

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA - DAMEC**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**RAFAEL CORTINAS DE CASTRO COSTA**

**ESTUDO DA SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO UTILIZANDO O AÇO  
308L E A TÉCNICA COLD WIRE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CORNÉLIO PROCÓPIO**  
**2017**

RAFAEL CORTINAS DE CASTRO COSTA

**ESTUDO DA SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO UTILIZANDO O AÇO  
308L E A TÉCNICA COLD WIRE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso e Engenharia Mecânica do Departamento da Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Me Émillyn Ferreira Trevisani Olivio.

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2017



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Cornélio Procópio**  
**Departamento Acadêmico de Mecânica**  
**Curso de Engenharia Mecânica**



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Rafael Cortinas de Castro Costa**

**ESTUDO DA SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO  
UTILIZANDO O AÇO 308L E A TÉCNICA COLD WIRE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 16:00hs do dia 29/11/2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof<sup>a</sup> Me Émillyn Ferreira Trevisani Olivio - Presidente (Orientador)

---

Prof. Me Celso Alves Correa - (Membro)

---

Prof. Dr Paulo Cesar Moselli - (Membro)

\*A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação de curso

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Nilton e Rosalina (*In Memoriam*) por tudo que realizaram e sacrificaram por mim.

Agradeço aos meus familiares que me ajudaram e me apoiaram durante todo o curso.

Agradeço a Prof<sup>a</sup> Me Émillyn Ferreira Trevisani Olivio pela orientação, ajuda e apoio durante a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores e funcionários da instituição que de alguma maneira me ajudaram durante o curso.

## RESUMO

**COSTA, RAFAEL C. C. (2017). ESTUDO DA SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO UTILIZANDO O AÇO 308L E A TÉCNICA COLD WIRE.** 2017. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

Revestimentos de aço carbono com aço inoxidável têm sido largamente utilizados em muitos produtos da indústria química, petroquímica e nuclear. A capacidade de unir dois metais diferentes tanto em propriedades quanto em custo permite a criação de peças que suportem ambientes hostis a um custo menor. A soldagem por eletrodo revestido apresenta uma vantagem pela facilidade de utilização do equipamento, além de possuir ótimos resultados tanto na produção quanto no reparo de equipamentos. Dessa forma o objetivo do trabalho é analisar o resultado dessa soldagem por eletrodo revestido do aço 308L sobre o aço carbono, somado a uma pré-usinagem no corpo de prova com a adição de uma vareta de aço 308L no chanfro com o intuito de aumentar a taxa de deposição do material. As análises da soldagem foram feitas através dos ensaios de líquido penetrante, de microdureza e da análise macroscópica. Através delas foi possível verificar que com as correntes de soldagem de 60A e 80A não houve a fusão completa, apesar de a diluição ter sido baixa. Enquanto que com a corrente de soldagem a 100A houve a fusão total do material, mas em compensação a diluição foi maior.

**Palavras-chave:** Revestimento, Aço 308L, Eletrodo Revestido, Taxa de Deposição.

## ABSTRACT

**COSTA, RAFAEL C. C. (2017). Study of SMAW Process Using Steel 308L and the Cold Wire Technique.** 2017. 35 f. Undergraduate Work – Mechanical Engineering Undergraduate Program, Federal University of Technology – Parana. Cornélio Procópio, 2017.

Carbon steel coatings with stainless steel have been widely used in many chemical, petrochemical and nuclear products. The ability to join two different metals in both properties and cost allows the creation of parts that support hostile environments at a lower cost. SMAW process welding has an advantage due to the ease of use of the equipment, as well as having excellent results both in the production and in the repair of equipment. Thus, the objective of the work is to analyze the result of this welding by electrode coated with 308L steel on carbon steel, added to pre-machining in the test body with addition of an electrode of 308L steel in the bevel in order to increase the deposition rate of the material. The welding analyzes were performed through the penetrating liquid, microhardness and macroscopic analyzes. Through them it was possible to verify that with the welding currents of 60A and 80A there was no complete fusion, although the dilution was low. While with the welding current at 100A there was total melting of the material, but in compensation the dilution was greater.

**Keywords:** Coating. 308L Steel. SMAW Process. Deposition Rate.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil Geométrico do Cordão de Solda.....	17
Figura 2 – Chanfro em V, com ângulo de 45°.....	23
Figura 3 – Equipamento de Soldagem por Eletrodo Revestido.....	25
Figura 4 – Esquema das Medições de Microdureza.....	27
Figura 5 – Amostras após ensaio de líquido penetrante.....	28
Figura 6 – Imagens macroscópicas dos corpos de prova.....	29
Figura 7 – Gráfico das médias das microdurezas nas regiões analisadas.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química do Aço SAE 1020.....	23
Tabela 2 - Composição química da vareta TIG.....	24
Tabela 3 – Composição química do eletrodo revestido.....	24
Tabela 4 - Valores da diluição nos corpos de prova.....	29
Tabela 5 – Valores das microdureza nas regiões analisadas.....	30



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	16
2.1 Soldagem .....	16
2.2 Soldagem Com Eletrodo Revestido.....	17
2.3 Soldagem de Dissimilares .....	19
2.4 Soldagem Utilizando a Técnica Cold Wire .....	20
2.5 Aços Inoxidáveis Austeníticos 308L .....	21
<b>3 MATERIAIS E METODOS</b> .....	23
3.1 Materiais.....	23
3.1.1 Metal de Base .....	23
3.1.2 Metal de Adição.....	24
3.1.3 Procedimento de Soldagem .....	25
3.2 Análises e Ensaios .....	26
3.2.1 Ensaio de Líquido Penetrante .....	26
3.2.2 Análise via Macroscopia Ótica .....	26
3.2.3 Ensaio de Microdureza.....	26
<b>4 RESULTADO DE DISCUSSÕES</b> .....	28
4.1 Ensaio de Liquido Penetrante .....	28
4.2 Análise via Macroscopia Ótica .....	28
4.3 Ensaio de Microdureza.....	29
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	32
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	33

## 1 INTRODUÇÃO

Revestimentos de aço carbono com aço inoxidável têm sido largamente utilizados em muitos produtos da indústria química, petroquímica e nuclear. As aplicações dos revestimentos não somente satisfazem aos diferentes requisitos de variadas condições de serviços, tais como resistência mecânica, resistência à corrosão e propriedades magnéticas, como também resultam em grande economia, na redução de custos de produtos, em substituição da utilização de metais mais nobres e de altos custos (SUN, 1994).

Devido a sua elevada resistência à corrosão, os revestimentos de aço carbono com aço inoxidável são amplamente utilizados em diversos equipamentos industriais. Em muitos casos, estes materiais, por estarem submetidos a severas condições de serviço em ambientes agressivos, sofrem desgastes, necessitando muitas vezes de reparo por solda. Na soldagem de manutenção, muitas vezes utilizam-se eletrodos de aços inoxidáveis em operações de revestimento e em juntas dissimilares (BHADURI, 2001).

Neste trabalho foi usada a soldagem por eletrodo revestido para recobrir a peça de aço carbono 1020 com aço inoxidável 308L. Além disso, foi feito um chanfro na peça com o objetivo de comportar uma vareta de aço inoxidável 308L com o objetivo de aumentar a taxa de deposição do material além de buscar valores de diluição aceitáveis para soldagem de revestimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Soldagem

Soldagem é a operação que visa à união de duas ou mais peças, de forma que na junta exista a continuidade das propriedades químicas e físicas. Para assegurar esta continuidade é necessária a interposição de material adicional, capaz de preencher a folga entre as peças, além de ser indispensável à solubilização do material de adição, ou seja, os materiais devem-se misturar homoganeamente (PHILLIPS, 1965).

Apesar do processo de soldagem estar mais comumente associado a essa definição, ou seja, um processo de união, ele também pode ser usado para revestir uma peça com uma camada de material. Normalmente esse processo é realizado quando se deseja melhorar uma ou mais propriedades de um material de baixo custo, como aços carbono, com a adição de ligas mais nobres, como aços inoxidáveis. Dessa maneira é possível obter características como alta resistência a corrosão, resistência ao desgaste, resistência a altas temperaturas, em materiais menos resistentes sem a necessidade de criação de uma peça totalmente feita com essas ligas mais nobres, o que geraria um custo enorme na produção (MURUGAN e PARMAR, 1997b).

Os revestimentos são geralmente depositados por processos de soldagens a arco elétrico ou gás combustível (PHILLIPS, 1965). Para isso é possível se utilizar de técnicas manuais, semiautomáticas ou automáticas para o processo de soldagem.

A principal diferença entre a soldagem de revestimento e uma solda de união está na geometria do cordão de solda, pois em uma operação convencional deseja-se uma alta penetração (P) do material para garantir uma boa resistência da junta soldada (Figura 2.1.a), enquanto que na soldagem de revestimento o perfil geométrico deve possuir uma grande largura do cordão (W), altos reforços (R), baixa penetração e baixos percentuais de diluição (D) (Figura 2.1.b) (GOMES, 2010).

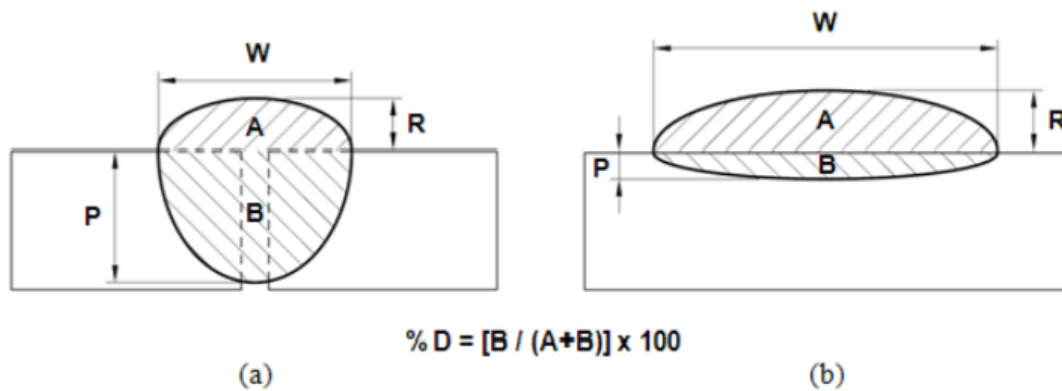


Figura 1 - Perfil Geométrico do Cordão de Solda: a) Perfil de União; b) Perfil de Revestimento (GOMES, 2010).

O perfil de revestimento mostrado é desejado, pois permite cobrir uma área maior com uma quantidade de passes menor, resultando assim em uma economia de tempo e material (KANNAN E MURUGAN, 2006).

Alguns cuidados com relação ao uso do processo de revestimento por soldagem devem ser tomados para evitar problemas como o desenvolvimento de trincas ou distorções a partir das tensões térmicas de soldagem ou também a qualidade da camada de revestimento desejado (ANTUNES, 2008).

## 2.2 Soldagem Com Eletrodo Revestido

A soldagem por eletrodo revestido é definida como um processo de soldagem a arco, aonde a união dos metais é produzida pelo aquecimento proveniente do arco elétrico formado entre o eletrodo revestido e o metal de base (BARBOSA, 2007).

O metal fundido do eletrodo é transferido através do arco até a poça de fusão do metal de base, formando assim o metal depositado. Uma escória, que é formada pelo revestimento presente no eletrodo e pelas impurezas presentes no metal de base, acaba subindo e recobrendo o cordão de solda, protegendo-o de contaminação além de controlar a taxa de resfriamento (MARQUES, 1991).

Um eletrodo revestido é constituído por uma vareta metálica recoberta por uma camada de fluxo. A composição do revestimento do eletrodo determina as

características operacionais do eletrodo além de influenciar a composição química e as propriedades mecânicas da solda (MACHADO, 1996).

Os revestimentos são constituídos de vários produtos que, de uma maneira geral, podem ser separados em três grandes grupos: revestimentos a base mineral, a base orgânica e a base de carbonato de cálcio (MARQUES, 1991).

O revestimento a base mineral proporciona uma proteção ao metal de solda contra os efeitos do oxigênio e do nitrogênio presentes no ar por meio de uma escória líquida. Já os de base orgânica criam a proteção através de uma cortina gasosa formada durante o processo de solda. Os revestimentos a base de carbonato atuam de ambas as maneiras na proteção ao metal de solda (MARQUES, 1991).

O revestimento do eletrodo exerce funções durante a soldagem, dependendo do seu tipo e composição, como por exemplo, isolamento elétrico, que evita aberturas laterais do arco. Outra função é o direcionamento do arco, que forma uma cratera que guia o metal fundido para a poça de fusão devido a fusão tardia do revestimento com a alma. Além disso, ele pode conter elementos de liga que podem melhorar a qualidade do processo, como o silício, que atua como agente desoxidante ou pó de ferro, que proporciona uma maior produção de metal de adição (BARBOSA, 2007).

Os principais parâmetros para a soldagem por eletrodo revestido são: o tipo e o diâmetro do eletrodo; a intensidade da corrente e a velocidade de soldagem. As características do eletrodo (tipo e diâmetro) irão influenciar a corrente ideal para soldagem. A velocidade acaba influenciando principalmente a espessura do cordão de solda. A intensidade da corrente é o principal parâmetro de controle do volume da poça de fusão e da penetração no metal de base, sendo que quanto maior a corrente, maiores serão a largura do cordão e maior será a penetração no metal de base (ZIEDAS, 1997).

### 2.3 Soldagem de Materiais Dissimilares

Metais dissimilares são metais quimicamente diferentes entre eles (alumínio, cobre, níquel ferro) ou ligas metalurgicamente diferentes de um elemento em particular, por exemplo, aço carbono e aço inoxidável. Combinações de metais dissimilares compreendem um ou mais metais de base e um ou mais metais de adição que formam a solda propriamente dita (LIMA, 2010).

As soldas dissimilares são muito difundidas em vários setores das indústrias química, petroquímica e nuclear além de muito importantes para unir por exemplo, tubulações, em aço inoxidável austenítico, vasos de pressão, constituídos em aços de baixa liga(LIMA, 2010).

As aplicações da soldagem de metais dissimilares incluem revestimento para resistência à corrosão e uniões de metais de base que exibem grande diferença de estrutura e propriedades. A busca pela redução e até eliminação de conexões por flanges em dutos petrolíferos que operam em agressivas condições de serviço é um importante fator para o aprimoramento da fabricação de soldas dissimilares (LIMA, 2010).

Aços comuns ao carbono e aços microligados são facilmente soldados com eletrodos de aço inoxidável austenítico e/ou ligas de níquel. Estes metais de adição, conhecidos pelo seu alto teor de elementos de liga, são selecionados para que se produza um depósito capaz de acomodar a diluição do carbono proveniente do metal de base, de forma a evitar uma estrutura sensível à nucleação e propagação de trincas, sendo possível a utilização de qualquer processo de soldagem por fusão (ROSSI; JUNIOR, 2006).

A união entre metais dissimilares é largamente utilizada nos setores de geração de energia, químico, petroquímico, nuclear, aeronáutico e aeroespacial e são adotadas com base em critérios técnicos e econômicos porque necessariamente um produto deve apresentar custo satisfatório para economia das empresas (ROSSI; JUNIOR, 2006).

Ainda que os problemas principais em soldas de materiais dissimilares são a erosão acelerada, devido a corrosão do aço inoxidável, onde a perda em peso de um metal de corrosão durante a erosão é causada por dois fatores, meio corrosivo e erosão galvânica, sempre que dois tipos diferentes de metais estão em contato, existirá corrosão galvânica, pois o metal mais eletronegativo, atua como o ânodo e a

área de contato está envolta por um meio aquoso assegurando a condução iônica (MIRIM, 2011).

Um dos problemas mais críticos encontrados na união de materiais diferentes é o aparecimento de tensões residuais, constatados principalmente porque esses materiais possuem coeficientes de expansão térmica e condutividades térmicas diferentes e obviamente composições químicas diferentes (MIRIM, 2011).

Em uma soldagem entre metais dissimilares a composição química resultante na solda será intermediária entre as composições químicas do metal de base e o metal adicionado. Entretanto, à medida que se altera energia de soldagem utilizada, observa-se também uma alteração na composição química da solda depositada, uma vez que a capacidade de fusão dos metais, de base e de adição, são dependentes da energia empregada no processo (MIRIM, 2011).

#### **2.4 Soldagem Utilizando a Técnica Cold Wire**

Quando se fala sobre soldagem TIG, existem algumas modificações que são incluídas ao processo na busca de melhorias no processo. Uma das modificações que podem ser utilizadas se refere à temperatura do material de adição. A técnica *cold wire* é quando o metal de adição não sofre aquecimento antes da soldagem, ou seja, ele é utilizado à temperatura ambiente (DELGADO, 2000).

Em contrapartida a esta técnica tem-se a *hot wire*, aonde o material de adição sofre um pré-aquecimento antes da sua utilização na soldagem. A maior vantagem desse pré-aquecimento é com relação a taxa de material depositado, ou seja, sua maior influência é na produtividade do processo (DELGADO, 2000).

A técnica *cold wire* também possui vantagens. Para soldagens de revestimentos é importante conservar as propriedades mecânicas e a resistência à corrosão do material de adição. Para que isso ocorra, deve-se buscar uma diluição menor do metal de adição no revestimento, já que uma quantidade muito alta comprometeria a resistência à corrosão, um dos principais motivos de se realizar soldagem de revestimento. Por isso a técnica *cold wire* acaba sendo muito útil para realizar revestimentos, pois como o metal de adição entra frio, ele acaba retirando calor do arco e com isso ele acaba diminuindo o calor recebido pelo metal de base e conseqüentemente diminuindo a diluição, algo desejado em soldagem de revestimento (DELGADO, 2000).

## 2.5 Aços Inoxidáveis Austeníticos 308L

Aço inoxidável é o termo utilizado para identificar um grupo de aços que contém em sua composição 11% ou mais de cromo (PANOSSIAN, 2013). Distribuído de forma homogênea por todo o aço, ao entrar em contato com o oxigênio presente no ar, forma uma fina camada contínua e resistente de óxido sobre a superfície da peça.

Esta camada tem como principal característica sua resistência a ambientes corrosivos, protegendo todo o material. Apesar de ser extremamente fina, ela é muito estável e torna-se muito aderente ao aço inoxidável. Segundo (OLIVEIRA, 2013) o cromo aumenta a resistência à corrosão conforme sua porcentagem na liga aumenta. Outro elemento presente nos aços inoxidáveis é o níquel, que tem como função mudar a estrutura cristalográfica da liga, tornando-a mais dúctil além de tornar o aço não magnético. Tanto o titânio como o nióbio podem ser adicionados a liga para evitar uma combinação do carbono com o cromo, o que resultaria em uma diminuição da resistência à corrosão da liga, além de melhorar a soldabilidade da mesma.

Estes aços não podem ser endurecidos por tratamento térmico, apresentam ótimas condições de estampabilidade e soldabilidade, e são muito susceptíveis ao fenômeno de corrosão sob tensão (PINTO, 2006) (SEDRIKS, 1996) (BOTTON, 2008).

A adição de níquel como elemento de liga, em determinadas quantidades, permite transformar a estrutura ferrítica em austenítica, tendo como consequência uma grande mudança em muitas propriedades (LABANOWSK, 2007).

Os aços inoxidáveis austeníticos formam o maior grupo de aços inoxidáveis em uso, representando cerca de 65 a 70% do total produzido. Eles apresentam uma série de características próprias em relação às outras classes de aços inoxidáveis, de tal forma que a sua soldagem também apresenta aspectos próprios (ANTUNES, 2010).

Os aços inoxidáveis austeníticos são os mais facilmente soldáveis dentre as três principais categorias e são prontamente fabricados por solda a arco. Os processos mais usados são o eletrodo manual, o arco elétrico com proteção gasosa, como, por exemplo, soldagem MIG e soldagem TIG (FERNANDES, 2010).



A soldabilidade dos aços inoxidáveis austeníticos é boa, não apresenta transformação martensítica durante a soldagem e sua boa tenacidade implica em menor susceptibilidade à fissuração pelo hidrogênio. A baixa sensibilidade à formação de porosidade e a zona fundida apresentam propriedades que se aproximam do metal base (ANTUNES, 2010).

### 3 MATERIAIS E METODOS

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Metal de Base

O metal de base utilizado neste trabalho foi o aço de baixo carbono SAE 1020, devido ao fato de ser um material de baixo custo e fácil obtenção. Na Tabela 1 tem-se sua composição química.

COMPONENTE	PORCENTAGEM (%)
C	0,18 - 0,23
Mn	0,30 - 0,60
P(máx)	0,040
S(máx)	0,050

Tabela 1 – Composição Química do Aço SAE 1020.

Fonte: (Catalogo Favorit).

Foram confeccionados três corpos de provas, cujas dimensões são: largura de 63,3 mm, espessura de 12,45 mm e comprimento de 150,0 mm. Foram feitos chanfros em V em cada peça, com um ângulo de 45° e profundidade de 2,0 mm.

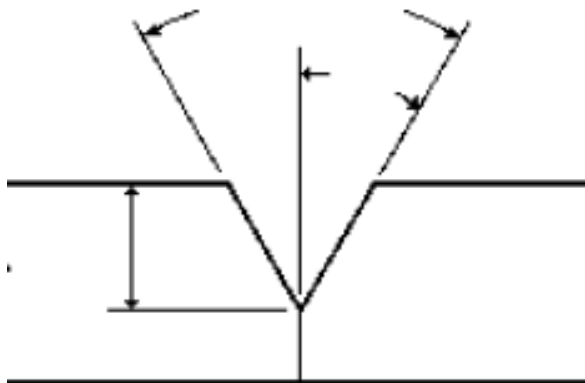


Figura 2 – Chanfro em V, com ângulo de 45°.

Fonte:..

### 3.1.2 Metal de Adição

O metal de adição escolhido foi o aço inoxidável E308L. Ele foi utilizado de duas maneiras. A primeira na forma de uma vareta com diâmetro de 2,0 mm posicionada no chanfro da peça. A segunda foi na forma do eletrodo revestido com diâmetro de 2,4 mm utilizado para realizar a soldagem. As Tabelas 2 e 3 mostram as composições químicas.

COMPONENTE	PORCENTAGEM (%)
C	0,03
Cr	19,60
Ni	9,90
Mn	0,80
Si	0,80

**Tabela 2 – Composição química do Eletrodo Revestido.**

Fonte: (Catalogo ESAB).

COMPONENTE	PORCENTAGEM (%)
C	<0,03
Cr	20,30
Ni	10,00
Mn	1,80
Si	0,50
Mo	<0,30
Cu	<0,30

**Tabela 3 – Composição química da vareta.**

Fonte: (Catalogo ESAB).

### 3.1.3 Procedimento de Soldagem

Para realizar o experimento, primeiramente foi usinado um chanfro em V com ângulo de 45 graus no corpo de prova com profundidade de 2,0 mm, aonde foi colocada uma vareta de aço inoxidável 308L e depois utilizando uma máquina de solda de eletrodo revestido do modelo Bambozzi Piccola 400T (Figura 2), foi realizada a soldagem de forma manual dos corpos de prova com três valores de corrente, 60A, 80A e 100A com o objetivo de verificar a fusão do eletrodo com a vareta e com o material de base nos três casos.



**Figura 3 – Equipamento de Soldagem por Eletrodo Revestido.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

## **3.2 Análises e Ensaio**

Após a realização da soldagem do revestimento nas peças, foram realizadas análises para inspecionar porosidade superficial da solda usando o método de líquido penetrante. Logo após esse processo, as amostras foram cortadas em um tamanho adequado para que pudessem ser embutidas. Em seguida foram lixadas e polidas para ser realizado o ataque químico com Nital 3%. Após isso foram realizados os ensaios de líquido penetrante e microdureza e análise macroscópica,

### **3.2.1 Ensaio de Líquido Penetrante**

O ensaio de Líquido Penetrante tem a finalidade de detectar descontinuidades do material, como porosidades e trincas, na seção transversal e ao longo do cordão de solda. Foi realizado o ensaio de líquido penetrante após a soldagem dos corpos de prova seguindo a norma N-1596.

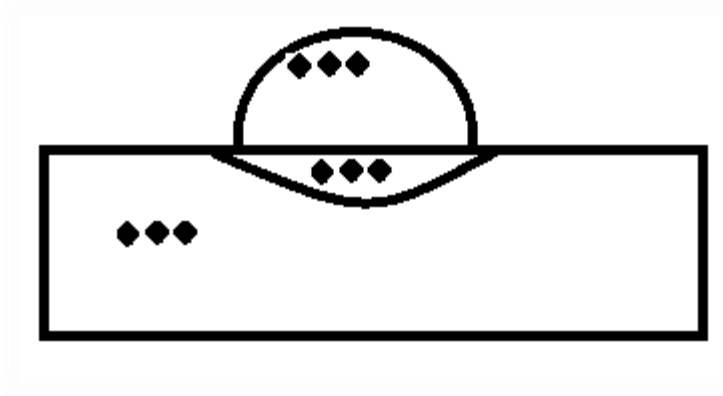
### **3.2.2 Análise via Macroscopia Ótica**

Análise macroscópica do corpo de prova foi feita com o objetivo de verificar a solda de forma superficial, como por exemplo, verificar a homogeneidade do material, a distribuição das falhas, impurezas, profundidade da solda. Através dela também foi possível obter valores aproximados da diluição.

### **3.2.3 Ensaio de Microdureza**

No ensaio de microdureza foram medidas as microdurezas em vários pontos no cordão de solda e no material de base, buscando analisar as diferenças entre o cordão, a ZTA e o metal de base para avaliar as influências nas propriedades mecânicas da peça. Foram realizados edentações. horizontais no cordão de solda,

na ZTA e no metal de base. O equipamento utilizado no processo foi o microdurômetro Vickers do Laboratório de Ensaios da UTFPR.



**Figura 4 – Esquema das Medições de Microdureza.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

## 4 RESULTADO DE DISCUSSÕES

### 4.1 Ensaio de Líquido Penetrante

Após a soldagem da peça, o primeiro ensaio realizado foi o de líquido penetrante. Este ensaio é responsável por verificar se a amostra possui alguma descontinuidade, assim como poros e trincas na superfície do cordão de solda e na seção transversal. A amostra de 60A há indicação 2 pequenos poros no cordão, na amostra com 80A há a presença de 3 pequenos poros e na amostra de 100A não houve nenhuma presença de poros e trincas na superfície do cordão de solda, como mostrada na Figura 3.

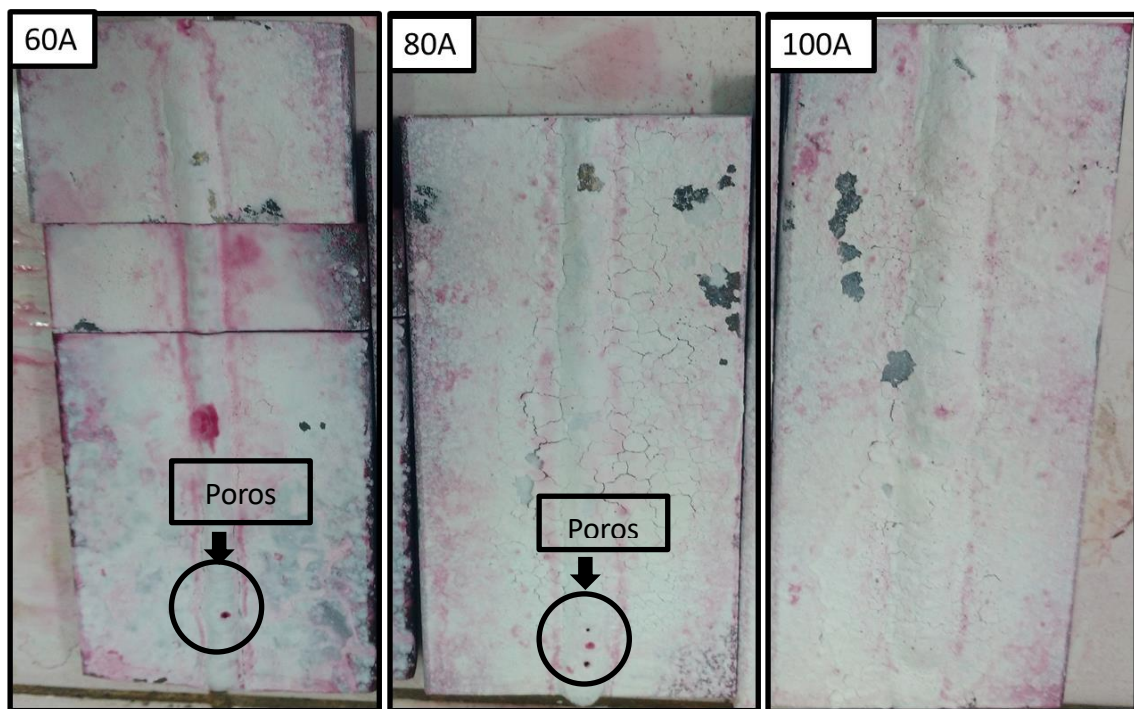


Figura 5 – Amostras após ensaio de líquido penetrante.  
Fonte: Autoria Própria.

### 4.2 Análise via Macroscopia Ótica

Através dessa análise foi possível verificar que nos corpos de prova soldados a 60A e a 80A (Figura 4) não ocorreu à fusão completa entre os eletrodos (eletrodo revestido e a vareta TIG) e o metal de base devido a baixa energia gerada

com esses valores de corrente. No corpo de prova soldado a 100A, é possível observar que ocorreu a fusão total entre os eletrodos e o metal de base.

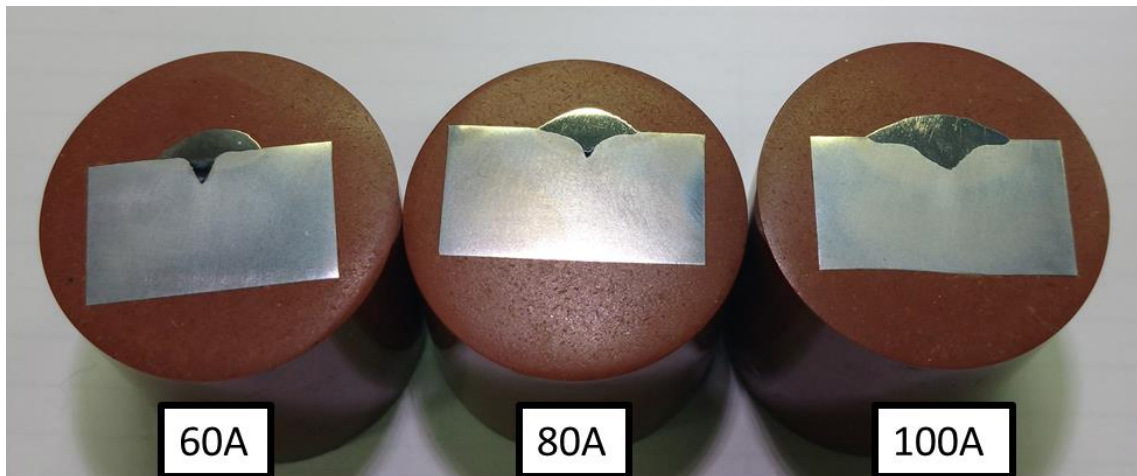


Figura 6 – Imagens macroscópicas dos corpos de prova.  
Fonte: Autoria Própria.

Com a utilização das imagens, juntamente com a utilização do software Solidworks foi possível encontrar valores aproximados da diluição. A Tabela 4 mostra os resultados, considerando a Figura 1, página 17 que mostra o cálculo da diluição. A área do chanfro, que era de 4,82 mm<sup>2</sup>, foi desconsiderada para o cálculo da diluição.

Corpo de Prova	Área do Reforço	Área da Penetração	Área não Fundida	Diluição (%)
Corpo de Prova 1 (60A)	14,84 mm <sup>2</sup>	2,05 mm <sup>2</sup>	3,05 mm <sup>2</sup>	12,13
Corpo de Prova 2 (80A)	13,40 mm <sup>2</sup>	2,99 mm <sup>2</sup>	0,68 mm <sup>2</sup>	18,24
Corpo de Prova 3 (100A)	20,29 mm <sup>2</sup>	11,13 mm <sup>2</sup>	0	35,42

Tabela 4: Valores da diluição nos corpos de prova.  
Fonte: Autoria Própria.

### 4.3 Ensaio de Microdureza

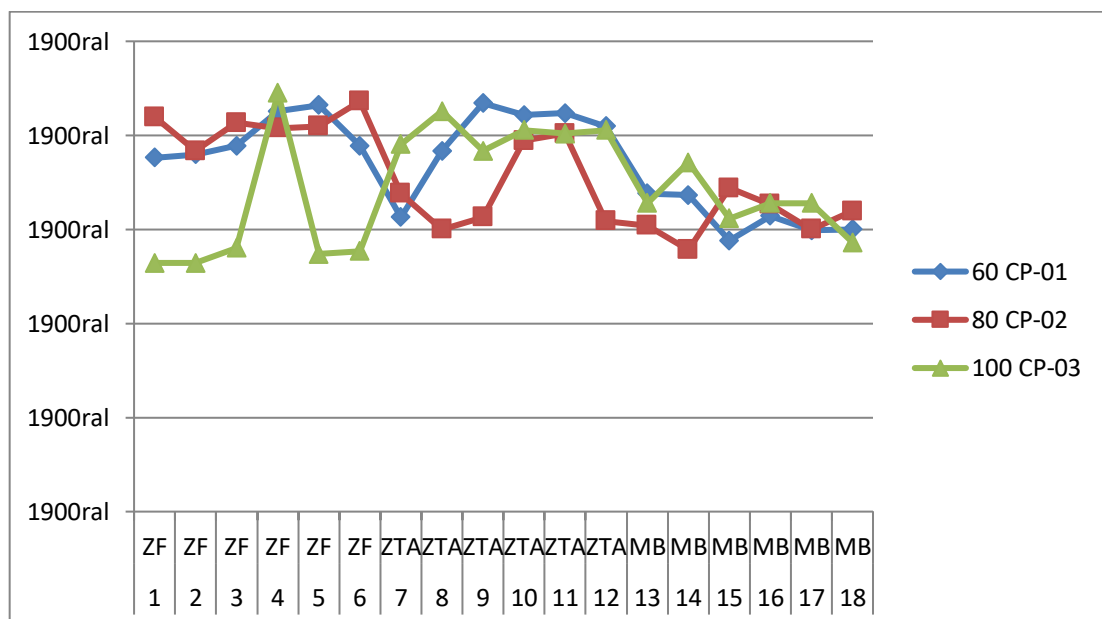
No ensaio de microdureza foram realizados algumas medidas no cordão de solda, na ZTA e no metal de base. O equipamento estava configurado para que



cada endentação fosse 300 gF durante 15 segundos. Após as aplicações, foram feitas médias com todos os valores obtidos em cada região, mostrados na Tabela 5 e na Figura 5.

IM (A)		60	80	100
Medida	Região	CP-01	CP-02	CP-03
1	ZF	188,2	209,8	132,2
2	ZF	189,9	191,7	132,2
3	ZF	194,4	206,7	140,2
4	ZF	212,8	203,8	222,5
5	ZF	216	204,8	136,9
6	ZF	194,4	218,1	138,5
7	ZTA	156,5	169	195,3
8	ZTA	191,7	150,1	212,8
9	ZTA	217,1	156,5	191,7
10	ZTA	210,8	197,1	202,8
11	ZTA	211,8	200,9	200,9
12	ZTA	204,8	154,5	202,8
13	MB	169	152	164
14	MB	168,3	139,1	185,6
15	MB	144,1	172	155,8
16	MB	157,1	163,3	164
17	MB	149,5	150,1	164
18	MB	150,1	159,8	143

**Tabela 5 – Valores das microdurezas nas regiões analisadas.**  
**Fonte : Autoria Própria.**



**Figura 7 – Gráfico das médias das microdurezas nas regiões analisadas.**  
**Fonte : Autoria Própria.**

Nos corpos de prova 1 e 2, as microdurezas estão próximas do previsto na literatura para o consumível 308L, que é de 200 HV (BÖHLER, 2009), enquanto que no corpo de prova 3 está abaixo. Na região da ZTA as microdurezas tiveram valores próximos ao do metal de adição nos casos 1 e 3, enquanto que no caso 2 ele ficou um pouco abaixo. Já na região do metal de base, as microdurezas apresentaram valores um pouco abaixo do esperado que era de 180 HV.

## 5 CONCLUSÃO

Após ensaio de líquido penetrante pode-se verificar cordões de solda sem descontinuidades superficiais. Somente as amostras com 60A e 80A tiveram pequenos poros.

Após ensaio de microdureza pode-se observar que para a amostra de 100A a microdureza no cordão de solda foi muito abaixo das outras, isso pode ter ocorrido pela diluição total do eletrodo com a vareta, na ZTA a microdureza foi próxima a da amostra com 60A devido à diluição dos metais de adição com o metal de base. A amostra de 60A manteve sua microdureza na ZTA e metal de adição, pois foi a amostra com menor diluição. A amostra com 80A obteve a menor microdureza na ZTA e maior microdureza no cordão de solda.

Através dos valores obtidos na análise da diluição e nas figuras obtidas através da macroscopia, é possível dizer que a confecção de um chanfro na peça preenchido com uma vareta antes da soldagem de revestimento com o intuito de aumentar a taxa de deposição de material não se mostra viável, quando objetivo for fazer revestimento, já que a taxa de diluição acabou se mostrando muito alta. Dessa maneira pode-se afirmar que uma modificação muito significativa na peça acaba por não trazer o benefício esperado que era o aumento da taxa de deposição do material ao mesmo tempo aonde manteria a taxa de diluição em níveis aceitáveis para o revestimento.

A vareta adicionada no chanfro mostrou-se uma idéia interessante, mas conforme visto nos corpos de prova soldados a 60A e 80A, não ocorreu à fusão total do eletrodo, vareta e metal de base. Isso se deve a energia necessária para a fusão de dois eletrodos não ter sido atingida. Uma alternativa à vareta sólida seria sua substituição pelo metal de adição no formato de pó, que necessitaria de uma energia menor para fundir-se em correntes baixas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, M. R. **Avaliação da Resistência a Corrosão-Fadiga do Aço API5L X65 Revestido com AISI 308L SI**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, Pós-Graduação Engenharia Mecânica. Porto Alegre, 2008.
- ANTUNES, P. D. **Influência do Metal de Adição na Susceptibilidade à Corrosão Sob Tensão de Juntas Soldadas do Aço Inoxidável Ferrítico aisi 444 em Meios Contendo Cloreto de Magnésio**. Universidade Federal do Itajubá. Itajubá, p. 63. 2010.
- BARBOSA, R. P.; **Tecnologia Mecânica – Metalurgia da soldagem, soldabilidade dos materiais**, UNILESTE, Coronel Fabriciano-MG, 2007.
- BHADURI, A. K., GILL, T. P. S., ALBERT, S. K., SHANMUGAM, K., IYER, D. R.; **Repair welding of cracked steam turbine blades using austenitic and martensitic stainless steel consumables**. Nuclear Engineering and Design. V.206, pp. 249-259, 2001.
- BOEHLER. **Welding consumables for the offshore industry** - Böehler Welding. Edição Atualizada 2009. Disponível em: <[http://www.boehlerwelding.com/german/files/Offshore\\_POR.pdf](http://www.boehlerwelding.com/german/files/Offshore_POR.pdf)>. Acesso em: 12 novembro 2017.
- BOTTON, T. **Estudo Comparativo da Resistência à Corrosão em Meio Ácido**. Dissertação, Sao Paulo - SP, v. Escola Politécnica da, 2008.
- DELGADO, L. C. **Estudo E Desenvolvimento Do Processo TIG Com Alimentação Automática Do Arame**. Dissertação De Mestrado Em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2000.
- FERNANDES, J. C. **Desenvolvimento de um Dispositivo Tipo Carga Constante para Avaliação da Susceptibilidade à Corrosão Sob Tensão de Aço Inoxidável Austenítico**. UNIFEI. Itajubá, p. 30-47. 2010.
- GOMES, J .H. F.; **Análise e otimização da soldagem de revestimento de chapas de aço ABNT 1020 utilização de arame tubular inoxidável austenítico**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.
- KANNAN, T. e MURUGAN, N. **Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality**. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 176, n. 1-3, p. 230-239, 2006.
- LABANOWSK, J. **Stress Corrosion Cracking Susceptibility of Dissimilar stainless steels Welded Joint**. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, v. 20, p. 255-258, January 2007.
- LIMA, L. I. L.; SILVA, G. M.; CHILQUE, A. R. A. et al. **Caracterização microestrutural de soldas dissimilares dos aços ASTM A-508 e AISI 316L**. *Soldagem & Inspeção*, v.15, n.2, p.112120,2010.

Disponível, em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-92242010000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242010000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em 9 Outubro. 2017.

LUCCAS, W. **Arc Surfacing and Cladding Process**. *Welding & Metal Fabrication*. P.55-62. Fevereiro. 1994.

MACHADO, G. I.; **Soldagem & Técnicas conexas: Processos**, Livro, Porto Alegre, 1996.

MARQUES, P. V.; **Tecnologia da Soldagem**, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Belo Horizonte: ESAB, 1991.

MIRIM, D. D. C. **6º Congresso brasileiro de engenharia de fabricação estudo da tensão residual na soldagem laser entre o aço carbono AISI 1010 e o aço inoxidável AISI 304**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Cidade Universitária, p.1–112, 2011.

MURUGAN, N. e PARMAR, R. S. **Stainless steel cladding deposited by automatic gas metal arc welding**. *Welding Journal*, v. 76, p. 391s-403s, 1997.

OLIVEIRA, L. A. **Influência do metal de adição na susceptibilidade à corrosão sob tensão de juntas soldadas dissimilares de aço inoxidável austenítico 316 e aço inoxidável dúplex 2304 de aço inoxidável austenítico 316 e aço inoxidável**. Itajubá: Universidade de Itajubá, 2013.

PANOSSIAN, Z. **Corrosão e Proteção Contra Corrosão em Equipamentos e**. Instituto de Pesquisa Tecnológicas - IPT, São Paulo, n. 1, p. 6, 1993.

PINTO, D. F. **Comportamento em Corrosão Sob Tensão de um Aço Inoxidável**, Ouro Preto - MG, v. Universidade Federal de, n. Dissertação, 2006.

PHILLIPS, A. L. **Welding Handbook: Special Welding Processes and Cutting**. London: American Welding Society, 1965b. 4. Vol. 3.

ROSSI, J. R. B. W. et al. 59º congresso anual da ABM – internacional solda com laser de Nd : **YAG pulsado entre os aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 420**. São Paulo, v. 11, n. 1, 2006. SP, Acesso em: 9 Outubro. 2017.

SEDRIKS, A. J. **Corrosion of stainless steel**. John Wiley Sons Inc, USA, n. 2, p. 47-53, 1996.

SUN, Z.; HAN, H.Y.; **“Weldability and properties of martensitic/austenitic stainless steel joints**, *Mat. Science and Technology*, 10(9):823-829, 1994.  
SUN, Z.; KUO, M.; PAN, D. **Twin-Wire Gás Tungsten Arc Cladding Offers Increased Deposition Rates**. *Welding Journal*. P. 61-64. Outubro. 1999.

ZIEDAS, Selma; TATINI, Ivanisa (Org.) **Soldagem**. São Paulo: SENAI, 1997.

**Composição Química Aço SAE 1020.** Disponível em <<http://www.favorit.com.br/produtos/acos-construcao-mecanica/aco-sae-1020>>. Acesso em 12 Novembro 2017.

**Catalogo de Consumiveis ESAB.** Disponível em <<http://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/catalogo-consumiveis-esab.pdf>>. Acesso em 12 Novembro 2017.