

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA MECÂNICA

MARCUS FELLIPE PINATTO SOARES

**CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO DE 410 NiMo UTILIZANDO PROCESSO
DE ELETRODO REVESTIDO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017

MARCUS FELLIPE PINATTO SOARES

**CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO DE 410 NiMo UTILIZANDO PROCESSO
DE ELETRODO REVESTIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de 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^a Dr^a Émillyn Ferreira Trevisani Olivio.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO DE 410 NIMO UTILIZANDO PROCESSO DE ELETRODO REVESTIDO

POR

MARCUS FELLIPE PINATTO SOARES

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 16:00 hs do dia 14 de Junho de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO MECÂNICO, linha de pesquisa – Processos de Fabricação, no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a. Emillyn Ferreira Trevisani Olivio - Presidente (UTFPR)

Prof. Dr. João Roberto Sartori Moreno
(UTFPR)

Prof. Mr. Celso Alves Correa (UTFPR)

“A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação de Curso.”

Dedico este trabalho a meus pais, meus amigos, minha namorada e meus familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por não ter me deixado em momento algum durante a minha vida e por seu importante papel durante a minha universidade.

Agradeço aos meus pais, Claudio e Sônia, por terem me apoiado em todas as minhas decisões e não terem desistido de mim em momento algum. Com certeza sem eles, nada seria possível nesta trajetória.

Agradeço à minha namorada Isabela por estar sempre presente mesmo estando longe e me apoiado quando eu mais precisei.

Agradeço à minha orientadora Émillyn pelos ensinamentos, tanto nas aulas como na orientação, e pela paciência que teve comigo durante a execução do trabalho.

Agradeço aos meus amigos Felipe Viegas, Estevão Rodrigues e Luiz Henrique Turrini que dividiram uma boa parte do tempo comigo nesta jornada e foram praticamente uma família pra mim no tempo que estive na universidade. Também aos meus amigos Murilo Geraldeli, Leonardo Marçon, Ana Carolina Pitoli, Paola Vieira Adriano Zonatto, Kaio Ribeiro, Junior Pincelli, José Mário e Rodrigo Loureiro pelos bons momentos que passamos juntos.

RESUMO

SOARES, Marcus Fellipe Pinatto. **Caracterização de Revestimento de 410 NiMo Utilizando Processo de Eletrodo Revestido**. 2017. X f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

As pás de turbinas de hidrelétricas geralmente são compostas de aços martensíticos, que se caracterizam pela elevada dureza e resistência. Com o passar do tempo, ocorre desgaste que resultam em poros e trincas necessitando de reparos. Estes reparos são realizados pelo processo de soldagem. O presente trabalho estuda o processo de eletrodo revestido e seus parâmetros para fazer estes reparos. O objetivo é analisar a qualidade da solda onde o material de deposição é o ER 410 NiMo, especial para soldagem de aços martensíticos, em uma amostra retirada de uma pá de turbina hidrelétrica feita de aço martensítico macio CA6NM, analisando através de ensaio de Líquido Penetrante, Microdureza Vickers e Microscopia Ótica o metal de adição, a ZTA e o metal de base.

Palavras-chave: Aços inoxidáveis, Eletrodo Revestido, CA6NM

ABSTRACT

SOARES, Marcus Fellipe Pinatto. **Characterization of the 410 NiMo coating using SMAW process of welding.** 2017. XF. Undergraduate Work – Mechanical Engineering Undergraduate Program, Federal University of Technology – Parana. Cornélio Procópio, 2017.

The turbine blades of hydroelectric plants are generally composed by martensitic steels, which are characterized by high hardness and resistance. Over time, it occurs detrition which results in pores and cracks that need repairs. These repairs are made by welding process. This work studies the SMAW process and its parameters to make these repairs. The objective is to analyze the weld quality where the deposition material is the ER 410 NiMo, which is special for the welding of martensitic steels, on a sample taken from a hydroelectric turbine blade made by soft martensitic iron CA6NM, analyzing by Penetrating liquid assay, Microhardness Vickers and Optical Microscopy the addition metal, the HAZ (Heated-affected zone) and the base metal.

Key-words: Stainless steel, SMAW, CA6NM

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do aço CA6NM no diagrama de Scheaffler.....	18
Figura 2: Soldagem por eletrodo revestido.....	19
Figura 3: Diferentes tipos de polaridade para eletrodo revestido.....	21
Figura 4: Equipamento de soldagem por eletrodo revestido.....	25
Figura 5: Corpo de prova soldado.....	27
Figura 6: Microscopia ótica na amostra.....	30
Figura 7: Imagens das 5 áreas.....	32
Figura 8: Pontos de microdureza no cordão de solda.....	33
Figura 9: Gráfico de Microdureza Vickers (HV0,3).....	34
Figura 10: Gráfico das médias de microdureza (HV0,3).....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química do material CA6NM.....	16
Tabela 2: Propriedades do material ASTM A 743 CA6NM.....	17
Tabela 3: Composição química o material CA6NM.....	23
Tabela 4: Composição do AWS 410NiMo-15.....	24
Tabela 5: Parâmetros de soldagem.....	26
Tabela 6: Médias das porcentagens de porosidade.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo geral.....	12
1.3.2	Objetivos específicos.....	12
1.4	JUSTIFICATIVA.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	AÇOS INOXIDÁVEIS.....	14
2.2	AÇOS INOXIDÁVEIS MARTENSÍTICOS.....	14
2.3	AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO CA6NM.....	16
2.4	SOLDABILIDADE DO AÇO CA6NM.....	17
2.5	PROCESSO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO.....	19
2.5.1	Parâmetros de soldagem.....	20
2.5.1.1	Diâmetro do eletrodo.....	20
2.5.1.2	Polaridade.....	21
2.5.1.3	Intensidade de corrente.....	21
2.5.1.4	Velocidade de soldagem.....	22
2.6	ELETRODO REVESTIDO E410 NiMo.....	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1	MÉTODO DE SOLDAGEM E OBTENÇÃO DO CORPO DE PROVA...	23
3.1.1	Material de base.....	23
3.1.2	Material de adição.....	24
3.2	EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM.....	24
3.2.1	Condições de soldagem.....	25
3.3	ANÁLISES REALIZADAS NO CORPO DE PROVA.....	26
3.3.1	Ensaio de Líquido Penetrante.....	27
3.3.2	Microdureza Vickers.....	28
3.3.3	Microscopia Ótica.....	28
3.3.4	Análise de porosidade.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1	ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE.....	29
4.2	ANÁLISE DE MICROSCOPIA ÓTICA.....	29

4.3	ANÁLISE DE POROSIDADE.....	31
4.4	ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS.....	33
5	CONCLUSÃO.....	36
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, é muito comum encontrar falhas e defeitos de peças e materiais a partir dos desgastes recorrentes nos processos de fabricação o qual estes são submetidos. Com o passar do tempo, várias tecnologias foram encontradas para prolongar o tempo de vida útil destes materiais, um dos métodos mais utilizados é a soldagem.

A soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizado industrialmente. Este método de união, considerada em conjunto com a brasagem, tem importante aplicação desde a indústria microeletrônica até a fabricação de navios e outras estruturas com centenas ou milhares de toneladas de peso. A soldagem é utilizada na fabricação de estruturas simples, como grades e portões, assim como em componentes encontrados em aplicações de elevado grau de responsabilidade (BRACARENSE, 2009).

A soldagem também pode servir como uma boa opção de recuperação de componentes, peças e revestimentos.

Neste trabalho foi utilizada a soldagem por eletrodo revestido como método de revestimento e recuperação do aço inoxidável martensítico CA6NM. O consumível será o eletrodo martensítico ER410NiMo de composição química semelhante ao metal de base.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Depositar por meio do processo de soldagem o ER 410NiMo no metal de base CA6NM seguindo as recomendações do fabricante a fim de avaliar a influência no metal de solda e na zona termicamente afetada (ZTA).

1.1.2 Objetivo Específico

Efetuar uma análise do cordão de solda buscando avaliar as características e propriedades do corpo de prova. Para isso utilizou-se os seguintes ensaios e caracterizações:

Líquido penetrante

Microdureza Vickers

Ensaio de porosidade

Microscopia Ótica

1.2 JUSTIFICATIVAS

O processo de soldagem por eletrodo revestido é muito empregado graças à sua grande versatilidade, ao baixo custo de operação, à simplicidade dos equipamentos necessários e à possibilidade de uso em locais de difícil acesso. (ESAB, 2005)

O processo de eletrodo revestido, apesar da grande variedade de eletrodos devido às suas finalidades, é o mais adequado em relação a custos de reparos de equipamentos e peças.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AÇOS INOXIDÁVEIS

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe), carbono (C) e cromo (Cr) com um mínimo de 10,50% de Cr. Outros elementos metálicos integram estas ligas, mas o Cr é considerado o elemento mais importante porque é o que dá aos aços inoxidáveis uma elevada resistência à corrosão (CARBÓ, 2008).

Os aços inoxidáveis surgiram de estudos realizados em 1912, tanto na Inglaterra como na Alemanha. O aço estudado na Inglaterra era uma liga de Fe-Cr, com cerca de 13% de Cr. Na Alemanha, tratou-se de uma liga que, além de Fe e Cr, continha também níquel (Ni). No primeiro caso, era um aço inoxidável muito próximo ao que hoje chamamos de 420 e, no segundo, outro aço inoxidável bastante parecido com o que hoje conhecemos como 302 (CARBÓ, 2008).

De acordo com Montenesi, os três processos mais utilizados para a soldagem de aços inoxidáveis são SMAW, GTAW e GMAW, embora vários outros sejam também usados. Aços inoxidáveis podem ser considerados como ligeiramente mais difíceis de soldar que aços de baixo carbono, mas as dificuldades variam de forma importante com o tipo de aço. Um aspecto fundamental na soldagem de aços inoxidáveis é a necessidade de limpeza de modo a minimizar contaminações que deteriore a sua resistência à corrosão. Adicionalmente, as diferenças de propriedades físicas entre os aços comuns e os inoxidáveis, implicam em diferenças nos procedimentos de soldagem. As principais diferenças de propriedades são: menor temperatura de fusão, menor condutividade térmica, maior coeficiente de expansão térmica e maior resistência elétrica (MONTENESI, 2001).

Os aços inoxidáveis são classificados em três grupos de acordo com a estrutura metalúrgica: austenítico, ferrítico e martensítico. No presente trabalho, será estudado o aço martensítico.

2.2 AÇOS INOXIDÁVEIS MARTENSÍTICOS

Segundo Montenesi (2001), os aços inoxidáveis martensíticos são, geralmente, ligas de Fe-Cr-C, com teores de cromo entre 11 e 18% e entre 0,1 e 0,5% podendo em alguns casos chegar a 1% e também são capazes de serem austenitizadas a uma temperatura de superfície elevada. Durante o resfriamento, a austenita se transforma em martensita, fase onde o carbono se torna frágil e duro (CARBÓ, 2008).

Esses aços são fabricados e vendidos pela indústria siderúrgica no estado recozido, com estrutura ferrítica, baixa dureza e boa ductibilidade. Somente depois de um tratamento térmico de têmpera, terão uma estrutura martensítica sendo muito duros e pouco dúcteis. Mas nestas condições (temperados) é que serão resistentes à corrosão (CARBÓ, 2008).

Em geral, a resistência a corrosão do aço inoxidável martensítico não é tão boa como para o austenítico ou ferrítico devido ao menos teor de cromo presente e elevado teor de carbono. Essas ligas são selecionadas para aplicações que exijam uma combinação entre alta dureza e resistência a corrosão. O fato de ter baixos teores de cromo e elementos de liga torna esses aços menos caros que outros tipos (BEHENE, 2014).

Cada elemento de liga melhora uma característica no aço martensítico, portanto é necessário tratar um pouco dessas ligas no trabalho presente. Os elementos mais usados são: Cromo, molibdênio, carbono e níquel.

- Cromo

O cromo (Cr) é o elemento químico de número atômico 24 e massa atômica 51,99 u.m.a. situado no grupo 6 da tabela periódica. Possui uma elevada dureza, e também uma elevada resistência à corrosão (OLIVEIRA, 2009). A adição desse elemento é essencial para os aços se tornarem inoxidáveis. Teores acima de 10,5%, em peso são suficientes para gerar uma fina camada de óxido que protege o restante do material. Paradoxalmente, esse filme se forma devido a uma rápida oxidação na superfície, reduzindo a taxa de uma corrosão adicional e tornando-se uma barreira protetora entre o material e o meio corrosivo (BEHENE, 2014).

- Molibdênio

Geralmente utilizado em quantidades de 0 – 3%, ligas de molibdênio experimentam uma diminuição geral na taxa de corrosão e apresentam uma melhor resistência a corrosão localizada em altas temperaturas (BEHENE, 2014). O molibdênio é introduzido como elemento de liga nos aços inoxidáveis precisamente para diminuir a suscetibilidade a corrosão por pite, os quais promovem a corrosão em frestas nos aços inoxidáveis (DI CUNTO, 2005).

- Carbono

A dureza da martensita está diretamente ligada à porcentagem de carbono presente no material, esse elemento deve estar em baixa quantidade para que não haja um aumento no risco de trincas de hidrogênio e a soldabilidade do material não seja prejudicada (BEHENE, 2014).

- Níquel

O níquel é um metal de transição de coloração branco-prateada e um bom condutor de calor e eletricidade (OLIVEIRA, 2009). De acordo com Scuracchio (2009), o níquel aumenta a ductibilidade, soldabilidade, resistência mecânica a quente a resistência à corrosão. O níquel também serve para manter a estrutura desejada, prevenindo o aparecimento de ferrita livre quando altos níveis de Cr são utilizados para melhorar a resistência à corrosão (DI CUNTO, 2005).

No presente trabalho, foi utilizado o aço inoxidável classificado pela ASTM como A743 grau CA6NM.

2.3 AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO CA6NM

O aço inoxidável classe CA6NM foi desenvolvido na década de 1960, na Suíça, e foi introduzido nas fundições brasileiras na década de 1980. A excelente combinação de propriedades como soldabilidade, resistência à tração e ductibilidade fez com que este aço fosse muito utilizado para fabricação de componentes hidráulicos de grande porte, como válvulas, carcaças, turbinas hidroelétricas, bombas, etc. (SCURACCHIO, 2009).

Um dos principais fatores que motivaram o desenvolvimento desse aço foi a necessidade de se diminuir defeitos causados durante a solidificação do material, tais como: segregações, formação de trincas à quente e a frio como também micro-rechupes (ALLENSTEIN, 2007).

O aço CA6NM devido ao baixo teor de carbono e adição de níquel e de molibdênio apresenta um estreitamento no intervalo entre as linhas de líquido e sólido, proporcionando uma redução da ocorrência de defeitos de solidificação (ALLENSTEIN, 2007).

A composição química do aço inoxidável CA6NM é apresentado na Tabela 1:

Tabela 1: Composição química do material CA6NM

COMPONENTES	PESO EM %
C(máx)	0,06
Mn(máx)	1,0
Si(máx)	1,0
Cr	11,5 – 14
Ni	3,5 – 4,5
Mo	0,4 – 1
P(máx)	0,04
Si(máx)	0,03

Fonte: ASTM A 743, 1998

As propriedades mecânicas do material, segundo a norma da ASTM A743 se encontram na Tabela 2:

Tabela 2: Propriedades do material ASTM A 743 CA6NM

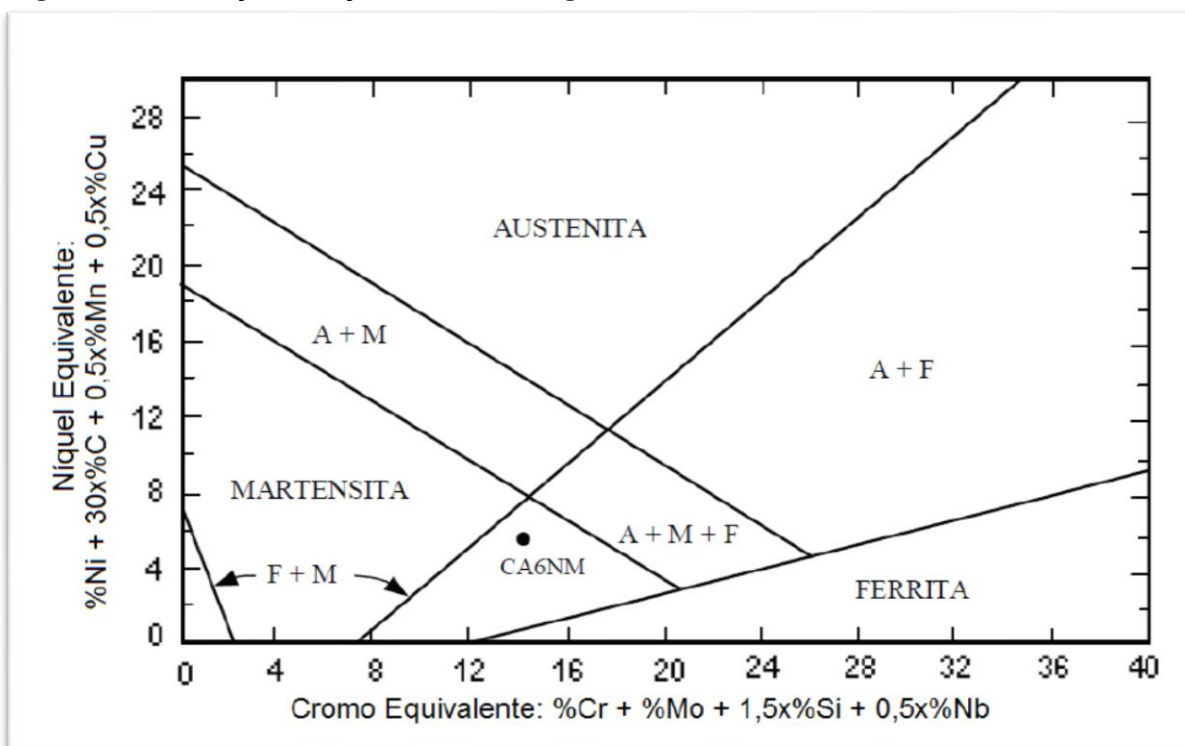
		RESIST. À TRAÇÃO		RESIST. AO ESCOAMENTO	
TIPO		Ksi	Mpa	Ksi	Mpa
CA6NM	12cromo, 4 níquel	110	755	800	550

Fonte: ASTM A 743, 1998.

2.4 SOLDABILIDADE DO AÇO CA6NM

É visto no diagrama de Schaeffler que o aço CA6NM encontra-se próximo à linha de 100% de martensita e devem apresentar baixos teores de ferrita. O diagrama onde identifica a localização do aço encontra-se na Figura 1 (GRACIOSO, 2003).

Figura 1: Localização do aço CA6NM no diagrama de Scheffler.



Fonte: GRACIOSO, 2003

As três principais características que proporcionam a melhor soldabilidade dos aços e metais de adição do tipo inoxidável martensítico macio (CA6NM) são: Baixo teor de carbono (0,018 – 0,05%), que conduz à formação de uma martensita de baixo carbono macia e tenaz, tanto no metal de solda como na ZAC. Baixa quantidade de ferrita delta (1 a 5%) prevenindo o crescimento de grão em altas temperaturas. Presença da austenita residual, que reduz a tendência à trinca provocada pelo hidrogênio (PEREIRA, 2000).

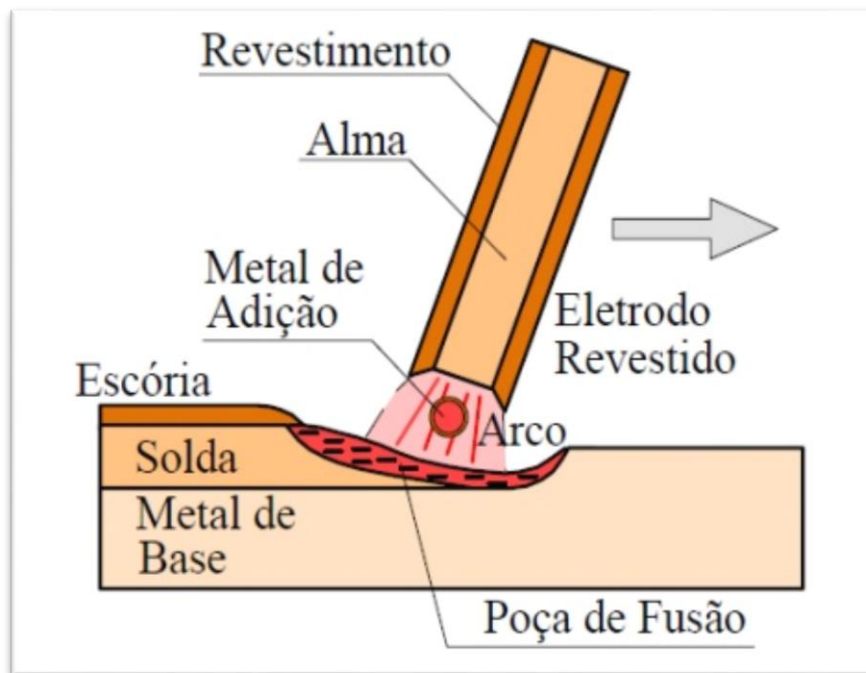
Apesar dos fatores mencionados acima, alguns procedimentos devem ser adotados para que se obtenha uma maior garantia da qualidade durante a soldagem desse aço. Como exemplos de procedimentos, tem-se: Podem ser soldados com processos ao arco voltaico, utilizando os parâmetros adequados. Se o metal de adição for superior a 5ml/100g, trincas à frio poderão ocorrer na zona fundida. Para redução na dureza e obtenção de valores altos de tenacidade e resistência à fadiga, faz-se necessário a execução de tratamento térmico posterior à soldagem como revenido (PEREIRA, 2000).

2.5 PROCESSO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO

No processo de soldagem por eletrodo revestido, o arco elétrico ocorre entre um eletrodo revestido consumível e a peça, sendo assim estabelecida a poça de fusão (MACHADO, 1996).

O eletrodo é formado pelo arame, o qual é revestido concêntricamente com uma massa composta de diversos minerais e produtos químicos. Os gases e a escória provenientes da decomposição deste revestimento, protegem da atmosfera o metal fundido e, além disso, são os principais responsáveis pelas reações pirometalúrgicas que ocorrem sob uma temperatura maior do que 6000K (MACHADO, 1996). A Figura 2 mostra o esquema da soldagem por eletrodo revestido.

Figura 2: Soldagem por eletrodo revestido



Fonte: ÁQUILA, 2012

Utiliza-se a soldagem com eletrodos revestidos na montagem de vários equipamentos e estruturas, tanto em oficinas quanto no campo e até mesmo debaixo

d'água, para materiais de espessuras entre 1,5mm a 30mm e em qualquer posição. Os materiais soldados por esse processo também são variados, como aço-carbono, aços de baixa, média e alta liga, aços inoxidáveis, ferros fundidos, alumínio, cobre, níquel e ligas desses materiais (ZIEDAS, 1997).

As aplicações industriais do processo com eletrodo revestido são muitas, inclusive na manutenção e em operações de emergência, como corte e furação, dada sua grande versatilidade e simplicidade (ZIEDAS, 1997).

O eletrodo revestido é um condutor metálico que permite a passagem de uma corrente elétrica. É constituído por um núcleo metálico chamado de alma, envolvido por um revestimento composto de matérias orgânicas e/ou minerais, com dosagens bem definidas (ZIEDAS, 1997).

O material de que é feita a alma independente do material a ser soldado. Pode ser da mesma natureza do metal de base ou não, uma vez que há a possibilidade de utilizar revestimentos que complementem a composição química da alma. Os revestimentos são muito mais complexos em sua composição química, pois têm diversas funções que são conseguidas pela mistura dos diversos elementos adicionados (ZIEDAS, 1997).

2.5.1 Parâmetros de soldagem

Os parâmetros que se devem considerar na soldagem com eletrodos revestidos são o tipo e diâmetro do eletrodo, a polaridade, a intensidade de corrente, o comprimento do arco e a velocidade de soldagem (ZIEDAS, 1997).

2.5.1.1 Diâmetro do eletrodo

O diâmetro do eletrodo, o tipo e a espessura do revestimento indicam a faixa de corrente ideal para sua utilização. Deste modo, a seleção do eletrodo deve levar em consideração a espessura do metal a ser soldado, a posição de soldagem e o tipo de junta empregado (ZIEDAS, 1997).

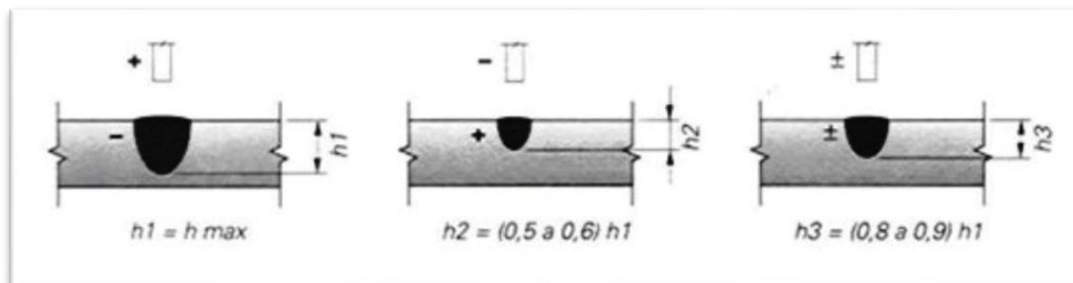
A soldagem nas posições horizontal, vertical ascendente e sobrecabeça exige eletrodos de diâmetro pequeno em razão da dificuldade em controlar a poça de fusão (ZIEDAS, 1997).

2.5.1.2 Polaridade

A polaridade influencia a forma e a dimensão da poça de fusão, além de afetar o tipo de transferência e a estabilidade do arco elétrico. A polaridade inversa (representada por "+") produz maior penetração, enquanto que a polaridade direta (-) permite maior penetração, com taxa de fusão maior. Com corrente alternada (\pm), a penetração e a taxa de fusão são médias, mas existe a vantagem de poder utilizar eletrodos maiores e correntes mais elevadas (SENAI, 1997).

Os diferentes tipos de polaridade são representados na Figura 3.

Figura 3: Diferentes tipos de polaridade para eletrodo revestido



Fonte: ZIEDAS, 1997

2.5.1.3 Intensidade de corrente

Correntes que ultrapassam as faixas recomendadas pelo fabricante podem danificar o revestimento e ocasionar a perda de resistência mecânica da junta, além de permitir a formação de respingos (ZIEDAS, 1997).

A corrente de soldagem é o principal fator no controle do volume de poça de fusão e da penetração no metal de base; deste modo, o volume e a largura da poça de

fusão, bem como a penetração, tendem a aumentar quando o valor da corrente aumenta (ZIEDAS, 1997).

2.5.1.4 Velocidade de soldagem

A velocidade de soldagem deve ser tal que permita ao arco ficar ligeiramente à frente da poça de fusão. Se a velocidade for muito alta, o cordão produzido será estreito e de aspecto insatisfatório, enquanto que se a velocidade for baixa, torna-se difícil controlar a poça de fusão, resultando em um cordão largo, com mordeduras e escória dificilmente removível, além de excesso de penetração (ZIEDAS, 1997).

2.6 ELETRODO REVESTIDO E410 NiMo

O eletrodo revestido que foi utilizado neste trabalho é o E410 NiMo, oferecidos pela fabricante Kestra.

Este eletrodo é um eletrodo básico ligado na alma para soldagem de aços martensítico-ferríticos laminados, forjados e fundidos de composição similar resistentes à corrosão. Ele é aplicado na construção de turbinas de hidroelétricas, vedações, assim como na construção de caldeiras pois é muito resistente à ação da água, vapor e atmosfera marítima (KESTRA, 2017).

Como procedimento básico de aplicação, têm utilizar corrente contínua em polaridade positiva. Pode ser usado em todas as posições de soldagem, exceto vertical-descendente. Para paredes espessas, precisa de um preaquecimento de 100 – 160°C e um tratamento pós-soldagem de 580 – 620°C (KESTRA, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar o experimento, primeiramente foi feita a soldagem do corpo de prova, onde foi depositado somente um cordão de solda. Após esse processo, foi realizado uma análise para inspecionar porosidade superficial da solda usando o método de líquido penetrante. Logo após esse processo, a amostra foi cortada e feita a preparação metalográfica para eventuais análises e ensaios.

3.1 MÉTODO DE SOLDAGEM E OBTENÇÃO DO CORPO DE PROVA

3.1.1 Material de base

O metal de base escolhido para o presente trabalho foi o aço inoxidável martensítico macio classificado como ASTM 743 grau CA6NM. O material utilizado foi o mesmo feito por BEHENE, 2014 e a composição química é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição química o material CA6NM

COMPONENTES	PESO EM %
C	0,02
Si	0,38
Mn	0,66
Cr	11,9
Ni	4,5
Mo	0,4
S	0,001

Fonte: BEHENE, 2014

3.1.2 Material de adição

O material de adição utilizado foi o eletrodo revestido AWS E40NiMo-15 de 2,5 mm de diâmetro e soldagem manual no laboratório de soldagem da UTFPR. A composição química deste eletrodo é consideravelmente similar ao CA6NM. Sua composição é demonstrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição do AWS 410NiMo-15

COMPONENTE	PORCENTAGEM (%)
C	<0,04
Cr	12,5
Ni	4,5
Mo	0,5
Mn	0,6
Si	0,3

Fonte – KESTRA, 2004

3.2 EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM

A bancada utilizada no processo constitui-se de uma máquina de soldagem por eletrodo revestido Bambozzi Piccola 400T como mostrado na Figura 4. O equipamento tem uma tensão que varia entre 220 e 440V. A corrente varia entre 40 a 80A. A máquina deve ser aterrada com um fio e deve ter um bom contato com a caixa metálica do equipamento.

Figura 4: Equipamento de soldagem por eletrodo revestido



Fonte: Autoria própria

3.2.1 Condições de soldagem

Antes de iniciar a soldagem, foi realizado um pré aquecimento no metal de base de 150°C. Os parâmetros de soldagem utilizados estão representados na Tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros de soldagem

Parâmetros	Valores
Velocidades de soldagem	Manual
Corrente	70 A
Pré aquecimento	150°C
Pós aquecimento	600°C por 1 hora
Resfriamento	Temperatura ambiente
Diâmetro do eletrodo	2,5 mm

Fonte: Aatoria Propria

3.3 ANÁLISES REALIZADAS NO CORPO DE PROVA

Depois de ter feito o revestimento no corpo de prova, foi preciso fazer a preparação metalográfica do mesmo para realizar as análises e os ensaios mecânicos.

O material soldado foi levado para o corte à disco para se retirar uma parte do corpo de prova suficiente para fazer o experimento. A Figura 5 representa o corpo de prova soldado e cortado.

Figura 5: Corpo de prova soldado e cortado



Fonte: Aatoria própria

De acordo com a Figura 5, as dimensões finais do corpo de prova foram 18,1x12,8x9,0 mm.

3.3.1 Ensaio de Líquido Penetrante

O ensaio visual 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.

3.3.2 Microdureza Vickers

Na etapa de Microdureza Vickers, 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 três passes verticais de medidas com um espaçamento entre elas de 0,13 mm, este valor é obtido devido a 2,5 vezes o tamanho o primeiro diâmetro obtido, seguindo a norma NBR-6672. Horizontalmente, a distância foi a mesma. O equipamento utilizado no processo foi o microdurômetro Vickers do Laboratório de Ensaios da UTFPR.

3.3.3 Microscopia Ótica

A microscopia ótica foi realizada afim de obter imagens da estrutura microestrutural do cordão de solda, do material de base e da ZTA, afim de obter as diferenças entre elas, para revelação da microestrutura foi utilizados ataque químico Vilela. As imagens para análise foram coletadas através do microscópio ótico Olympus BX51, do Laboratório de Materiais e Superfícies (LAMATS) da UFPR.

3.3.4 Análise de porosidade

Para quantificar a porosidade do revestimento, foi utilizado o software Analysis 5.1, instalado junto ao software do microscópio ótico Olympus BX51, do Laboratório de Materiais e Superfícies (LAMATS) da UFPR. Através da imagem capturada pelo microscópio, determina-se uma área onde, por variação de cores, é determinada a porcentagem de poros.

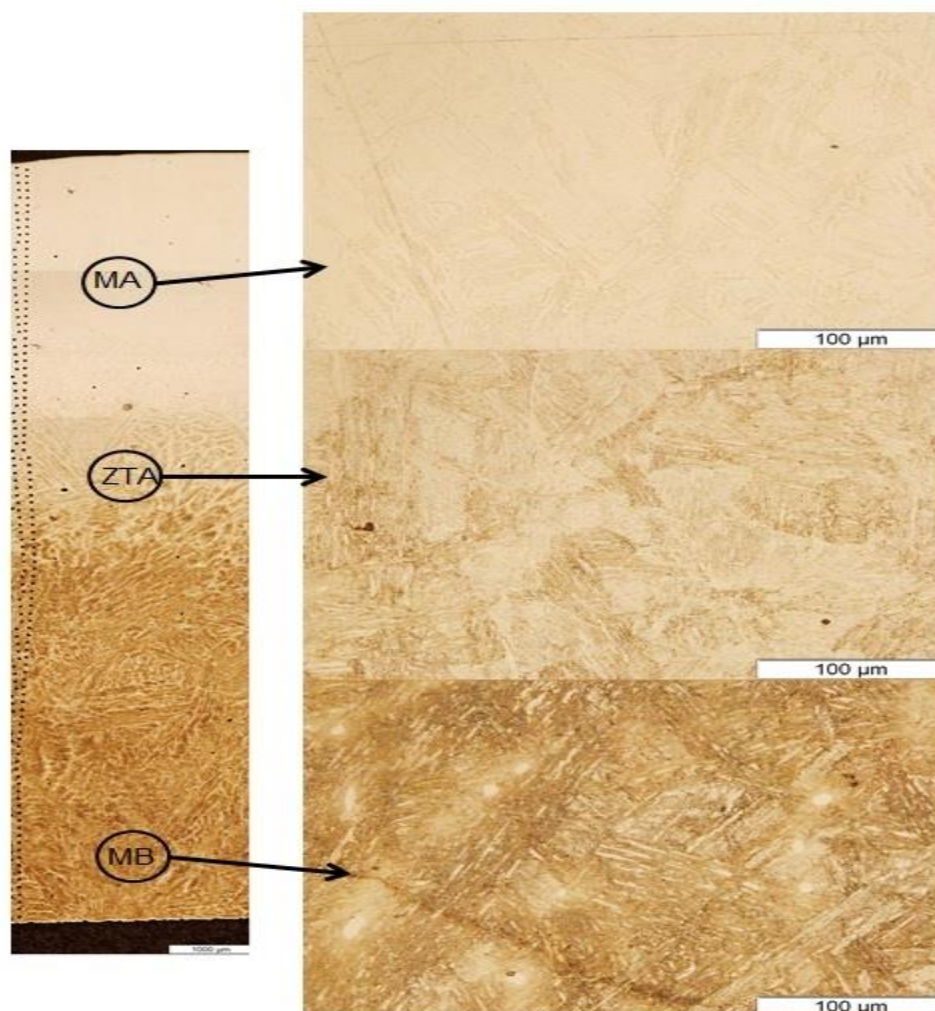
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

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. Na amostra em questão, não houve nenhuma presença de poros e trincas na superfície do cordão de solda, facilitando a experiência.

4.2 Análise via Microscopia Ótica

Após os processos de lixamento e polimento, a amostra foi quimicamente atacada com Vilela para uma melhor visualização da microestrutura. A imagem realizada com o microscópio ótico é mostrada na Figura 6.

Figura 6: Microscopia ótica na amostra

Fonte: Autoria própria

Na imagem pode-se observar que a ZTA é pequena, o que não era esperado da soldagem por eletrodo revestido, onde se vê uma boa parte de martensita e martensita revenida. O cordão de solda está livre de defeitos, trincas ou poros, facilitando a visualização da imagem.

A temperatura do processo de soldagem e o tratamento pós soldagem promoveram um tratamento de revenimento no corpo de prova, fazendo um refino da microestrutura, do cordão de solda e na ZTA em relação ao metal de base. Verifica-se uma microestrutura martensítica e austenítica, comprovadas pela literatura de Behene (2014) e Olivio (2016).

Há também martensita revenida, como mostrada na imagem e está de acordo com a literatura de Fernandes (2010). Segundo o autor o revenimento da martensita aumenta sensivelmente a tenacidade e ductilidade e, em alguns casos, sem redução substancial da resistência mecânica. A elevada dureza e resistência da martensita revenida está diretamente ligada com a alta relação de área entre os contornos de cementita e da matriz (OLIVIO, 2016).

4.3 Análise de porosidade

Foram efetuadas medições de 5 áreas na amostra (Figura 7) e tomada a média dos resultados, a Tabela 6 mostra o resultado.

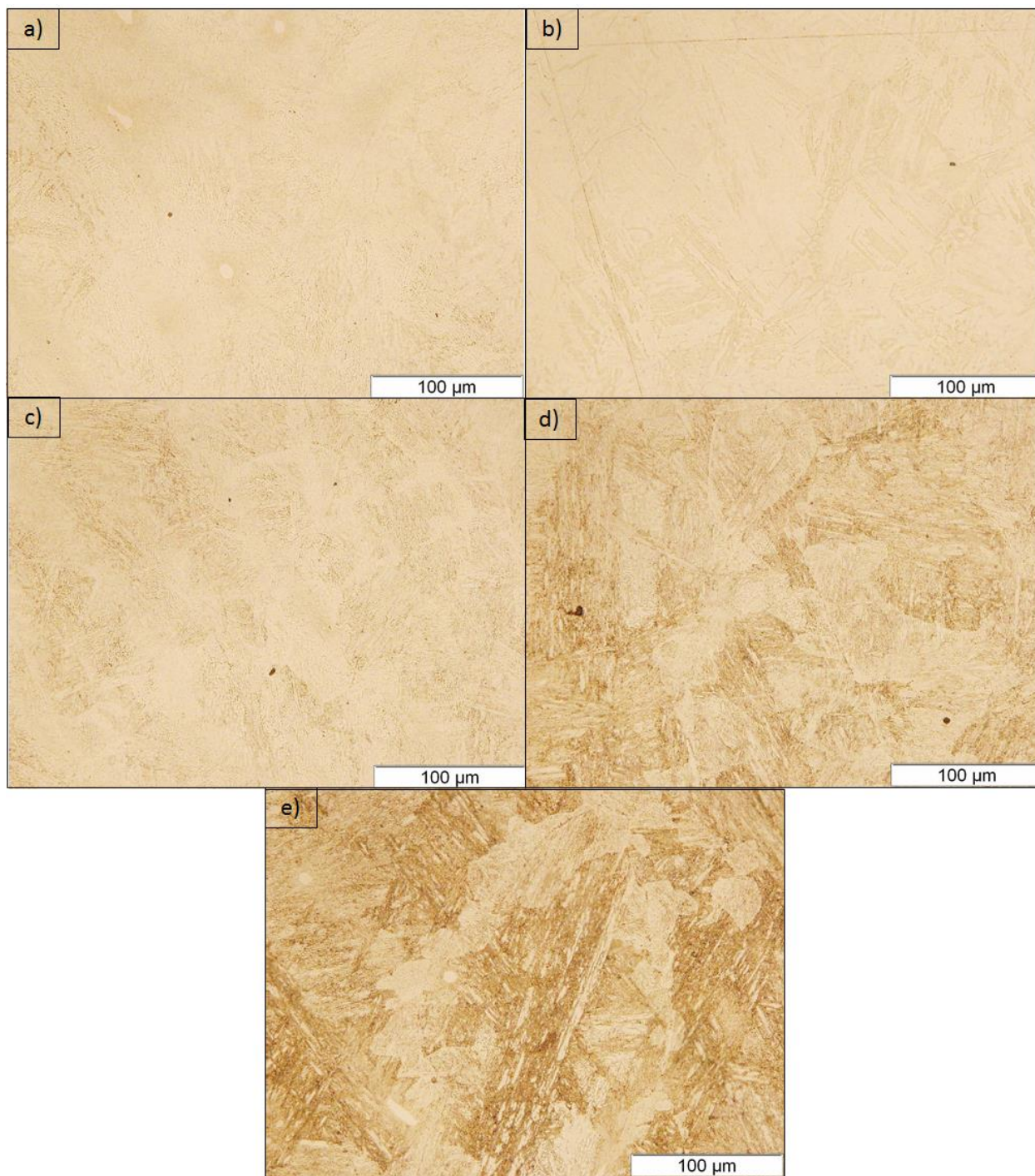
Tabela 6: Médias das porcentagens de porosidade

Amostra	Média da Porosidade
CP_	0,9%

Fonte: Autoria Própria

Analisando a Tabela 6, nota-se que média dos valores de porosidade do revestimentos são baixos e menores que a literatura de Olivio (2016).

Figura 7: Imagens das 5 áreas. a) metal de adição, b) metal de adição, c) metal de adição, d) ZTA, e) ZTA.



Fonte: Autoria Própria

Observando a Figura 7 comprova-se a baixa presença de poros no revestimento e na ZTA.

4.4 Ensaio de Microdureza Vickers

No ensaio de Microdureza Vickers, foram realizados três passes verticais sobre a amostra, com uma distância de aproximadamente 0,13 mm de distância com uma aplicação de 300 gF por 15 segundos. A Figura 8 mostra uma imagem tirada com aproximação de 5 vezes no microscópio ótico que mostra os pontos medidos no cordão de solda.

Figura 8: Pontos de microdureza no cordão de solda.



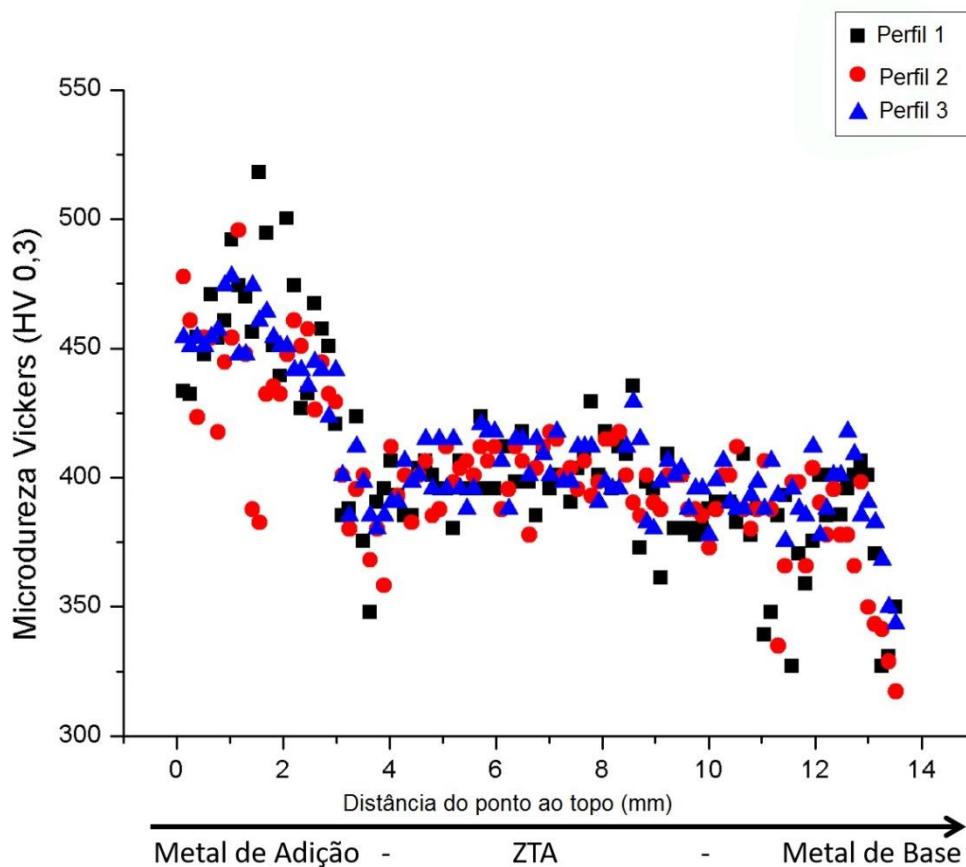
Fonte: Autoria Própria

O total de pontos por passe foi de aproximadamente 100, totalizando aproximadamente 300 pontos de medição.

Os valores das durezas obtidos são mostrados na Figura 9 a partir de um gráfico, obtido com o software Origin, onde foi informado os valores de microdureza em

função da distância do topo da amostra, dando valores do cordão de solda, ZTA e metal de base.

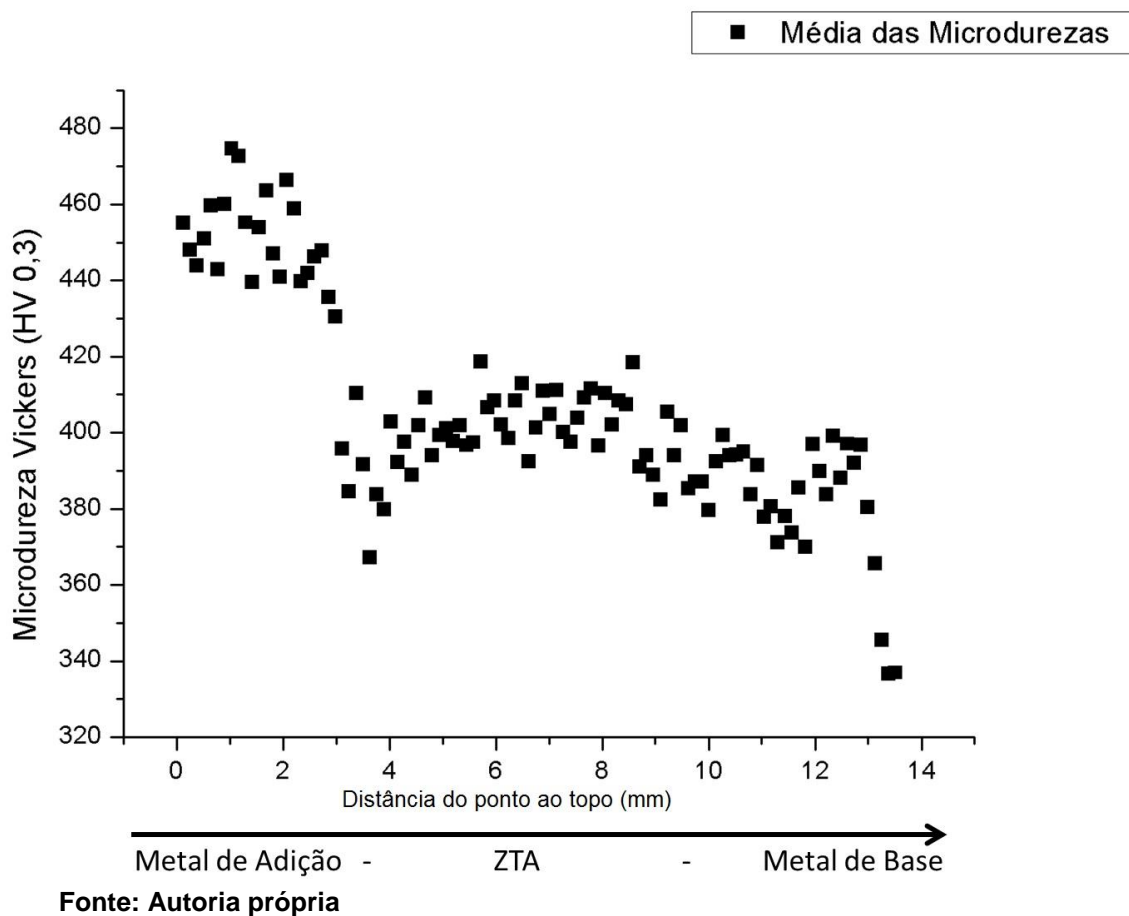
Figura 9: Gráfico de Microdureza Vickers (HV0,3).



Fonte: Autoria própria

Para melhor visualização, foi calculado a média das microdurezas nos três passes na mesma distância do topo utilizando o programa Excel e com os resultados, foi obtido um novo gráfico com as médias. A Figura 10 mostra o gráfico obtido com as médias.

Figura 10: Gráfico das médias das microdurezas (HV0,3)



A partir do gráfico das médias, pode-se observar mais facilmente a diferença de microdurezas nos três perfis analisados na amostra. O metal de adição possui uma média de dureza de aproximadamente 460 HV. Na região da ZTA teve uma média de 400 HV, não tendo uma diferença brusca do metal de adição. Já o metal de base, teve uma média de aproximadamente 380 HV, o que é característico do metal de base CA6NM. Os valores de microdureza estão de acordo com a literatura de Behene (2014) e Olivio (2016), onde no material de adição a dureza tem uma média de 420 HV, a ZTA tem um valor de 380 HV e o metal de base possui um valor de 370 HV.

5 CONCLUSÃO

O primeiro ensaio realizado com líquido penetrante, pode-se dizer que a amostra não apresentou qualquer tipo de descontinuidade, facilitando assim a nossas próximas análises. Isso quer dizer que a fase de acabamento foi bem feita, não deixando poros e trincas na superfície.

No ensaio de microdureza vickers, houve uma diminuição de dureza na ZTA comparada com o metal de adição, e um aumento comparado com o metal de base. Porém, as diferenças não são muito consideráveis, visto que o metal de adição do eletrodo de 410 NiMo é bastante semelhante com o metal de base de CA6NM. Essa conclusão foi tirada devido ao desvio padrão que teve um valor relativamente baixo.

Na análise de microscopia ótica, pode-se ver a diferença da microestrutura claramente entre o metal de adição, ZTA e metal de base. Isto foi possível devido ao ataque químico realizado anteriormente. Na ZTA foi possível notar-se a presença de martensita e martensita revenida.

Conclui-se neste trabalho que foi possível depositar o eletrodo revestido 410 NiMo no metal de base de CA6NM sem que tenha mudança nas propriedades mecânicas, segundo a análise de microdureza.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar outros tipos de ensaio, assim como ensaio de tração para medir sua resistência.
- Utilizar outro processo de soldagem para aços martensíticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUILA, Victor. **Processo de Soldagem por Eletrodo Revestido**. Disponível em: <http://www.lasoldagem.com.br/apostilas/APOSTILA_ELETRODO_REVESTIDO_L&A_rev.2.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2017.

ALLENSTEIN, Ângela Nardelli. **Estudo da Resistência à Cavitação do Aço Inoxidável Martensítico CA6NM Nitretado por Plasma**. 2007. 113 F. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Curitiba, 2007.

ASTM, ASTM 743/A 743M – 98ae1: **Standard specification for castings, iron-chromium, iron-chromium-nickel, corrosion resistant, for general application**. American Society for Testing and Materials, 1998.

BEHENE, LUCAS. **Estudo da Alteração de Parâmetros de Soldagem Plasma com Alimentação de Vareta em Substrato de Aço ASTM 742 Tipo CA6NM**. 2014. 109 F. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Do Paraná. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica, Curitiba, 2014.

CARBÓ, Héctor Mario. **Aço Inoxidável: Aplicações e Especificação**. 2001. 83 F.

DI CUNTO, Julio Cesar. **Estudo da Resistência à Corrosão de Aços Inoxidáveis Para Uso na Parte Fria dos Sistemas de Exaustão de Veículos**. 2005. 105 F. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FORTES, Cleber. **Apostila de Eletrodos Revestidos**. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2017.

GRACIOSO, J. F.; **Efeito das condições de têmpera na microestrutura e propriedades mecânicas de um aço inoxidável martensítico fundido CA6NM.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

KESTRA. **Catálogo de Consumíveis de Soldagem** – 2005. São Paulo, Atibaia.

MACHADO, Ivan. **Soldagem & Técnicas Conexas.** 1 ed. Porto Alegre, 1996.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia.** 2. ed. Minas Gerais: UFMG, 2005. 362 p. (Didática).

OLIVEIRA, Raphael. **Produção e Reciclagem de Aços Inoxidáveis.** 2009, 59 F. Tese (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OLIVIO E. F. T; **Análise do Revestimento de 410NIMO Depositado por Aspersão Térmica no Aço Inoxidável Martensítico CA6NM Contra a Erosão por Cavitação.** Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, 2016.

PEREIRA, Aldo Santos. **Desenvolvimento de Procedimento de Reparo por Soldagem em Aços Inoxidáveis Martensíticos, com Metal de Adição Similar sem TTP.** 2000. 136 F. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2000.

SCURACCHIO, Bruno Geoffroy. **Influência dos Elementos de Liga no Intervalo de Solidificação do Aço Inoxidável Martensítico CA6NM.** 2009. 99 F. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Unisverdade de São Paulo. São Paulo, 2009.

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