Molibdênio  
MPa – Mega Pascal  
N<sub>2</sub> – Gás nitrogênio  
Ni - Nitrogênio  
O<sub>2</sub> – Gás oxigênio  
P – Fósforo  
S - Flúor  
SMAW - *Shield Metal Arc Welding*  
sd – Sem data  
SG – Soldagem a gás  
Si - Silício  
TIG – *Tungsten Inert Gas*

V - Vanádio

ZAC – Zona Afetada pelo Calor

ZS – Zona de Solda

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.1.1 Objetivo geral .....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
<b>2 SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO.....</b>	<b>14</b>
2.1 VANTAGENS ENVOLVIDAS NO PROCESSO.....	17
2.2 DESVANTAGENS APRESENTADAS PELO PROCESSO .....	17
2.3 DESCONTINUIDADES DO PROCESSO.....	18
<b>3 SOLDAGEM A <i>TUNGSTEIN INERT GAS</i> (TIG).....</b>	<b>21</b>
3.1 VANTAGENS ENVOLVIDAS NO PROCESSO.....	22
3.2 DESVANTAGENS APRESENTADAS PELO PROCESSO .....	23
3.3 DESCONTINUIDADES DO PROCESSO.....	23
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>24</b>
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS .....	24
4.2 MÉTODOS DE SOLDAGEM.....	26
<b>5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de solda vem crescendo gradativamente em todo país devido às grandes vantagens e aplicabilidade que apresenta podendo ser usada tanto para a simples junção de peças para construção de estruturas básicas quanto para construções de maior complexidade como usinas nucleares. Contudo existem diferentes tipos de solda e cada uma apresenta características próprias que devem ser analisadas e previamente estudadas para identificação do processo mais adequado a ser empregado.

Segundo Wainer, Brandi e Mello (2004) o processo adequado a ser utilizado deve se basear no projeto de equipamentos soldados, desenvolvimento e aperfeiçoamento dos equipamentos de soldagem, assim como dos materiais, desse modo a qualidade da solda será efetiva.

Assim cada processo de soldagem possui vantagens e limites havendo a necessidade de se balancear as características determinando assim as especificações de aplicação (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004). Em contrapartida, mesmo em posse do conhecimento dos diversos processos existentes o presente estudo centra-se na análise comparativa de apenas dois: arco elétrico com eletrodo revestido e TIG.

O processo a arco elétrico com eletrodo revestido é muito empregado por ser versátil e de baixo custo, sendo utilizado na fabricação e montagem de equipamentos e reparos com chapas que variam entre 3mm e 400mm (ESAB, 2005). Já o processo TIG é considerado de alta qualidade com uma solda de excelente acabamento sendo empregada principalmente em união de não-ferrosos e inoxidáveis (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004).

Segundo estudos realizados por Gonçalves e Pereira (2016) o processo de soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido foi o propulsor para o mercado da solda, sendo este um dos principais processos empregados.

Desse modo cada processo possui características que o torna vantajoso frente ao outro tendo como variante a finalidade da solda, se para a fabricação, recuperação ou formação de revestimentos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Realizar uma análise comparativa metalográfica da solda obtida a partir de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido e em TIG.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Definir e caracterizar o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido;
- ✓ Definir e caracterizar o processo de soldagem TIG;
- ✓ Comparar analiticamente a metalografia da solda obtida em cada processo em estudo.

## 2 SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO

Também chamado de *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) a soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido é um tipo de soldagem manual a arco elétrico sendo realizada com o calor de um arco elétrico mantido entre eletrodo metálico e a peça a ser trabalhada (ESAB, 2005).

Segundo Brandi (2004) o arco elétrico é obtido a partir de uma descarga elétrica que se mantém por meio de gás ionizado tendo início a partir da emissão de elétrons negativos do eletrodo negativo que é aquecido e mantido pela ionização do gás ionizado. O autor acrescenta ainda que tal descarga elétrica tem baixa tensão e alta intensidade.

Brandi (2004) esclarece que o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido é bem complexo e por isso menos estudado, mas que a partir do conhecimento do funcionamento do referido projeto é capaz de proporcionar a obtenção de cordões de solda perfeitos, sem respingos e com distorção da estrutura soldada controlada.

Vieira e Veiga (2011) afirmam que para haver eficiência neste processo deve existir convenientemente um afastamento entre a peça e o eletrodo, sendo esta distância o comprimento do arco que necessita ter o diâmetro aproximado do núcleo do eletrodo. A realização do processo de solda por arco elétrico sempre sofrerá influência da atmosfera, desse modo na execução do processo há a necessidade de proteção que evite a contaminação, este fato caracteriza o eletrodo revestido como mais adequado a ser utilizado (GIMENES JR., RAMALHO, sd). O processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido é esquematicamente apresentado pela Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Esquemática do processo de soldagem SMAW



Fonte: BALMER (2015, p 13)

O processo de soldagem em questão pode ser realizado por meio de Corrente Contínua (CC), utilizando-se unidades geradoras, transformadoras, retificadoras ou inversoras; ou Corrente Alternada (CA), por meio de transformador para corrente alternada (SILVA, PEREIRA, 2015).

Assim uma melhor compreensão deste processo de soldagem exige o conhecimento do calor, ionização e emissão termoiônica. Sobre estes conceitos Brandi (2004, p. 9-10) esclarece:

O calor é devido à movimentação de cargas elétricas no arco elétrico de um eletrodo permanente; a ocorrência de choques entre essas cargas gera calor. (...)

A ionização ocorre quando um elétron localizado em uma órbita recebe uma quantidade de energia, sendo forçado pela órbita de maior energia. (...)

A emissão termoiônica é um processo de liberação de elétrons de uma superfície aquecida.

De acordo com Vieira e Veiga (2011, p. 6) “o arco elétrico produz calor intenso que funde a ponta do eletrodo e parte da peça tocada por ele, formando a solda”. Gimenes Jr. e Ramalho (sd) ponderam que a solda é protegida por gases  $O_2$  e  $N_2$  responsáveis pela combustão de revestimento, este possui alguns componentes que ao se queimarem formam a escória responsável pela proteção de gotas do metal fundido que são ejetadas durante o processo.

Silva e Pereira (2015) ressaltam que para a eficiência do processo é relevante se levar em consideração o tipo e diâmetro do eletrodo, polaridade, intensidade de soldagem e manuseio do eletrodo. A intensidade da corrente precisa variar conforme tipo e diâmetro do eletrodo a ser utilizado (Tabela 1) correspondendo à medida aproximada deste assim como o comprimento do arco, já a velocidade deve variar de acordo com a intensidade da corrente, dimensão da peça e tipo de cordão desejado (VIEIRA, VEIGA, 2011).

Tabela 1 - Faixa de corrente em função do diâmetro para os principais tipos de eletrodo.

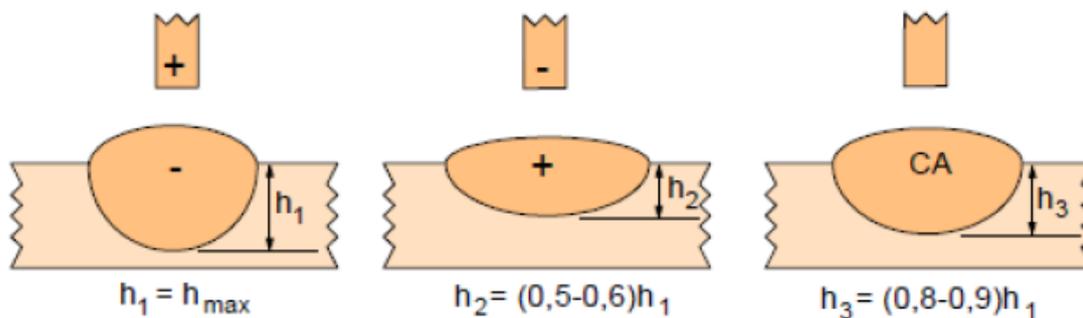
Tipo de eletrodo	Tipo de corrente	Diâmetro (mm)	Faixa de corrente (A)	
			Mínimo	Máximo
E6010	CC (+)	2,5	60	80
		3,25	80	140
		4,0	100	180
		5,0	120	250
E6013	CA ≥ 50 A ou CC (+) ou (-)	2,5	60	100
		3,25	80	150
		4,0	105	205
		5,0	155	300
E7018	CA ≥ 70 A ou CC (+)	2,5	65	105
		3,25	110	150
		4,0	140	195
		5,0	185	270

Fonte: Balmer (2015, p. 4-5).

No tocante a intensidade da corrente Silva e Pereira (2015) acrescentam que a posição da solda também tem influência direta, indicando-se a posição vertical e sobrecabeça para valores menores e a posição plana para valores maiores.

No que diz respeito à polaridade Balmer (2015) afirma ser esta responsável pelo dimensionamento da poça de fusão, estabilidade do arco e modo de transferência de metal de adição (Figura 2).

Figura 2 – Influência da polaridade no processo SMAW



Fonte: BALMER (2015, p. 5)

Com base no conhecimento conceitual apresentado é relevante ressaltar que o processo de soldagem tratado no presente capítulo, assim como qualquer outro apresenta vantagens e desvantagens que devem ser levadas em consideração.

## 2.1 VANTAGENS ENVOLVIDAS NO PROCESSO

Segundo Wainer, Brandi e Mello (2004) a soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido apresenta diversas vantagens, dentre as quais os autores mencionam a grande versatilidade no projeto da junta e posição de soldagem, baixo custo, união com excelente propriedade e não exige grande ajuste da estrutura.

Schio (2013) acrescenta como vantagem do processo a simplicidade, portabilidade, não necessita de fluxos ou gases externos e facilidade para atingir áreas restritas de acesso.

## 2.2 DESVANTAGENS APRESENTADAS PELO PROCESSO

No que diz respeito às desvantagens apresentadas pelo processo estudado neste item é possível citar a necessidade de mão-de-obra habilidosa, a mudança frequente de eletrodos e a necessidade de remoção de escória em soldagens com várias camadas (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004).

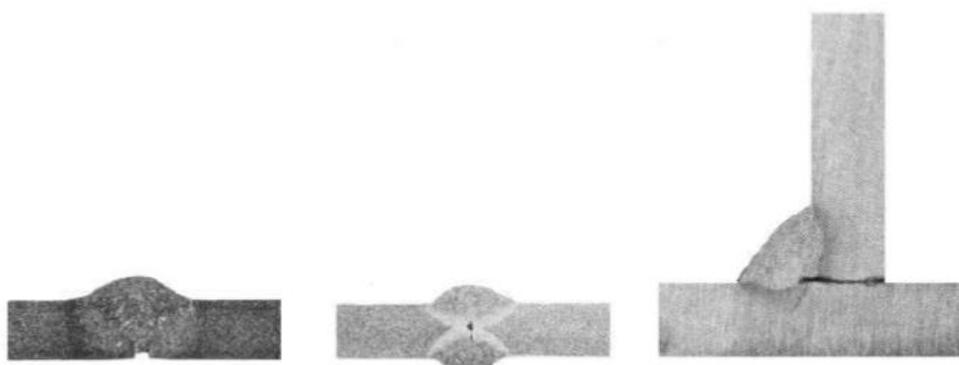
ESAB (2005) acrescenta às desvantagens a baixa taxa de deposição que torna o processo menos eficiente. O processo possui também limitação quanto a materiais reativos e produtividade relativamente baixa (SCHIO, 2013).

### 2.3 DESCONTINUIDADES DO PROCESSO

A boa qualidade da solda realizada neste processo implica na observação de fatores já mencionados como tipo e diâmetro do eletrodo, tensão, polaridade, entre outros. Conjuntamente a estes fatores há também a necessidade da técnica de manipulação adequada, caso contrário pode ocorrer descontinuidades que ocasionam a perda da qualidade e eficiência do produto final.

De acordo com a Escola de Soldagem L&A (2012) os defeitos normalmente encontrados são porosidade, trinca, falta de fusão e mordedura, podendo ainda haver outros tipos como a falta de penetração (Figura 3) que ocorre devido à baixa profundidade da solda na peça, angulação incorreta da tocha e baixa velocidade de soldagem.

Figura 3 - Defeito por falta de penetração



Fonte: ESCOLA DE SOLDAGEM L&A (2012, p. 14)

A falta de fusão pode ocorrer pela baixa velocidade empregada no processo ou pelo uso de uma junta de solda muito larga (Figura 4).

Figura 4 - Defeito por falta de fusão



Fonte: ESCOLA DE SOLDAGEM L&A (2012, p. 15)

A mordedura é formada por sulcos distribuídos do lado do cordão de solda reduzindo assim a espessura da ligação e, por consequência, gerando pontos de ruptura (Figura 5) (GIMENES JR., RAMALHO, sd).

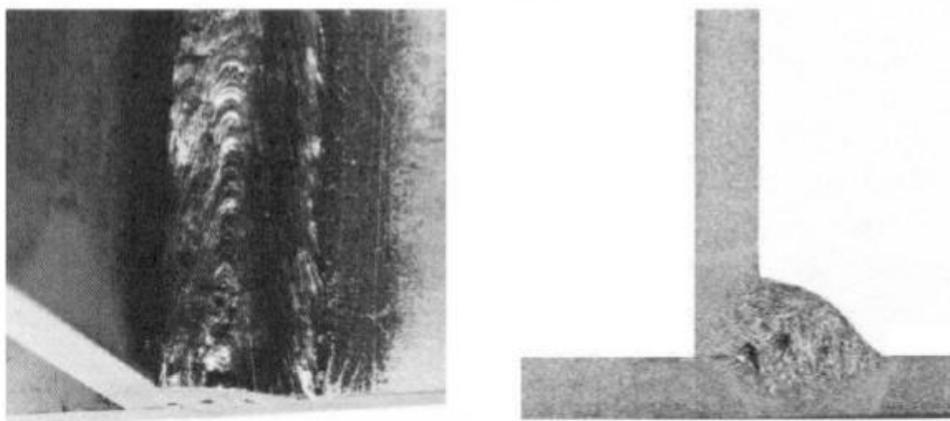
Figura 5 - Exemplo de mordedura



Fonte: ESCOLA DE SOLDAGEM L&A (2012, p. 15)

As porosidades são cavidades esféricas formadas pela falta de material podendo ser causadas por chapa com umidade ou sujeira, metal-base com teores de carbono e/ou silício demasiado, eletrodo úmido, arco muito longo ou intensidade elevada (Figura 6) (GIMENES JR., RAMALHO, sd).

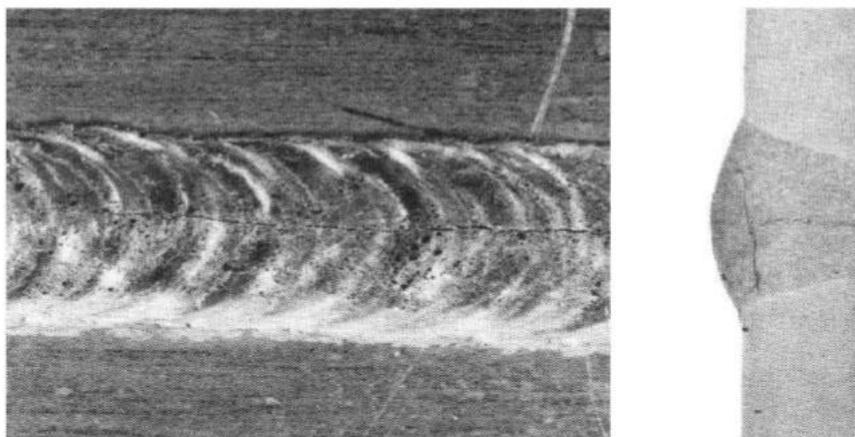
Figura 6 – Exemplo de porosidade na solda.



Fonte: ESCOLA DE SOLDAGEM L&A (2012, p. 16)

Outra patologia observada é a trinca longitudinal sendo esta caracterizada como fissuras ao longo no sentido do cordão de solda podendo ser causada por temperatura elevada resultante da escolha incorreta do arame ou quando a seção transversal é relativamente pequena para a tensão atuante (Figura 7) (ESCOLA DE SOLDAGEM L&A, 2012).

Figura 7 - Trincas longitudinais



Fonte: ESCOLA DE SOLDAGEM L&A (2012, p. 17)

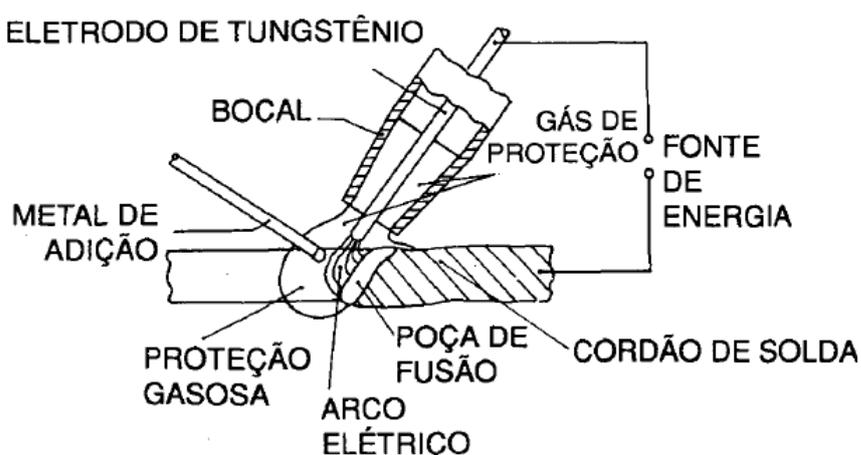
Gimenes Jr. e Ramalho (sd) acrescentam ainda como defeitos no processo SMAW a inclusão da escória, quando esta fica aprisionada entre os cordões de solda; e cordão muito abaulado ou oco, devido a velocidade da soldagem e intensidade da corrente inadequadas.

### 3 SOLDAGEM A TUNGSTEIN INERT GAS (TIG)

Segundo Brandi (2004) o processo TIG é um processo de soldagem que baseia-se, como fonte de calor, em um eletrodo não-consumível de tungstênio e a peça a ser soldada. O autor enfatiza que o referido processo pode usar ou não um metal de adição sendo possível ser realizado manual ou automaticamente. O TIG é um processo de maior aplicação em ligas de alumínio, magnésio, titânio, aços inoxidáveis, entre outros (BRANDI, 2004).

Silva e Pereira (2004) definem como processo de união de peças por meio de arco elétrico com proteção gasosa eletrodo não consumível de tungstênio, responsável pelo aquecimento e fusão das partes úmidas (Figura 8).

Figura 8 – Esquemática do processo de soldagem TIG



Fonte: BRANDI (2004, p. 61)

Schio (2013) pondera que a proteção gasosa do eletrodo e Zona da Solda (ZS) se dá com gás inerte, normalmente o argônio (Ar). Segundo o autor este é o processo de soldagem que pode ser mais controlável com relação à soldagem a arco.

Hubner *et al.* (2012, p. 1) acrescenta:

O processo TIG fornece controle independente da fonte de calor e do metal de adição, resultando em um excelente controle da energia transferida para a peça. Como utiliza gás inerte para a proteção contra a oxidação pela atmosfera, não há formação de escória e tampouco há formação de fumos.

Assim como o processo SMAW o TIG apresenta pontos relevantes para que haja eficiência dos quais citam-se: corrente de soldagem, composição, diâmetro e forma

do eletrodo, composição do gás de proteção, metal de adição (SCHIO, 2013), metal-base, pré-aquecimento, tipo de junta, posição de soldagem, características elétricas e técnicas de soldagem. (BRANDI, 2004).

Os tipos de junta são afetados pelo tipo e espessura do material, que influencia diretamente na transmissão de calor; grau de penetração, que precisa existir ao longo de toda peça; economia do metal de adição, que interfere no volume da junta; posição de soldagem, podendo o ângulo da mesma ajudar ou não no produto final e a distorção, que deve ser controlada pela área da junta (BRANDI, 2004).

Em se tratando dos gases de proteção deve-se levar em conta que estes são direcionados pela tocha para o arco e poça de fusão com intuito de proteger tanto o eletrodo como material de fusão prevenindo contaminações atmosféricas (BRACARENSE, 2000).

Quanto ao metal de adição Bracarense (2000), afirma que deve ser similar ao metal-base, contudo não há necessidade de ser idêntico. No tocante às técnicas de soldagem o referido autor afirma ser necessário se atentar à cada parte do processo cuidando para que não haja incoerência no resultado final.

### 3.1 VANTAGENS ENVOLVIDAS NO PROCESSO

O processo de solda TIG apresenta características específicas que lhe conferem vantagens como a grande versatilidade manual ou automática, o tipo de junta, a posição de soldagem, a possibilidade de soldas com elevada qualidade, sendo adequada para materiais ferrosos e não-ferrosos (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004). Podem ser acrescentadas às vantagens do processo em questão a não existência de respingos; controle de penetração de passes de raiz; utiliza fonte de energia de baixo custo; permite controle independente da fonte de calor e material de adição (BRACARENSE, 2000); mantém uma fonte de calor concentrada, exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem; e permite soldagem em qualquer posição (SCHIO, 2013).

Brandi (2004) afirma que as vantagens do processo de solda TIG estão relacionadas à qualidade das soldas; possibilidade de ser aplicada à maioria dos metais e ligas; possuir poça de fusão calma; tem fonte de calor concentrada reduzindo desse modo a Zona Afetada pelo Calor (ZAC) e distorções; além de ser um processo de fácil aprendizagem.

### 3.2 DESVANTAGENS APRESENTADAS PELO PROCESSO

Assim como o processo de soldagem SMAW a solda TIG também apresenta algumas desvantagens que, segundo Wainer, Brandi e Mello (2004), são: elevado custo ao consumível, necessidade de mão-de-obra habilidosa e a soldagem com várias camadas em solda de topo com espessura acima de 5mm.

Brandi (2004) cita ainda a baixa taxa de deposição, a impossibilidade de ser realizada em locais com corrente de ar, pode ocorrer a inclusão de tungstênio na solda além de emitir radiação violeta intensa.

Podem ser acrescentadas às limitações a dificuldade em manter a proteção em ambientes turbulentos (BRACARENSE, 2000); emissão intensa de radiação ultravioleta; impossibilidade de soldagem em locais com fluxo de ar contínuo; gera pouca produtividade para soldar chapas grossas (SENAI *apud* SILVA, PEREIRA, 2015).

### 3.3 DESCONTINUIDADES DO PROCESSO

A não execução ou observação adequada das etapas necessárias para efetivação da solda por meio do processo TIG podem gerar descontinuidades no processo que se tornaram em patologias no produto final ou não permitirão a conclusão do mesmo.

Dentre as descontinuidades podem ser citadas a contaminação ou porosidade, podendo ser ocasionada por vazamento no sistema de refrigeração ou proteção inadequada do metal de adição, e inclusão de tungstênio se houver contato com o mesmo (BRACARENSE, 2000).

Outra descontinuidade diz respeito à falta de penetração da solda estando está diretamente relacionada à corrente empregada no processo, uma vez que a mesma também pode influenciar diretamente na tensão do arco. A falta de penetração também pode estar relacionada à velocidade do avanço (SILVA, PEREIRA, 2015).

## 4 METODOLOGIA

A metodologia a ser aplicada em um estudo é de grande relevância, pois se trata do modo como a pesquisa será realizada. Desse modo a pesquisa apresentada utilizou-se basicamente de dois métodos: o referencial teórico e o estudo de caso.

O referencial teórico foi construído por meio de pesquisa bibliográfica sendo está realizada a partir de levantamento de referências em teorias já abordadas e publicadas, devendo ser a parte primeira a ser construída em um estudo (GERHARTH, SILVEIRA, 2009).

Já o estudo de caso apresentado trata-se de uma ferramenta para conhecimento aprofundado da teoria aplicando-se a mesma à prática (GERHARDT, SILVEIRA, 2009).

### 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização do estudo apresentado foi utilizado como metal-base 4 chapas retangulares de 50mm de comprimento, 20mm de largura e 12,7mm de espessura (Figura 9).

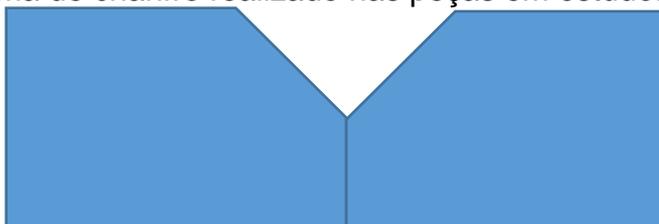
Figura 9 – Exemplo das chapas utilizadas em estudo de caso.



Fonte: Do autor

As chapas foram chanfradas em “V” de 45° como esquematizado na Figura 10 a seguir.

Figura 10 – Esquema de chanfro realizado nas peças em estudo.



Fonte: Do autor

As peças foram divididas em dois pares, sendo cada um submetido a um processo de solda diferente. Para a soldagem pelo processo SMAW foi utilizado o eletrodo revestido E7018. Segundo a AWS A5.1 *apud* ESAB (2005) a composição química do eletrodo utilizado é a representada pela Tabela 2.

Tabela 2 – Composição química do eletrodo revestido E7018.

Classe	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	Mn+Si+Ni+Cr+Mo+V
E7018	≤ 1,60	≤ 0,75	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,30	≤ 0,08	≤ 0,15

Fonte: ESAB (2005, p. 12)

As propriedades mecânicas do eletrodo utilizado são especificadas pela AWS A5.1 como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas do eletrodo E7018.

Classe	Le (MPa)	Lr (MPa)	Al (%)	Ch V média (J)	Ch V indiv. (J)	Temp. °C
E7018	≥ 399	≥ 482	≥ 22	≥ 27	≥ 20	- 29 °C

Fonte: ESAB (2005, p. 12)

Em se tratando das características do eletrodo E7018 a ESAB (2005) afirma que esta é uma versão do eletrodo de baixo hidrogênio (H) com quantidade considerável de pó de ferro ao revestimento viabilizando assim um arco com menos respingo. O segundo par de placas foi submetido à solda TIG utilizando-se eletrodo de tungstênio de 2,5mm de diâmetro e vareta Er 70s-3 com 1,6mm que segundo a AWS A5.18 possui as características mecânicas e químicas como apresentadas nas Tabelas 4 e 5 respectivamente.

Tabela 4 – Características mecânicas do eletrodo ER70S-3.

Classe	Gás de proteção	Ensaio de tração			Ensaio de impacto
		LR Ksi – Mpa	LE Ksi - MPa	A (%)	
ER70S-3	SG-C	70 – 480	58 – 400	22	27J a 22°C

Fonte: Lincoln Eletric (2018, p. 25).

Tabela 5 – Características químicas do eletrodo ER70S-3.

Classe	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
ER70S-3	0,06-0,15	0,9-0,14	0,45-0,75	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,03	0,5

Fonte: Lincoln Eletric (2018, p. 25).

O processo de soldagem foi realizado no laboratório das Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ) com utilização da máquina de soldagem Origo™ TIG 150 Lift Arc da ESAB (Figura 11) que possui tensão de alimentação de 220/230V, frequência de 50/60 Hz e corrente máxima de 36A.

Figura 11 – Fonte utilizada para soldagem



Fonte: ESAB (2006, p. 1).

## 4.2 MÉTODOS DE SOLDAGEM

Para a realização da soldagem foram selecionadas 4 peças com espessura de 12,7mm, largura de 50mm e comprimento de 20mm. Cada peça foi dividida ao meio

e chanfrada em “V” de 45°. Das referidas peças 2 foram soldadas por meio de arco elétrico com eletrodo revestido (Figura 12) e as outras duas com solda TIG.

Figura 12 – Peças soldadas a arco elétrico com eletrodo revestido.



Fonte: Do autor.

Após realização da solda as peças foram lixadas, com utilização de lixadeira metalográfica buscando-se eliminar riscos e marcas da superfície para assim garantir um acabamento à superfície para assim garantir um acabamento à superfície e então passar ao polimento por meio de máquina politriz. O polimento garante às peças uma superfície acabada sem marcas (Figura 13).

Figura 13 – Peças polidas para realização do ensaio.



Fonte: Do autor.

Para a identificação dos contornos do grão, conjuntamente com as microestruturas das peças em estudo, foi aplicado um ataque químico com nital 10%. Segundo Rohde

(2010) este ataque é composto por elementos com ação profunda que permite a visualização de constituintes da microestrutura de um determinado corpo de prova.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

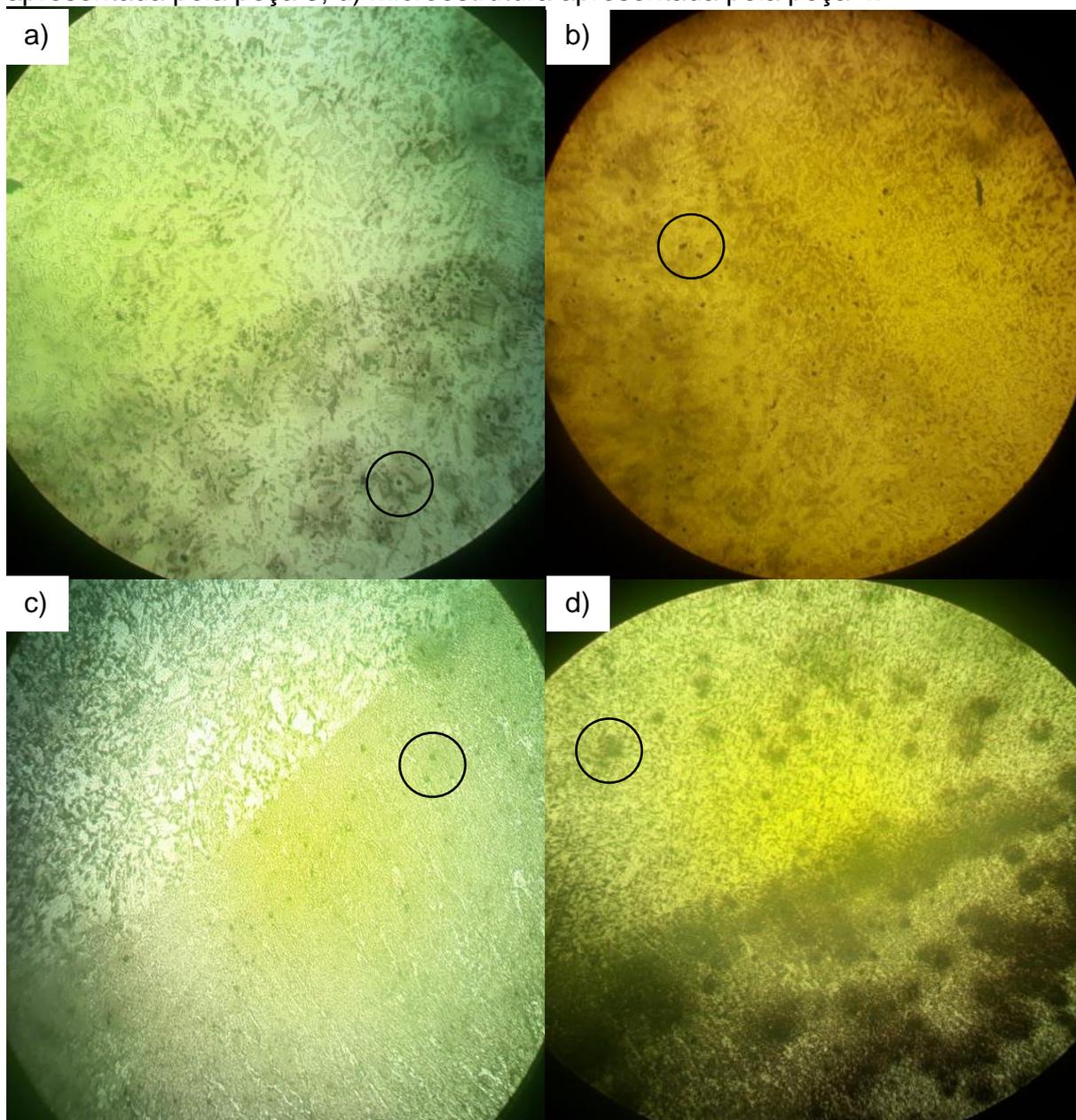
A análise realizada nas amostras evidenciou características predominantes em cada processo desde o momento da execução até a finalização da solda da peça. A soldagem com eletrodo revestido apresentou grande volume de gases e fumos na execução do processo o que, de acordo com Hubner *et al.* (2012), é uma característica normal do processo. Já o processo TIG não apresentou formação de escórias ou fumos o que se deve, segundo Hubner *et al.* (2012), ao uso de gás inerte para proteção contra oxidação.

As Figuras 14 a) e 14 b) apresentam as microestruturas das juntas soldadas por meio do processo SMAW enquanto que as Figuras 14 c) e 14 d) apresentam as microestruturas das juntas soldadas por meio do processo TIG. Em ambos os processos não foram identificadas trincas, contudo, nas peças soldadas pelos dois processos são encontradas inclusões na zona fundida.

As inclusões encontradas nas peças 3 e 4, ilustradas pelas Figuras 14 c) e 14 d), respectivamente são maiores quando comparadas às peças 1 e 2 (Figuras 14 a) e 14 b)). Esta observação pode ser justificada devido ao fato de as últimas peças terem sido soldadas pelo processo TIG, no qual foi utilizado gás de proteção.

Lima Júnior (2013) afirma que o gás de proteção tende a produzir cordão com menor condutividade elétrica produzindo um arco instável. Teske *apud* Lima Júnior (2013) acrescenta que a utilização do gás pode afetar negativamente nas propriedades mecânicas da peça, visto que apresenta alto potencial de oxidação do arco, proporcionando inclusões de óxidos.

Figura 14 – Microestruturas observadas nas peças analisadas: a) microestrutura apresentada pela peça 1; b) microestrutura apresentada pela peça 2; c) microestrutura apresentada pela peça 3; d) microestrutura apresentada pela peça 4.



Fonte: Do autor.

## 6 CONCLUSÃO

A qualidade das juntas soldadas é indispensável para a prevenção de descontinuidades do processo de soldagem e este fato exige um minucioso controle de condições do processo envolvido, evitando deste modo a ocorrência de trincas e propriedades mecânicas incoerentes. Sendo assim para se atingir a referida qualidade é relevante a realização de controle das condições de soldagem.

O estudo apresentado permite perceber que ambos os processos apresentam dificuldades para realização uma vez que no processo TIG a solda em peças grossas é mais difícil e o processo exige uma determinada sincronia para utilização das duas mãos. Há que ressaltar também que a necessidade de fornecimento do metal de adição torna o processo TIG mais complexo.

As dificuldades acima mencionadas são agravantes para a qualidade de solda em ambos os processos, o que pode levar as peças a sofrer patologias como trincas ou inclusões em excesso que acabam por deixar a peça, em alguns casos, mais fraca para suportar a carga que será exigida quando da utilização desta em uma estrutura. Além da análise já realizada a comparação teoria e prática da zona termicamente afetada em soldas realizadas pelo processo SMAW e TIG por meio de amostras metalográficas pode servir como inspiração para estudos futuros.

## REFERÊNCIAS

BALMER. **Apostila de treinamento: eletrodo revestido (SMAW)**. Rio Grande do Sul: Balmer, 2015. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/21835996-Apostila-de-treinamento-eletrodo-revestido-smaw.html>>. Acesso em 10 mar 2019.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Processo de soldagem TIG – GTAW**. Minas Gerais: UFMG, 2000. Disponível em: <<http://asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo40.pdf>>. Acesso em 10 mar 2019.

BRANDI, Sérgio D. **Classificação dos processos de soldagem**. In: WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de (coords.). **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

ESAB. **Apostila de eletrodos revestidos**. São Paulo: 2005. Disponível em: <[https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1\\_apostilaeletrodosrevestidos\\_ok.pdf](https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf)>. Acesso em 10 mar 2019.

\_\_\_\_\_. **Fonte de energia para soldagem TIG e com eletrodos revestidos: manual de instruções**. São Paulo: 2006. Disponível em: <[http://www3.esab.com.br/literatura/pdf/0208009\\_rev5\\_OrigoTig150-200LiftArc\\_pt\\_es.pdf](http://www3.esab.com.br/literatura/pdf/0208009_rev5_OrigoTig150-200LiftArc_pt_es.pdf)>. Acesso em 10 jun 2019.

ESCOLA DE SOLDAGEM L&A. **Centro de formação de soldadores: soldagem por eletrodo revestido**. Salvador, 2012.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIMENES JR., Luiz; RAMALHO, José Pinto. **Soldagem por eletrodo revestido**. Sd. Disponível em: <[http://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/processos\\_solda/soldagem-por-eletrodo-revestido.pdf](http://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/soldagem-por-eletrodo-revestido.pdf)>. Acesso em 10 abr 2019.

GONÇALVES, Andrêssa de Jesus; PEREIRA, Warley Augusto. **Comparação de características técnicas entre fonte de soldagem SMAW inversora e transformadora**. 2016. Disponível em: <<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/andressa%20de%20jesus.pdf>>. Acesso em 10 abr 2019.

HUBNER, Anderson Samuel *et al.* **Processos de soldagem, comparativo entre eletrodo revestido e TIG**. Santa Cruz: Salão de Ensino e de Extensão, UNISC, 2012. Disponível em: <[http://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/salao\\_ensino\\_extensao/article/view/10282](http://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/salao_ensino_extensao/article/view/10282)>. Acesso em 10 abr 2019.

LIMA JÚNIOR, Diniz Ramos de. **Caracterização microestrutural e mecânica de juntas soldadas utilizando os processos GTAW, FCAW e SMAW**. 2013. 81f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013. Disponível em: <[https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/13258/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Biblioteca\\_Diniz%20Ramos%20de%20Lima%20Junior%20pdf.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/13258/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Biblioteca_Diniz%20Ramos%20de%20Lima%20Junior%20pdf.pdf)>. Acesso em 10 mar 2019.

LINCOLN ELETRIC. **Consumíveis de soldagem**. São Paulo: Lincoln Eletric do Brasil, 2018. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/consumiveis-1/4831900/>>. Acesso em 10 mar 2019.

ROHDE, Regis Almir. **Metalografia preparação de amostras: uma abordagem prática**. LEMM, 2010. Disponível em: <<http://www.urisan.tcche.br/~lemm/metalografia.pdf>>. Acesso em 10 jun 2019.

SCHIO, Fernando. **Análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada**. 2013. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). UNIJUÍ, DCEENG. Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1871/TCC.pdf?sequence=1>>. Acesso em 10 jun 2019.

SILVA, Tatyelle Cavalcante; PEREIRA, Warley Augusto. **Comparação das características do cordão de solda entre soldagem TIG e eletrodo revestido em aço inox**. 2015. Disponível em: <<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/Tatyelle%20Cavalcante%20Silva.pdf>>. Acesso em 10 jun 2019.

VIEIRA, Janete Viegas; VEIGA, Faily Cintia Tomsen. **Solda: Eletrodo revestido**. Recife: IFES, 2011. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/51185234-Solda-eletrodo-revestido.html>>. Acesso em 10 mar 2019.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de (coords.). **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.