

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

EDSON ANTONIO LOCATELI DELEVATI

**DESENVOLVIMENTO DE TOCHA PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA NO
PROCESSO MIG/MAG UTILIZANDO O ROBÔ DE SOLDA**

São Leopoldo

2019

EDSON ANTONIO LOCATELI DELEVATI

**DESENVOLVIMENTO DE TOCHA PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA NO
PROCESSO MIG/MAG UTILIZANDO O ROBÔ DE SOLDA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, pelo Curso de
Engenharia Mecânica da Universidade do
Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Ms. Cândido Norberto Postinger

São Leopoldo

2019

Dedico este trabalho aos meus pais que me cobravam desde cedo empenho e dedicação nos estudos, que com suas palavras me mostravam que o conhecimento é o bem mais valioso que um homem pode adquirir.

AGRADECIMENTOS

Á Deus por ter recebido essa oportunidade na vida, por ter me dado coragem e força para enfrentar todos os momentos difíceis para chegar até aqui.

Ao meu pai Delmi, por ser meu amigo, meu companheiro, minha referência na vida e de estar sempre ao meu lado me auxiliando e me mostrando o caminho correto a ser seguido.

À minha mãe Maria pelo seu amor fraternal, pelo carinho, pelo afeto, por ser o berço da minha vida.

As minhas irmãs Sonia e Sandra pelo amor, pela amizade, por tudo que fizeram e fazem por mim.

Á minha esposa Ligiane pelo amor, pela compreensão, pelas renúncias, por estar sempre ao meu lado nos momentos difíceis dessa jornada, pela família que juntos construímos.

As minhas filhas Helena e Marina por serem o que eu tenho de melhor na vida, um amor sem medidas.

Aos meus familiares e amigos pela ausência nesse período, pela ajuda e compreensão ao longo dos anos.

Aos meus colegas de trabalho que muitas vezes tiveram que suprir minha ausência, sempre me ajudando e incentivando a seguir.

Aos meus colegas de graduação pela contribuição que tiveram para que eu chegasse até aqui, em especial aos colegas Alisson e Karon pela amizade, pela parceria ao longo do curso.

Ao meu orientador Cândido que me indicou o tema do trabalho e pela valiosa contribuição em todas as etapas deste estudo.

Aos funcionários e laboratoristas da Unisinos, em especial aos laboratoristas Tiago e Eder por toda ajuda e apoio na realização deste trabalho.

Aos professores por todo o conhecimento transmitido ao longo do curso.

Á UNISINOS por dar as condições necessárias para a execução deste trabalho e ao longo do curso.

RESUMO

A soldagem subaquática com a técnica de cavidade local seca destaca-se em frente aos demais tipos de soldagem realizadas em ambiente aquoso. A técnica consiste na formação de uma área seca na região do arco e da poça de fusão. Com sua utilização consegue-se soldas com alta qualidade e baixo custo operacionais. O presente trabalho tem por objetivo desenvolver e fabricar uma tocha para soldagem subaquática no processo MIG/MAG, capaz de criar uma região sem a presença de água na região da solda. A tocha desenvolvida foi acoplada no robô de soldagem para a realização dos testes de formação da cavidade local seca e para a soldagem de cordões de solda em chapa de aço. Para a realização dos ensaios foi projetado e construído um tanque para recirculação da água, com capacidade de 40 litros. Na verificação da formação de cavidade seca foram realizados testes utilizando a tocha desenvolvida, onde variou-se a espessura da cortina de água, a distância entre bocal e chapa e a vazão do gás de proteção. A vazão de água para recirculação de água no sistema foi mantida em 13 l/min. Os resultados obtidos mostraram eficácia para a formação da cavidade seca com valores de cortina de 0,4 e 0,5mm. Em relação a distância entre bocal e chapa, as distâncias de 1, 2 e 3mm mostraram-se eficientes, enquanto as medidas de 4 e 5 mm apresentaram um comportamento instável. Para a realização dos cordões de solda utilizou-se chapas de aço SAE 1030 com dimensões de 12,7x200x350mm. Foram realizadas soldas na superfície e na água para a análise e comparação dos resultados obtidos. Os valores de tensão, corrente, velocidade de soldagem e vazão do gás foram mantidos iguais para os dois tipos de solda. Nas soldas realizadas na água variáveis da espessura da cortina de água e da distância entre chapa e bocal utilizou-se os mesmos parâmetros. As soldas fabricadas na água apresentaram menores valores de penetração e largura do reforço. A presença predominante tanto nas soldas feitas no ar como as produzidas na água foi de martensita. Os valores de micro dureza obtidos foram maiores nas soldas realizadas na água em relação as feitas no ar. Ambas as soldas não indicaram a presença de trincas e porosidades na microestrutura.

Palavras-chave: Soldagem subaquática, cavidade local seca, robô de soldagem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de soldagem subaquática	14
Figura 2 – Processos de soldagem utilizados na soldagem subaquática	15
Figura 3 – Desenho esquemático do processo de soldagem subaquática molhada pelo processo SMAW.....	16
Figura 4 – Solda em habitat.	17
Figura 5 – Soldagem em caixa seca	18
Figura 6 – Soldagem em câmara a 1 atm.	19
Figura 7 – Desenho esquemático bocal de soldagem para o processo MIG/MAG ...	20
Figura 8 – Desenho esquemático bocal com cortina de ar e água.....	20
Figura 9 – Bocal desenvolvido para soldagem em cavidade local seca.....	21
Figura 10 - Bocal desenvolvido para soldagem em cavidade local seca com cortina de ar.	21
Figura 11 – Método de cavidade local seca com processo de soldagem FCAW.....	22
Figura 12 – Método de cavidade local seca com processo de soldagem LBW.....	22
Figura 13 – Efeitos da soldagem em ambiente aquoso.	23
Figura 14 – Ilustração de um robô de soldagem subaquático.....	25
Figura 15 – Bocal MIG/MAG para soldagem subaquática	27
Figura 16 – Característica do fluxo de água através do bocal.....	28
Figura 17 – Condições críticas de formação de cavidade.....	28
Figura 18 – Influência da velocidade /vazão de água no diferencial de pressão com diversas distâncias entre bocal e chapa.....	29
Figura 19 – Influência da velocidade da água no diferencial de pressão para diversas aberturas w	29
Figura 20 – Condições críticas de formação da cavidade.....	30
Figura 21 – Fluxograma do processo de soldagem subaquática.	31
Figura 22 – Diagrama do esquema de soldagem.....	32
Figura 23 – Robô de Soldagem.....	32
Figura 24 – Modelamento do dispositivo desenvolvido.	33
Figura 25 – Dispositivo desmontado e montado.	34
Figura 26 – Sequência para montagem do dispositivo no robô.....	35
Figura 27 – Projeto do tanque para soldagem subaquática.	36
Figura 28 – Tanque para soldagem subaquática.	36

Figura 29 – Projeto do sistema de recirculação de água.	37
Figura 30 – Montagem do sistema de recirculação de água.	38
Figura 31 – Montagem do sistema de recirculação de água no dispositivo.	39
Figura 32 – Montagem do sistema de recirculação de água.	39
Figura 33 – Nivelamento da chapa de acrílico.	40
Figura 34 – Variáveis para formação da cavidade local seca.	41
Figura 35 – Rotâmetro utilizado para variação da vazão do gás.	41
Figura 36 – Nivelamento da chapa para soldagem.	42
Figura 37 – Imagem dispositivo na soldagem subaquática.	44
Figura 38 – Verificação da cortina de água.	45
Figura 39 – Imagem formação da cavidade local seca estável.	48
Figura 40 - Imagem formação da cavidade local seca instável.	48
Figura 41 – Cordões de soldas no ar e na água.	49
Figura 42 - Cordões de soldas no ar e na água.	50
Figura 43 – Cordões de soldas realizados no ar e na água.	51
Figura 44 – Seleção do corpo de prova para análise.	51
Figura 45 – Medição penetração cordão ar. Reagente Nital.	52
Figura 46 – Medição penetração cordão água. Reagente Nital.	52
Figura 47 - Medição largura cordão ar. Reagente Nital.	53
Figura 48 - Medição largura cordão água. Reagente Nital.	53
Figura 49 – Microestrutura da ZAC solda ar. Reagente Nital.	54
Figura 50 - Microestrutura da ZAC solda água. Reagente Nital.	55
Figura 51 – Microestrutura da ZAC solda ar. Reagente Nital.	55
Figura 52 - Microestrutura da ZAC solda água. Reagente Nital.	56
Figura 53 – Marcações dos pontos para análise da micro dureza.	56
Figura 54 – Valores de micro dureza pontos 1 ao 8.	58
Figura 55 - Valores de micro dureza pontos 9 ao 15.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de soldagem	43
Tabela 2 - Parâmetros de soldagem subaquática.....	43
Tabela 3 – Composição química do arame de solda.	43
Tabela 4 – Composição química da chapa para soldagem.....	44
Tabela 5 – Tabela de resultados da formação de cavidade.....	47
Tabela 6 - Valores de micro dureza pontos 1 ao 8.....	57
Tabela 7 - Valores de micro dureza pontos 9 ao 15.....	57

LISTA DE SIGLAS

AWS	<i>American Welding Society</i> (Sociedade Americana de Soldagem)
MIG	<i>Metal Inerte Gas</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade dos Engenheiros Automotivos)
SMAW	<i>Shielded Metal Arc Welding</i> (Soldagem por eletrodo revestido)
FCAW	<i>Flux-cored Arc Welding</i> (Soldagem por arame tubular)
FW	<i>Flash Welding</i> (Soldagem por centelhamento)
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i> (Processo de soldagem MIG/MAG)
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i> (Processo de soldagem TIG)
LBW	<i>Laser Beam Welding</i> (Soldagem a laser)
PAW	<i>Plasma Arc Welding</i> (Processo de soldagem plasma)
ZAC	Zona Afetada Calor
MS	Metal de Solda
MB	Metal Base

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA.....	12
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 SOLDAGEM SUBAQUÁTICA	14
2.1.1 Soldagem molhada	15
2.1.2 Soldagem Seca ou Hiperbárica	16
2.1.2.1 Soldagem em habitat ou câmara hiperbárica	17
2.1.2.2 Soldagem em caixa seca	17
2.1.2.3 Soldagem em câmara	18
2.1.2 Soldagem em cavidade local seca	19
2.2 DEFEITOS NA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA.....	23
2.3 SOLDAGEM SUBAQUÁTICA ROBOTIZADA	24
2.4 PROCESSO MIG/MAG NA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA	25
2.5 DISPOSITIVO PARA UTILIZAÇÃO NA FORMAÇÃO DA CAVIDADE LOCAL SECA	26
3 METODOLOGIA	31
3.1 BOCAL PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA.....	33
3.2 TANQUE PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA.....	35
3.3 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA	37
3.4 MÉTODO PARA FORMAÇÃO DA CAVIDADE LOCAL SECA.....	40
3.5 MÉTODO PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 VERIFICAÇÃO DA FORMAÇÃO DA CORTINA DE ÁGUA	45
4.2 VERIFICAÇÃO DA FORMAÇÃO DA CAVIDADE LOCAL SECA.....	46
4.3 VERIFICAÇÃO DA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA	49
5 CONCLUSÃO	59
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60

REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO DISPOSITIVO DESENVOLVIDO	63
APÊNDICE B – DETALHAMENTO DO TANQUE	69
APÊNDICE C – MONTAGEM DO SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA.....	70
APÊNDICE D – PLANILHA DO RELATÓRIO DE TESTES	71
ANEXO A – BOMBA CIRCULAÇÃO DE ÁGUA.....	72

1 INTRODUÇÃO

A soldagem subaquática vem crescendo ao longo dos anos, inicialmente a sua utilização concentrava-se exclusivamente em reparos de cascos de navio e em estruturas de portos submersas. Atualmente a soldagem subaquática tem sido explorada devido ao grande interesse em estruturas *offshore*. Este tipo de estrutura fornece suporte na exploração, produção e transporte de óleo e gás. Basicamente as soldas subaquáticas são utilizadas em nível de manutenção. No entanto Bracarense (2018), cita que devido ao aumento e complexidade dos componentes aquáticos não será possível pré-fabricar todas as estruturas necessárias na superfície.

Diversas técnicas e processos de soldagem subaquática vêm sendo desenvolvidas atualmente para atingir qualidades de acordo com a norma de soldagem subaquática. Essas técnicas de soldagem subaquática dividem-se em dois grupos: Soldagem subaquática seca também chamada de soldagem hiperbárica e soldagem subaquática molhada. Através da técnica de soldagem hiperbárica atinge-se qualidades estruturais superiores de acordo com a norma de soldagem subaquática. No entanto, para a realização dessas soldas aplicam-se um custo operacional muito elevado. Já a soldagem aquática molhada possui um baixo custo operacional, no entanto para este tipo de solda conseguem-se somente chegar a qualidades estruturais inferiores. Conseqüentemente para aumentar a confiabilidade neste processo a automação é um dos pontos mais importantes para a otimização das soldas realizadas em ambiente aquoso. A automação deste processo evita os problemas relacionados a operação e segurança do soldador/mergulhador

Dentre as diversas técnicas de soldagem subaquáticas em estudos e pesquisas para que possam ser obtidas soldas com boa qualidade e economicamente viáveis está a técnica de soldagem seca localizada. Conforme Almeida (1992) utiliza-se o processo MIG/MAG com proteção adicional de uma cortina de água em alta velocidade, que com a ajuda dos gases de proteção cria uma região seca ao redor do arco.

O presente trabalho tem como finalidade desenvolver e fabricar uma tocha para soldagem subaquática pelo processo MIG/MAG utilizando o robô de soldagem. Após a fabricação da tocha serão realizadas soldas subaquáticas e posteriormente analisados os resultados obtidos.

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA

Com o crescente aumento das atividades de soldagem subaquática estão sendo desenvolvidas diversas técnicas de soldagem para se garantir soldas de qualidades superiores com menores custos de operação. A soldagem subaquática com cavidade local seca destaca-se neste cenário, pois com sua aplicação conseguem-se soldas com qualidades idênticas as realizadas na superfície e custos idênticos ao da soldagem molhada. No entanto embora vantajosa a soldagem com cavidade local seca depende muito da operação do soldador/mergulhador que enfrenta dificuldades na visibilidade da região da solda e no manuseio do equipamento. Neste contexto a automação deste processo torna-se um ponto a ser explorado, pois com sua utilização poderão ser efetuadas soldas em um ambiente aquoso com maior confiabilidade e custos reduzidos em relação a outras técnicas de soldagem subaquática. O presente trabalho visa projetar um dispositivo para acoplamento no robô de soldagem a fim realizar soldas com a técnica de formação de cavidade local seca com a utilização do robô analisando dessa forma todas as vantagens da automatização da produção de soldas subaquáticas não somente em nível de manutenção como também na montagem de estruturas em ambiente aquoso.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho visa a fabricação de uma tocha de soldagem no processo MIG/MAG utilizando o robô de solda. Para a realização das soldas serão utilizadas chapas de aço SAE 1030, com a construção de um cordão de solda realizada na posição plana. Os testes serão realizados em um tanque preenchido de água doce utilizando os mesmos parâmetros das soldas realizadas no ar. As soldas subaquáticas serão realizadas na mesma profundidade para os diversos corpos de prova e posteriormente analisados comparando com soldas realizadas no ar através do robô de soldagem.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver e fabricar uma tocha para soldagem subaquática pelo processo MIG/MAG com a técnica de cavidade local seca utilizando o robô de soldagem.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para este trabalho tem-se como objetivos específicos.

- a) Projetar, detalhar e fabricar a tocha de soldagem;
- b) Projetar, detalhar e fabricar o tanque para soldagem subaquática e realizar a montagem do sistema de circulação da água para formação da cortina de água;
- c) Analisar a formação de cavidade local seca;
- d) Realizar soldas subaquáticas e no ar utilizando a tocha de soldagem desenvolvida com a utilização do robô de soldagem;
- e) Analisar os resultados obtidos.

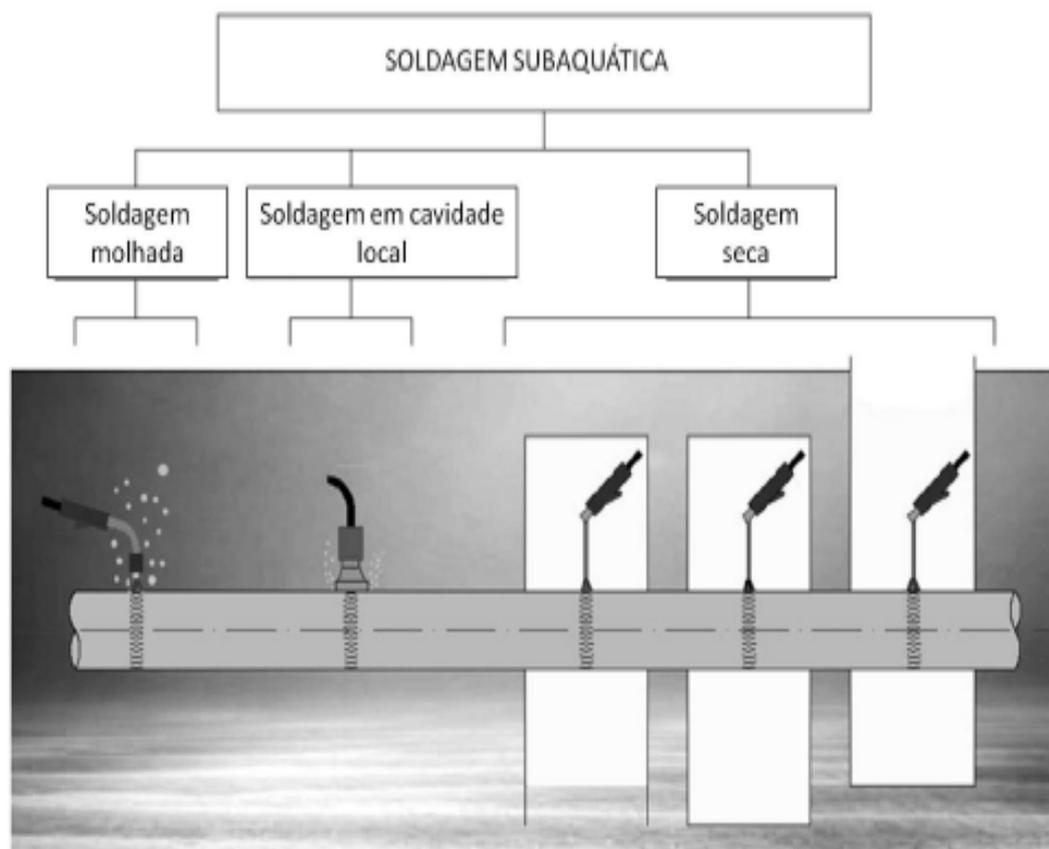
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

A obtenção de juntas que atendam as mesmas especificações de juntas soldadas na superfície é a principal meta a ser atingida na soldagem subaquática. Para isso diversas técnicas de soldagem vêm sendo desenvolvidas em diversos centros de pesquisa.

Para Labanowski (2008), a soldagem subaquática é dividida em 3 tipos conforme apresenta a figura 1, considerando a soldagem subaquática em cavidade local um grupo próprio.

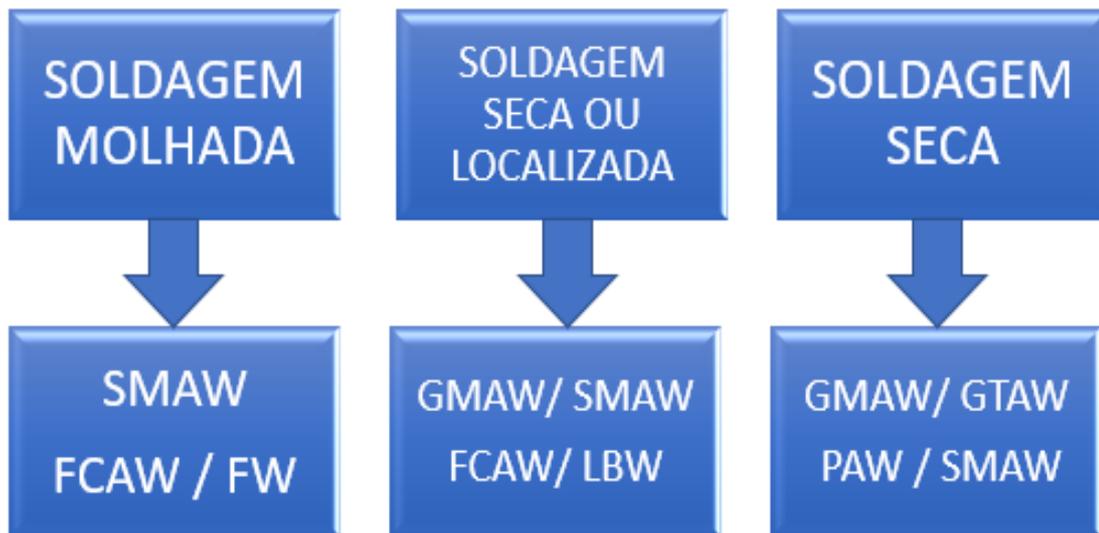
Figura 1- Tipos de soldagem subaquática



Fonte: Adaptado de Labanowski (2008).

Atualmente quase todos os tipos de processos de soldagem tem sido foco de pesquisas tanto no âmbito laboratorial como em aplicação em campo. Destacam-se como mais usualmente utilizados os processos apresentados na figura 2.

Figura 2 – Processos de soldagem utilizados na soldagem subaquática



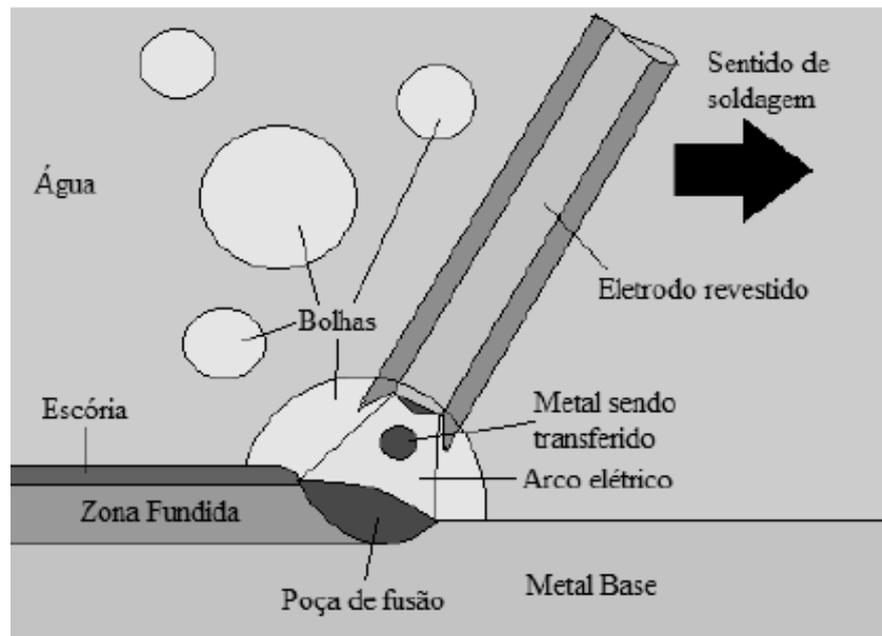
Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.1 Soldagem molhada

A soldagem subaquática molhada é um método de soldagem em que a junta está em contato direto com a água (ARIEL, 2017). Atualmente é o método de soldagem subaquática mais utilizada. Para Carvalho (2017) devido ao fato da solda ser realizada em um ambiente aquoso, surgem diversos problemas que afetam as propriedades mecânicas do metal de solda. Liberato *et al* (2018), cita que os problemas recorrentes a essa situação, acarretam numa maior tendência a formar inclusão de escórias, trincas e porosidades na solda.

Diversas técnicas podem ser utilizadas na soldagem molhada, entre eles estão SMAW, FCAW e FW. A técnica mais utilizada para a soldagem molhada atualmente é o processo SMAW com eletrodos revestidos, com recobrimento a prova d'água conforme figura 3. Atualmente diversas pesquisas buscam otimizar as características dos eletrodos para melhorar as propriedades mecânicas das soldas em ambiente aquoso. Conforme Liberato *et al* (2018) comenta que entre as técnicas disponíveis a soldagem molhada é escolhida pois sua rápida implementação e relativa facilidade para sua execução. Dessa forma conseguem-se soldas com um baixo custo operacional, no entanto, com essa técnica de soldagem atingem somente soldas de menor qualidade.

Figura 3 – Desenho esquemático do processo de soldagem subaquática molhada pelo processo SMAW.



Fonte: Uribe (2018).

2.1.2 Soldagem Seca ou Hiperbárica

A soldagem a seco, também chamada de solda hiperbárica seca tem como princípio retirar a água da região da solda. O sistema contendo o arco e a região a ser soldada, é separado da água por meio de uma câmara cheia de gás a pressão ambiente (BRACARENSE, 2018). Dessa forma fazendo com que a solda ocorra em um ambiente seco. Esta técnica é usada principalmente quando o trabalho é requerido a elevadas profundidades. Neste tipo de soldagem é possível obter soldas de maior qualidade, basicamente compatíveis com as realizadas em superfície. A principal desvantagem deste método de soldagem é a alta complexidade dos equipamentos e o alto custo agregado em sua operação em campo. Os processos utilizados normalmente para a soldagem hiperbárica seca são: *GMAW*, *GTAW*, *PAW*, *SMAW*.

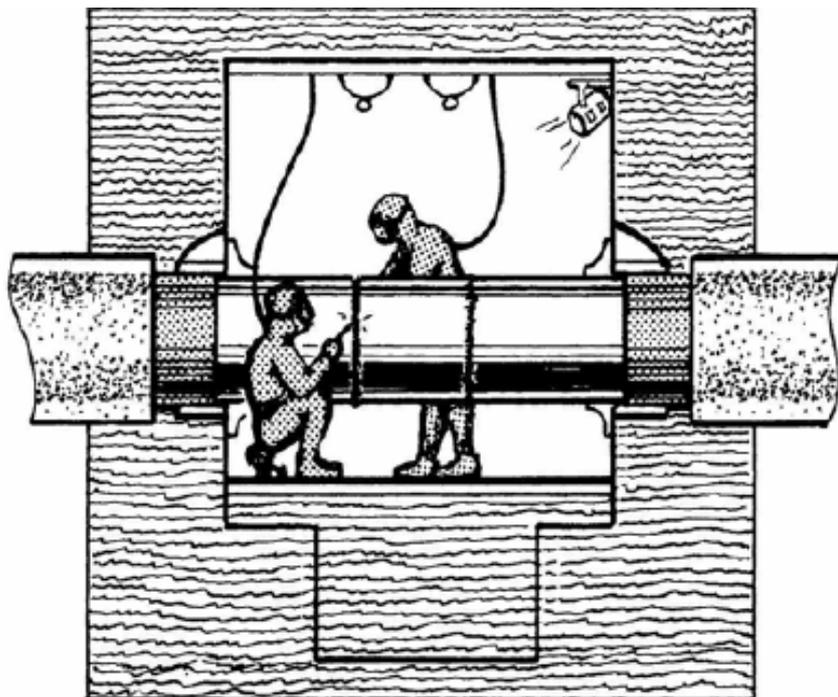
A soldagem seca é dividida basicamente em três grupos:

- Soldagem em caixa seca;
- Soldagem em habitat ou câmara hiperbárica;
- Soldagem em câmara.

2.1.2.1 Soldagem em habitat ou câmara hiperbárica

Neste processo de soldagem a água é deslocada de uma grande câmara através da injeção de um gás no seu interior conforme figura 4. Neste método de soldagem as soldas atingem qualidades praticamente iguais as soldas obtidas na superfície, devido a área da solda ficar completamente isolada da água. Os soldadores/mergulhadores não necessitam utilizar roupas de mergulho. Este recipiente de soldagem possui uma área com dimensões adequadas para a preparação e posicionamento dos equipamentos de soldagem. Consegue-se realizar soldas em elevadas profundidades. No entanto neste processo a área da soldagem na câmara se encontra na mesma pressão encontrada na altura da coluna de água.

Figura 4 – Solda em habitat.



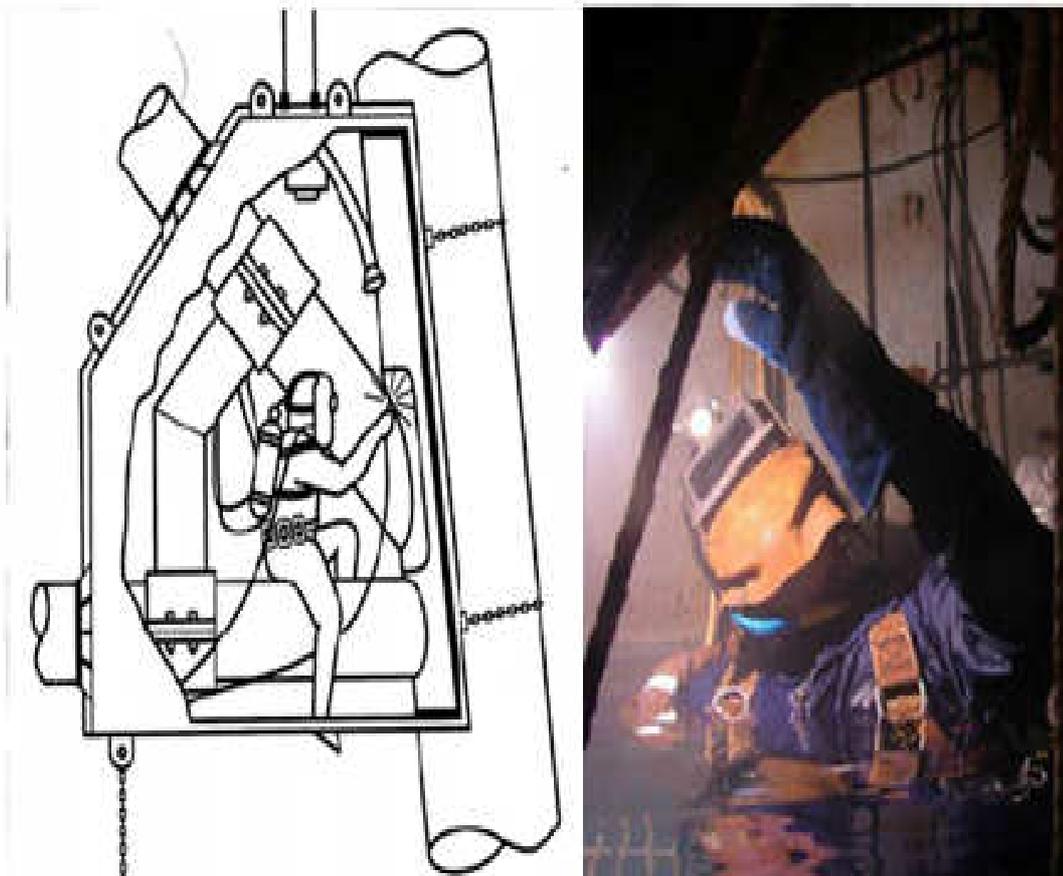
Fonte: Uribe (2018).

2.1.2.2 Soldagem em caixa seca

Na soldagem hiperbárica em caixa seca como no método anterior a soldagem ocorre em uma câmara preenchida de gás conforme mostrado na figura 5. No entanto neste método a área da câmara é projetada de forma a alojar a parte superior do soldador e a área da solda. No entanto o soldador/mergulhador utiliza todo o equipamento de mergulho. O processo consiste basicamente na remoção da água da

câmara pela mistura dos gases pressurizados. O ambiente de solda no recipiente apresenta elevadas temperaturas e alta umidade fazendo com que o hidrogênio não seja completamente removido. Neste tipo de soldagem o problema de visibilidade e posição são excluídos embora as condições de trabalho sejam altamente complicadas.

Figura 5 – Soldagem em caixa seca

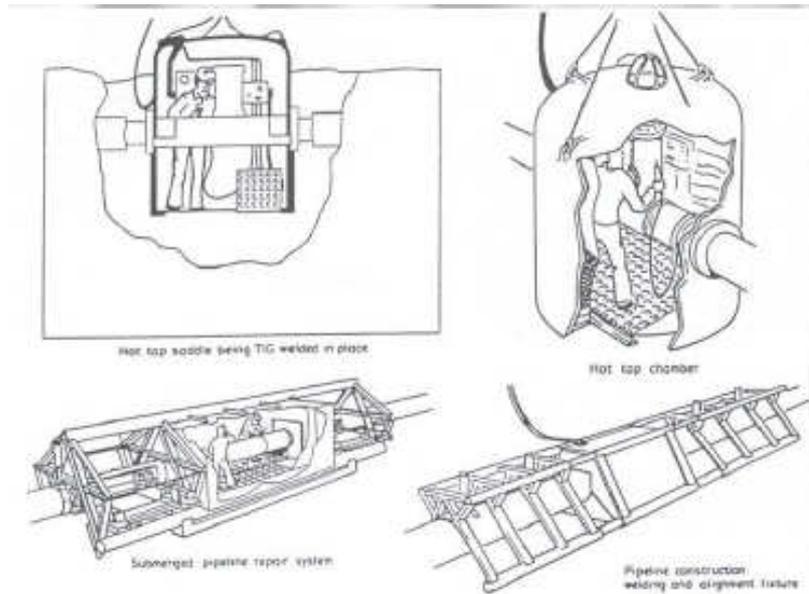


Fonte: Bracarense (2018).

2.1.2.3 Soldagem em câmara

Neste tipo de soldagem a solda é realizada em um vaso de pressão onde a água é retirada do local de trabalho e mantida a pressão de 1 atm. em função da injeção de gases. Os efeitos de profundidade e as propriedades da água não interferem na solda. A figura 6 apresenta a configuração da soldagem em câmara.

Figura 6 – Soldagem em câmara a 1 atm.



Fonte: Uribe (2018).

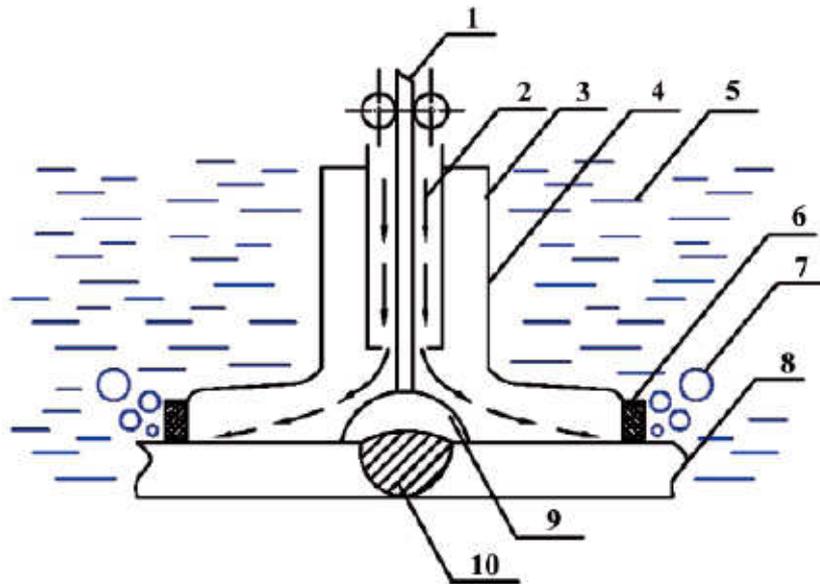
2.1.2 Soldagem em cavidade local seca

A técnica de soldagem em cavidade local seca tem como objetivo principal eliminar as desvantagens dos métodos de soldagem molhada e da soldagem hiperbárica seca. Como visto anteriormente enquanto que a soldagem molhada apresenta baixos custos para sua realização, atingem-se somente qualidades de solda com baixa classificação. Na soldagem hiperbárica consegue-se alcançar soldas com qualidades superiores, porém necessitam de equipamentos e técnicas altamente complexas, com custos de operação muito altos.

A soldagem localizada seca tem o intuito de atingir soldas de alta qualidade como a soldagem hiperbárica seca com custos de soldagem baixos como as realizadas pelo processo de soldagem molhada devido a sua facilidade e baixa complexidade dos equipamentos, dessa.

O princípio da soldagem em cavidade local seca consiste basicamente na criação de uma proteção através de uma cortina de água em alta velocidade. A água que é lançada através do dispositivo cria juntamente com os gases de proteção uma região de baixa pressão, expelindo a água que está na região da solda gerando assim uma pequena área seca ao redor da área da solda. A figura 7 apresenta o modelo esquemático do dispositivo a ser acoplado no bocal de soldagem.

Figura 7 – Desenho esquemático bocal de soldagem para o processo MIG/MAG

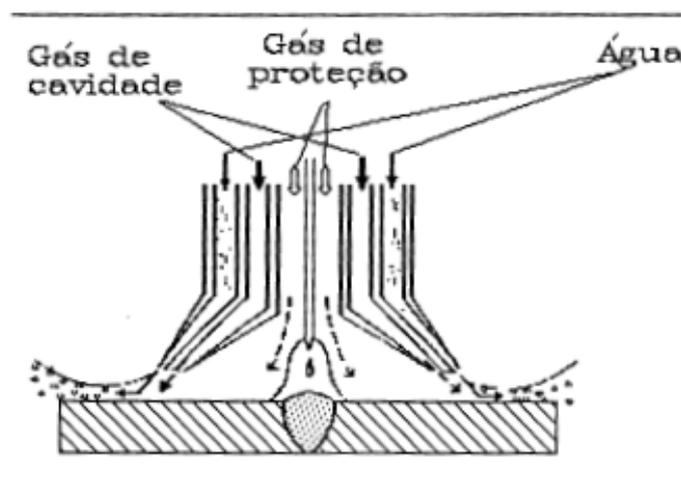


1) BICO DE SOLDA 2) ARAME DE SOLDA 3) GÁS DE PROTEÇÃO 4) BOCAL EXTERNO 5) ÁGUA 6) CAPA 7) BOLHAS DE GÁS 8) CHAPA 9) ARCO ELÉTRICO 10) METAL DE SOLDA.

Fonte: Adaptado de Fydrych (2013).

Outro modelo de dispositivo é apresentado na figura 8 onde é acrescentado mais um tubo concêntrico, onde normalmente utiliza-se ar comprimido. Este modelo tem por objetivo a redução de quantidade de gás de proteção inserida no processo, diminuindo juntamente os custos operacionais.

Figura 8 – Desenho esquemático bocal com cortina de ar e água.



Fonte: Almeida (1992).

Almeida (1992) e Liu (2017), fabricaram dispositivos para soldagem onde utilizou o processo de soldagem GMAW. O primeiro utilizou o princípio de cavidade

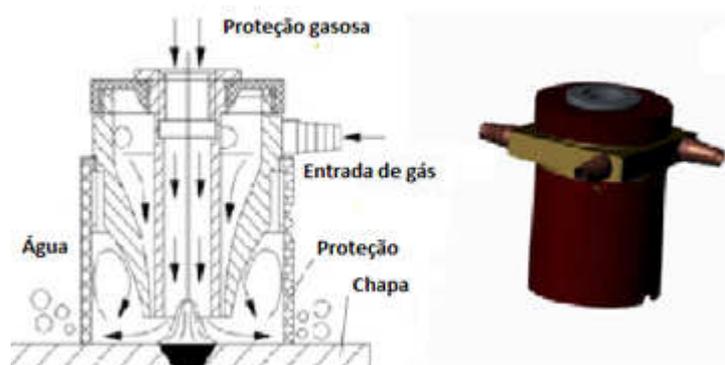
local seca com cortina de água, enquanto Liu (2017) utilizou o método de escovas rotativas. Esta técnica consiste na criação de uma proteção gerada pela expansão do gás que flui para fora do bocal, fazendo com que se crie uma cavidade seca pela estabilidade da cortina de ar juntamente com os gases de proteção. Esta cortina de ar rotativa cria-se pelo fato de ser inserido no bocal em quatro direções de drenagem tangente. Nas figuras 9 e 10 apresentam-se os modelos confeccionados por Almeida (1992) e Liu (2017).

Figura 9 – Bocal desenvolvido para soldagem em cavidade local seca



Fonte: Almeida (1992).

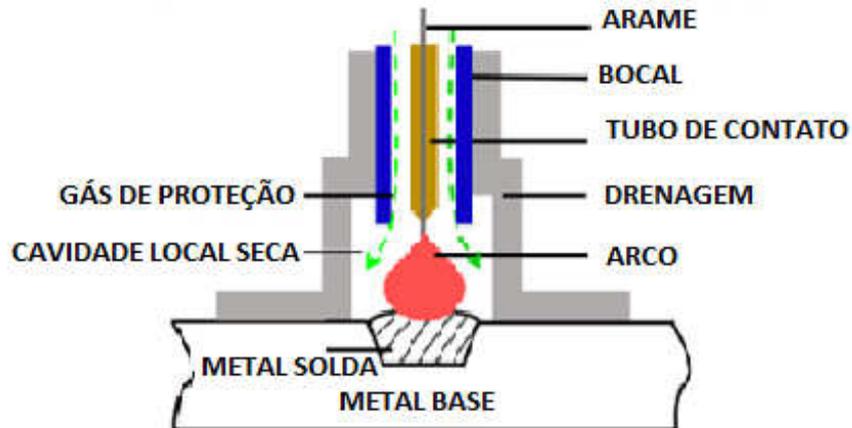
Figura 10 - Bocal desenvolvido para soldagem em cavidade local seca com cortina de ar.



Fonte: Adaptado de Liu *et al* (2017).

Hu *et al* (2019) analisou soldas com dispositivo para formação de cavidade local seca utilizando o processo de soldagem FCAW. Os testes foram realizados em uma câmara pressurizada. Sabendo-se que a cada 10m de coluna de água ocorre um aumento de pressão de 0,1 MPa, simulou-se soldas nas profundidades de 0,1m, 15m, 45m e 75m utilizando o método de cavidade local seca conforme é mostrado na figura 11.

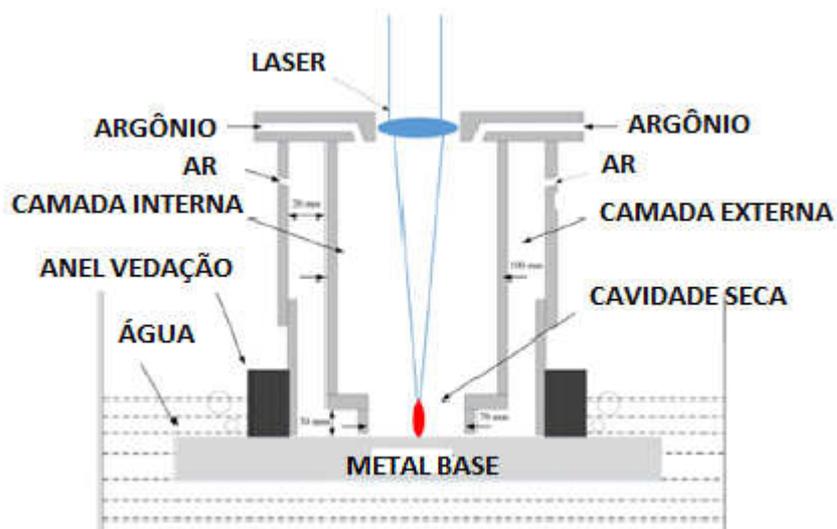
Figura 11 – Método de cavidade local seca com processo de soldagem FCAW.



Fonte: Adaptado de Hu et al (2019).

Outro processo de soldagem foi utilizado por Guo *et al* (2018) com a técnica de cavidade local seca foi o processo LBW, o processo contempla duas camadas de proteção como apresenta a figura 12. A camada externa foi inserida ar pressurizado com a função de expelir a água e forma uma cavidade seca, do mesmo modo a camada interna recebeu o gás de proteção Argônio que empurra o ar para fora da cavidade e protege a solda a laser. Guo *et al* (2018) avaliou a formação de cavidade seca testando diferentes valores de vazão de ar comprimido e gás de proteção para encontrar os parâmetros ótimo para a execução da solda. O teste realizado por Guo *et al* (2018) foram realizado com uma altura de coluna de água de 120mm para todas as condições de solda.

Figura 12 – Método de cavidade local seca com processo de soldagem LBW



Fonte: Adaptado de Guo *et al* (2018).

2.2 DEFEITOS NA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

O fato de levar a soldagem para um ambiente aquoso traz diversas consequências conforme citam Labanowisk (2008) entre elas estão:

- Elevada taxa de resfriamento;
- Inclusão de hidrogênio no metal;
- Inclusão de oxigênio no metal;
- Inclusão de carbono no metal;
- Instabilidade do arco.

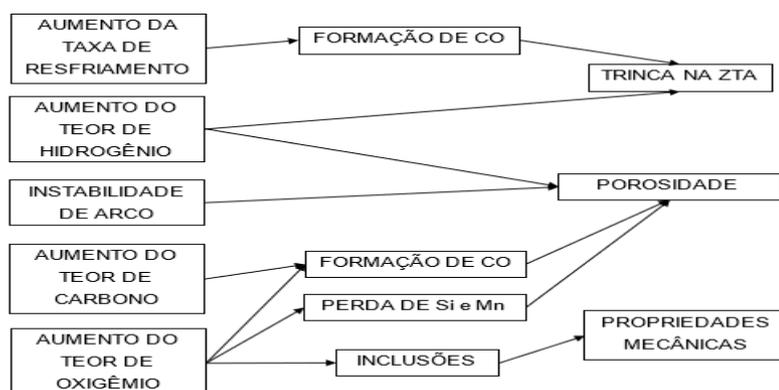
Conforme apresenta a figura 13 a solda em um ambiente aquoso pode ocasionar diversos problemas no cordão de solda. A alta taxa de resfriamento devido ao grande volume de água que circunda o cordão de solda eleva a dureza na ZAC e associado ao elevado teor de hidrogênio no metal de solda propicia a formação de trincas.

A instabilidade do arco é acentuada pela pressão hiperbárica ocasionando dessa forma falta de fusão na solda e inclusão de escoria.

Os teores de carbono e oxigênio aumentam na soldagem em condição aquosa em consequência do aumento de pressão, ocorrendo a formação de monóxido de carbono. O aumento dos teores de oxigênio no metal de solda é provocado pela redução dos teores de manganês e silício no metal de solda.

Todos os fatores acima contribuem com a formação de trincas e porosidade na solda que é um dos principais problemas da soldagem subaquática que consequentemente diminuem as propriedades mecânicas do metal ocorrendo dessa forma redução da tenacidade.

Figura 13 – Efeitos da soldagem em ambiente aquoso.



Fonte: Adaptado de Labanowski (2008).

2.3 SOLDAGEM SUBAQUÁTICA ROBOTIZADA

A robotização da soldagem subaquática tem a finalidade de melhorar a qualidade e confiabilidade das soldas realizadas em meio aquoso. De acordo com Chhaniyara (2014), uma vez programado corretamente, os robôs realizarão as tarefas repetidas nas mesmas dimensões e especificações. Dessa forma aumentando a produção e diminuindo o retrabalho nas estruturas subaquáticas. Bracarense (2018) cita que o processo de soldagem requer uma boa visibilidade tanto na soldagem como para a montagem do equipamento e um tempo considerável de execução do trabalho. Essas duas variáveis são muito difíceis em ambientes subaquáticos. Para estes dois casos a utilização do robô de soldagem eliminaria os dois problemas, uma vez programado o robô ele executaria a função com maior exatidão. Para a execução deste trabalho com o robô o mergulhador somente faria as conexões e a programação da soldagem e o restante do processo seria automático.

Outra vantagem da utilização dos robôs de soldagem é no que diz respeito quanto a posição de soldagem. O robô executa a solda em qualquer posição e ângulo da solda devido ao funcionamento dos seus eixos. Dessa forma permitindo que o robô seja flexível no posicionamento da pistola para a solda de um conjunto de peças. Consequentemente esta operação consumiria um menor tempo de trabalho, garantindo segurança ao mergulhador ao reduzir o tempo na área de trabalho.

Dessa forma com a utilização de robô reduziria os custos de soldagem tanto como em equipamentos complexos, como em tempo de soldagem e melhoria da qualidade das soldas evitando assim retrabalhos em ambiente subaquático.

O processo de soldagem aplicado ao robô de soldagem mais indicado seria o GMAW com a utilização da técnica de solda com cavidade local seca. O dispositivo para formação de cavidade local seca conforme visto no tópico anterior seria acoplado na tocha robótica, fazendo com que a solda seja realizada num ambiente seco. Desta maneira alcançando soldas com níveis de qualidades superiores com alto valor de confiabilidade e um tempo bem menor de execução das tarefas de soldagem. A figura 14 apresenta uma ilustração da utilização de um robô para soldagem subaquática.

Figura 14 – Ilustração de um robô de soldagem subaquático.



Fonte: Chhaniyara (2014).

2.4 PROCESSO MIG/MAG NA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

O processo MIG/MAG apresenta diversas vantagens em relação a sua utilização na soldagem subaquática como por exemplo a questão de automação que torna este processo muito atrativo, pois sua aplicação evita problemas de visibilidade e velocidade de soldagem com um alto valor de confiabilidade com uma alta produtividade em um tempo de soldagem inferiores aos executados atualmente, também oriundo da facilidade de operação. Embora diversas pesquisas atualmente tenham sido realizadas, não se tem ainda aplicações de automação no processo MIG/MAG fora do âmbito dos laboratórios.

Um dos grandes problemas encontrados para a aplicação do processo MIG/MAG em soldagem subaquática está ligado a instabilidade do processo. Do mesmo modo problemas de penetração, salpico e a alta geração de fumos aumentam consideravelmente. Estes problemas são originários do aumento de pressão na área da solda em decorrência da profundidade. Almeida (1992) cita que para a correção dos problemas causados pelo aumento de pressão o diâmetro do eletrodo deve ser reduzido para se obtenha um aumento de corrente e assim mantendo o arco estável.

Outras variáveis em estudos realizados são substituídas para diminuir os problemas referentes a soldagem pelo processo MIG/MAG para que este ofereça

soldas com qualidades estruturais conforme a norma AWS D3.6M como por exemplo a mudança de polaridade de positiva para negativa em profundidades maiores que 30 metros para que dessa forma se obtenha um processo mais estável conforme escreve Almeida (1992).

Deste modo o processo MIG/MAG apresenta vantagens e desvantagens para sua aplicação como podem ser descritos abaixo:

- Qualidade estruturais superiores;
- Aplicação simples;
- Possibilidade de automatização do processo;
- Influência da pressão no arco elétrico;
- Instabilidade do arco;
- Geração alta de fumos de soldagem.

2.5 DISPOSITIVO PARA UTILIZAÇÃO NA FORMAÇÃO DA CAVIDADE LOCAL SECA

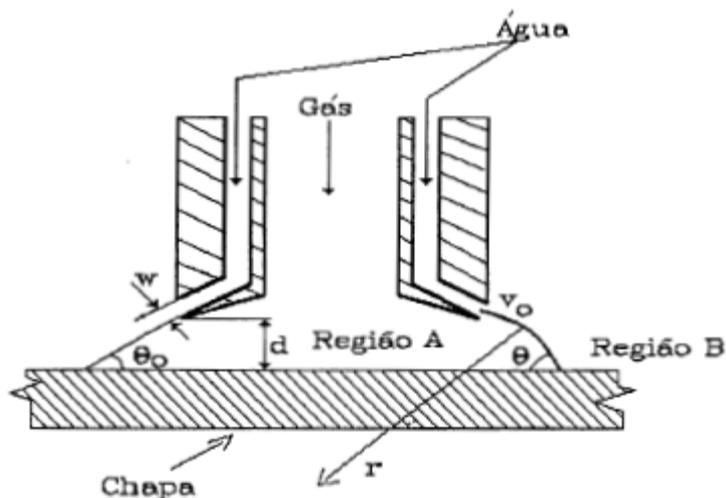
Diversas pesquisas foram realizadas a fim de projetar um bocal para que se alcance uma perfeita formação de cavidade local seca. As primeiras pesquisas referentes ao tema foram realizadas por grupo de pesquisa da *Mitsubishi Heavy Industries off Japan*.

De acordo com Almeida (1992) que utilizou o princípio de formação de cavidade local seca desenvolvida por Nishiguchi *et al* (1975) cita que:

Para perfeita formação da cavidade, é necessário que se tenha um controle rigoroso dos seguintes itens:
Promover um sistema de remoção de água capaz de formar uma cavidade estável, mesmo com uma larga faixa de irregularidades superficiais.
Remover a água da zona de solda através do efeito da cortina de água;
Criar uma atmosfera estável.

Para a formação da cavidade local seca, Nishiguchi *et al* (1975), desenvolveu um dispositivo com as seguintes dimensões mostradas conforme figura 15 onde θ_0 é o ângulo de escape, r é o raio da cortina de água, d é a distância da peça até a chapa, w é a espessura da saída da água, D é o diâmetro do bocal e V_0 é a velocidade do jato.

Figura 15 – Bocal MIG/MAG para soldagem subaquática



Fonte: Adaptado de Nishiguchi *et al* (1975).

Quando o dispositivo é mergulhado na água tanto a região A como a região B encontram-se cheias de água. O jato de água que sai da região do cone faz que ocorra uma circulação de água. Essa circulação de água gera um diferencial de pressão entre a região A e a região B fazendo que a água que se encontra na região A seja movida para a região B.

Nishiguchi *et al* (1975) expressou as características do fluxo através da seguinte equação:

$$\Delta P = P_a - P_b = \rho \cdot w \cdot V_o^2 / r$$

Onde:

ΔP = diferencial de pressão;

ρ = densidade da água;

w = espessura do jato de água;

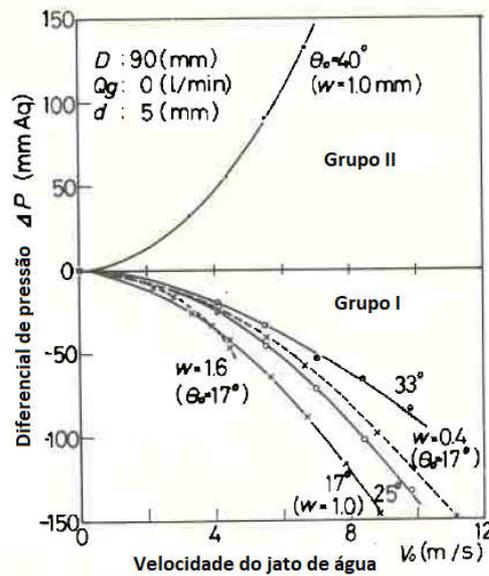
V_o = velocidade do jato de água na saída do bocal;

r = raio do cone de água.

Como é apresentado na figura 16 Nishiguchi *et al* (1975) mostrou que o diferencial de pressão varia parabolicamente com a mudança da velocidade do jato, conforme equação acima. Também se constata que conforme aumenta o ângulo do bocal também há um aumento no diferencial de pressão. Almeida (1992) diz que a diferença entre os grupos I e II apresentados na figura estão relacionados com o fato da água ser ou não ser extraída da região A. Deste modo para que haja a formação

da cavidade os jatos preferíveis são o do grupo I onde apresenta um diferencial de pressão negativo.

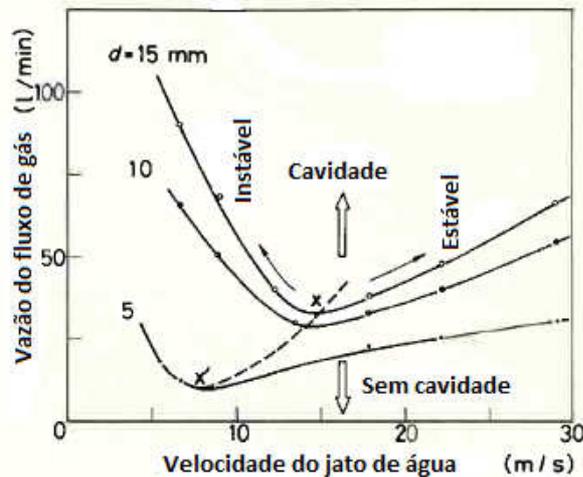
Figura 16 – Característica do fluxo de água através do bocal



Fonte: Adaptado de Nishiguchi *et al* (1975).

Outro ponto importante nos estudos realizados por Nishiguchi *et al* (1975), são as condições de formação de cavidade em relação as distâncias entre o bocal do dispositivo e a chapa a ser soldada em relação ao fluxo de gás e velocidade de água, conforme é mostrado na figura 17. Os valores acima das linhas indicam uma formação perfeita da cavidade para a determinada medida **d** indicada. Para condições de fluxo de gás e água abaixo das linhas não apresentam formação de cavidade.

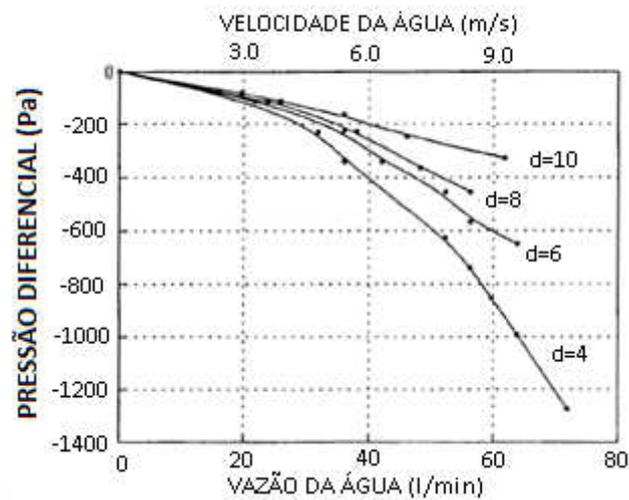
Figura 17 – Condições críticas de formação de cavidade



Fonte: Adaptado de Nishiguchi *et al* (1975).

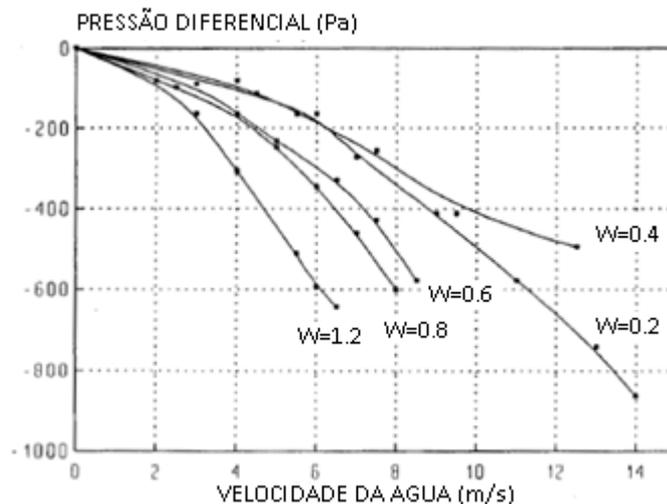
Diversas variáveis influenciam na formação da cavidade local seca, entre elas está a medida d que representa a distância do bocal até a chapa a ser soldada. Almeida (1992) analisou a influência da velocidade/vazão de água para o diferencial de pressão com diversos valores de d como é mostrado na figura 18. Nota-se que para distâncias de d maiores é necessários maiores velocidades de água para que o diferencial de pressão seja negativo,

Figura 18 – Influência da velocidade /vazão de água no diferencial de pressão com diversas distâncias entre bocal e chapa.



Fonte: Adaptado de Almeida (1992).

Figura 19 – Influência da velocidade da água no diferencial de pressão para diversas aberturas w

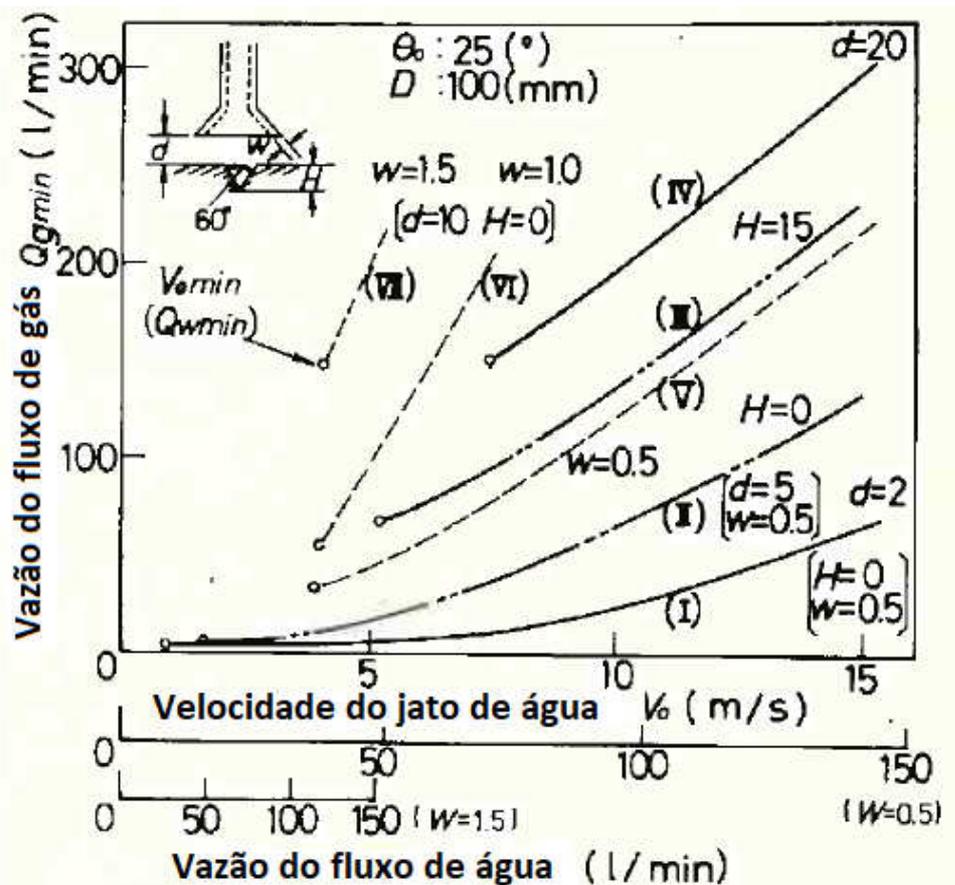


Fonte: Adaptado de Almeida (1992).

Como apresenta a figura 19 que quanto menor abertura w entre as ponteiras internas e externas há uma dada velocidade resulta num maior diferencial de pressão. Almeida (1992) cita que aberturas muito pequenas trazem diversas limitações como grandes perdas no bombeamento e necessidade de uma filtragem com maior eficiência.

Outro fator relevante estudado por Nishiguchi et al (1975), foi a interação entre distância do bocal, vazão da gás e vazão da água e espessura de cortina de água em relação ao chanfro da peça a ser soldada. A figura 20 apresenta as variáveis para que se consiga a formação da cavidade local seca. Para as variáveis de chanfro H e espessura de cortina d são necessárias vazões de gás e vazão de água. Conforme distâncias maiores da chapa em relação ao bocal e profundidade do chanfro são necessárias maiores vazões de gás e de água. Da mesma forma para maiores espessuras de cortina w , também necessita maiores vazões de gás.

Figura 20 – Condições críticas de formação da cavidade.

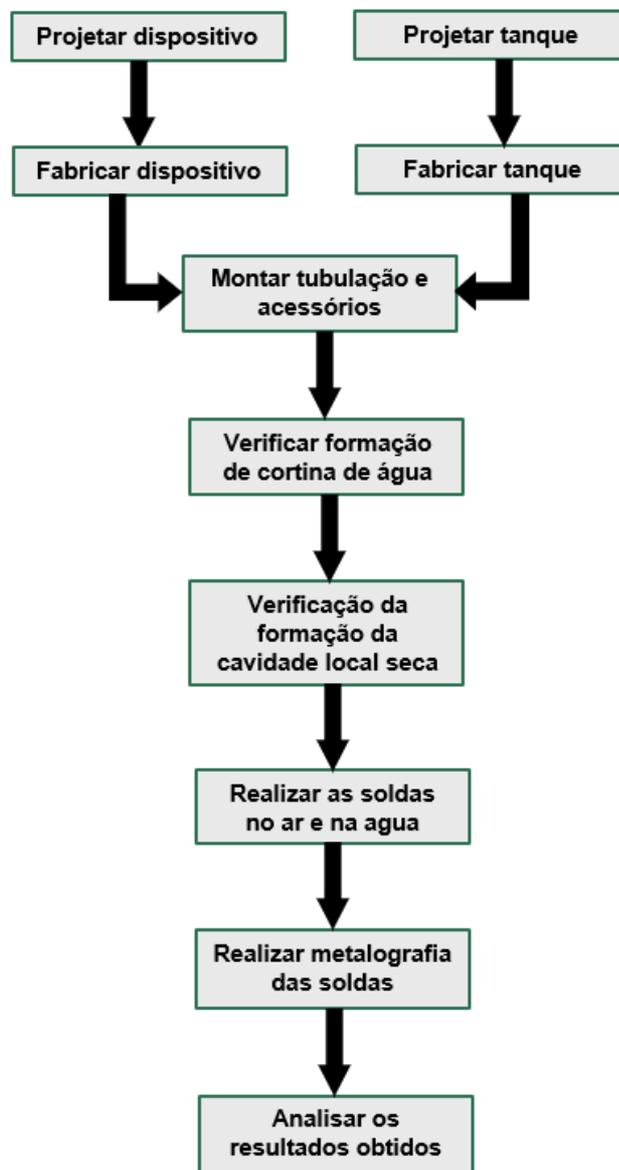


Fonte: Adaptado de Nishiguchi et al (1975).

3 METODOLOGIA

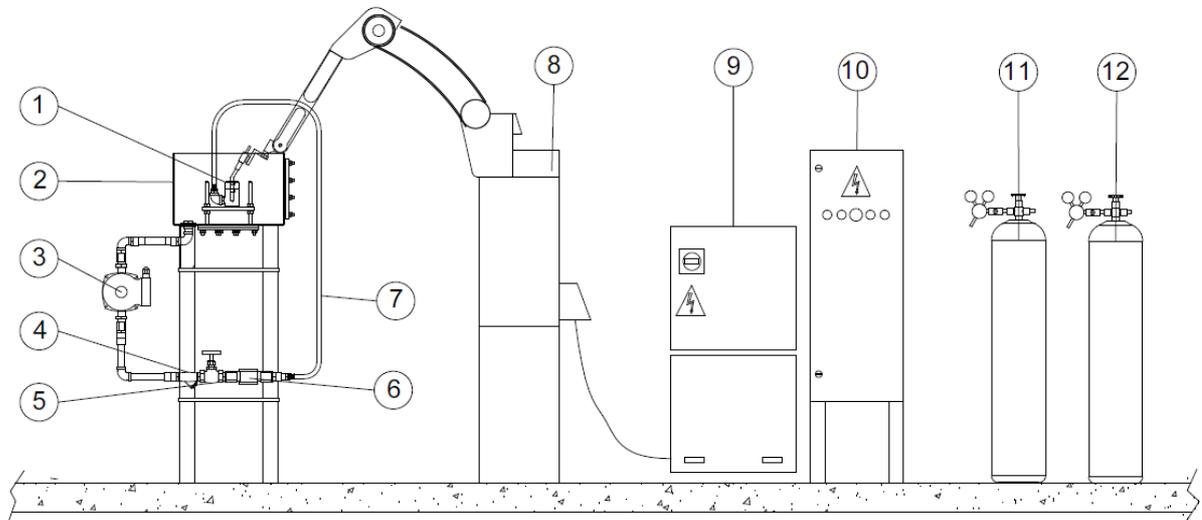
Neste capítulo serão apresentadas todas as etapas desenvolvidas para a realização dos experimentos. Nas figuras 21 e 22 são apresentados o fluxograma de fabricação e ensaios e o diagrama do esquema de montagem das etapas principais no processo de fabricação do dispositivo para solda subaquática no processo MIG/MAG utilizando o robô de solda. Este dispositivo tem por objetivo formar uma cavidade local seca para realização de soldas em ambiente aquoso com a automatização do processo.

Figura 21 – Fluxograma do processo de soldagem subaquática.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 22 – Diagrama do esquema de soldagem



1) BOCAL 2) TANQUE P/ SOLDAGEM SUBAQUÁTICA 3) BOMBA 4) FILTRO Y 5) VÁLVULA DE CONTROLE 6) MEDIDOR DE FLUXO DE ÁGUA 7) MANGUEIRA 8) ROBÔ 9) PAINEL DE SOLDA 10) PAINEL DE COMANDO 11) CILINDRO DE GÁS DE PROTEÇÃO CO₂ 12) CLINDRO DE GÁS DE PROTEÇÃO.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os testes foram realizados no laboratório da UNISINOS em uma célula POWERMIG com manipulador automático Panasonic modelo YW-CFL031 conforme apresentado na figura 23.

Figura 23 – Robô de Soldagem



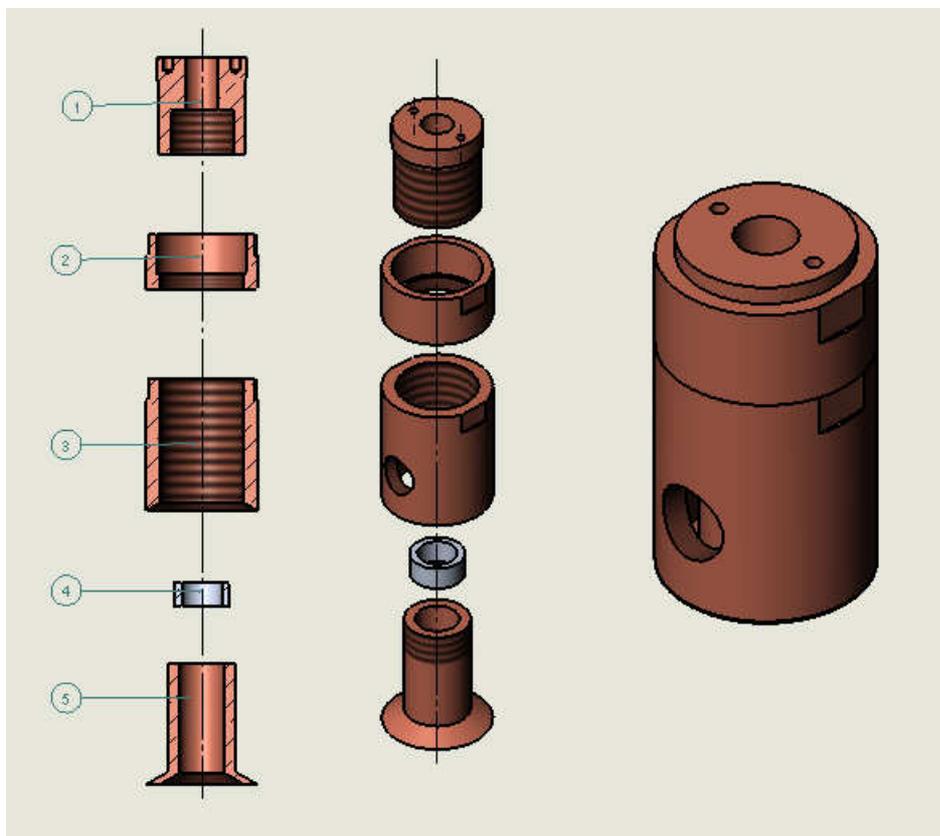
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1 BOCAL PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

Para o desenvolvimento do dispositivo de soldagem utilizou-se o princípio de Nishiguchi *et al* (1975) conforme apresentado na figura 15. A principal função do dispositivo fabricado é proteger a poça de fusão e o arco do contato direto com a água. Conforme Almeida (1992) o dispositivo também tem como finalidade permitir de forma simultânea a saída de um jato de água, do gás de proteção e do arame de solda.

Para a fabricação do dispositivo de soldagem foi desenvolvido um bocal que atendesse as seguintes variáveis do processo: distância do bocal até a chapa a ser soldada (**d**), espessura da cortina de água (**w**), e saída do fluxo de água e gás. Para o ângulo de saída do jato de água θ_0 especificou-se a construção do bocal com tubos internos e externos com saída 30°. O dispositivo foi projetado com diâmetro externo de 50mm e altura de 90mm. Os desenhos detalhados do dispositivo são apresentados no apêndice A deste trabalho.

Figura 24 – Modelamento do dispositivo desenvolvido.



1) BASE SUPERIOR 2) CENTRALIZADOR 3) TUBO EXTERNO 4) BATENTE INTERNO 5) TUBO INTERNO

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 25 – Dispositivo desmontado e montado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme é mostrado na figura 24 e 25, a montagem do dispositivo desenvolvido é composto por 5 componentes. Os componentes apresentam em conjunto uma série de funções conforme citadas abaixo:

- Peça 1: Responsável pela fixação no robô de soldagem e montagem com as demais peças do conjunto para a formação de cavidade local seca;
- Peça 2: Responsável pelo travamento do tubo externo (peça 3) e manter a concentricidade do conjunto;
- Peça 3: Responsável pela entrada de água no sistema e saída do jato de água para formação da cortina de água em conjunto com a peça 5, variando a espessura da cortina de água;
- Peça 4: Responsável pelo travamento da peça 4 e variação da distância do bocal e chapa para o mesmo valor de *stick-out*;
- Peça 5: Responsável em conjunto com a peça 3 da saída de jato de água para a formação da cortina de água, variando a sua espessura e saída do gás de proteção.

Após a montagem de todos os componentes do dispositivo ajustando todas as variáveis do processo, o mesmo deve ser montado na tocha de soldagem do robô de solda. Para a fixação deve-se retirar o difusor instalado na tocha e substituir pelo bocal desenvolvido. A figura 26 apresenta a sequência de operação para a instalação do bocal.

Figura 26 – Sequência para montagem do dispositivo no robô.



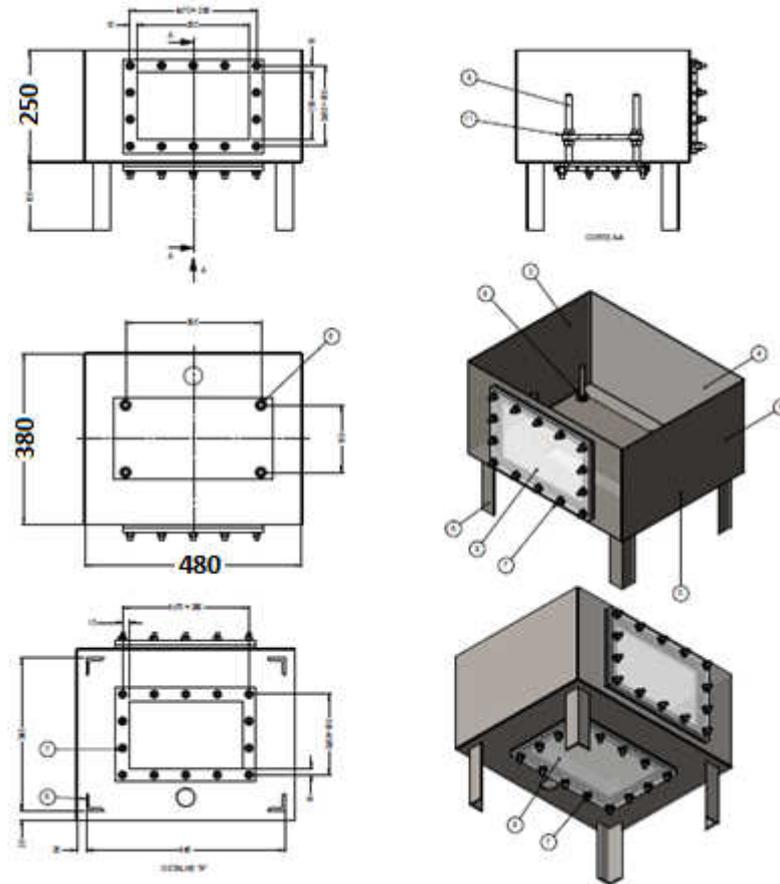
Fonte: Elaborada pelo autor

3.2 TANQUE PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

Para a realização do experimento foi construído um tanque em chapas de aço SAE 1020 com capacidade para 40 litros de água conforme figura 27. As dimensões do tanque foram projetadas a fim de evitar a interferência com o braço do robô e atender de forma adequada a sua localização na mesa de solda localizada na célula robotizada figura 28. O tanque foi projetado com 2 janelas de acrílico uma na parte frontal e outra na parte inferior do tanque com o objetivo inspecionar e registrar os testes de formação da cavidade local seca e o comportamento no momento das soldagens dos corpos de prova. Na parte interna do tanque foram soldados 4 tirantes com a finalidade de fixar e nivelar a chapa de acrílico para visualização do teste de formação de cavidade local seca e também para a fixação da chapa de aço utilizada para a soldagem dos cordões de solda. Na parte inferior do tanque foi previsto furação para saída de água para o sistema de recirculação da água e soldadas cantoneiras com altura que fosse possível uma pessoa fazer a visualização da formação da

cavidade local seca. O desenho de detalhamento da caixa está apresentado no apêndice B deste trabalho.

Figura 27 – Projeto do tanque para soldagem subaquática.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 28 – Tanque para soldagem subaquática.

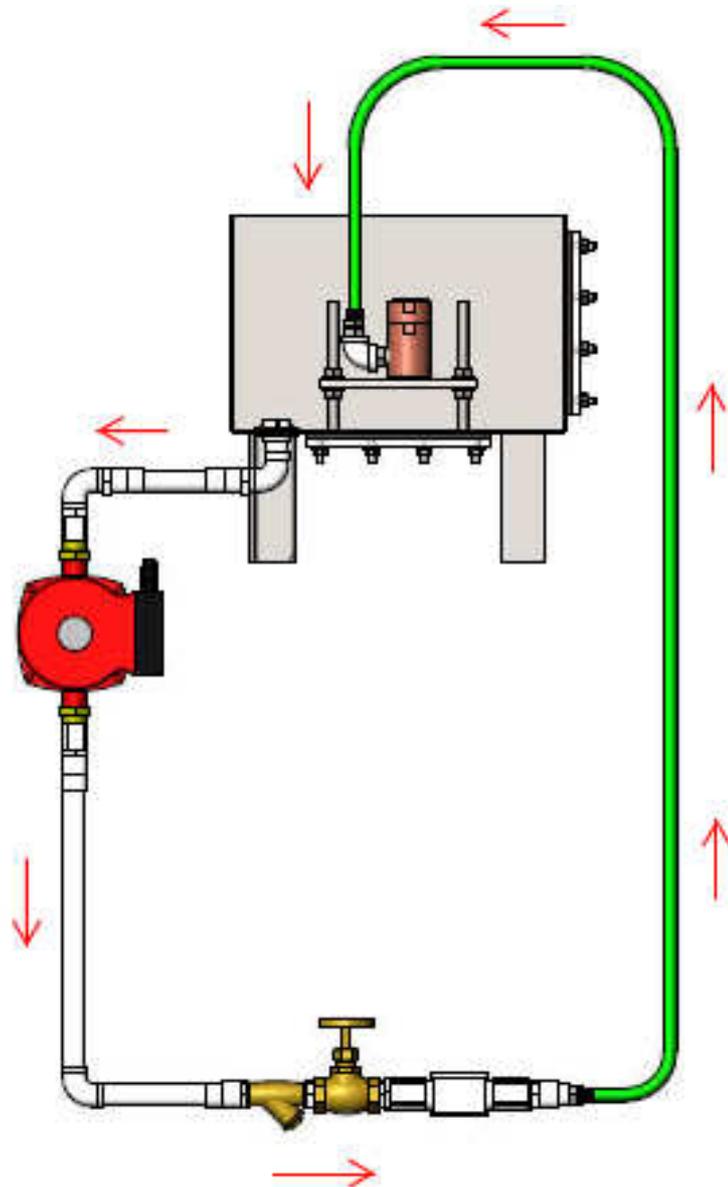


Fonte: Elaborada pelo autor

3.3 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA

Como o sistema consiste em formar a cavidade local seca através de uma cortina de água em alta pressão, projetou-se o sistema utilizando a água do tanque de soldagem, fazendo assim uma recirculação de água no sistema. Para que isso fosse possível montou-se uma tubulação do tanque até o dispositivo de soldagem acoplado no robô de solda. Na figura 29 e 30 apresenta-se o esquema com os materiais utilizados para a montagem desta tubulação. O detalhamento da montagem da tubulação está apresentado no apêndice C do presente trabalho.

Figura 29 – Projeto do sistema de recirculação de água.



Fonte: Elaborada pelo autor

Para fazer o bombeamento da água no sistema utilizou-se uma bomba para circulação de água quente TEXIUS modelo TBHX-BR com potência de 100W e para vazões de 15, 30 e 45 l/min instalada na saída do tanque de testes.

Na tubulação foi inserido um filtro Y roscado para que as partículas encontradas no sistema não interferisse na formação da cortina de água, já que a mesma possui dimensões em torno de 0,5mm e qualquer partícula pudesse ocasionar uma instabilidade no jato de água.

Como a bomba de circulação trabalha com vazões fixas de 15, 30 e 45 l/min instalou-se na tubulação uma válvula de controle globo roscada, afim de regular a vazão de água em valores intermediários aos pré-estabelecidos. Juntamente a válvula conectou-se um medidor de vazão para verificar de forma correta a vazão de água que passava pelo sistema, com o intuito de se obter uma análise precisa das variáveis do processo.

Figura 30 – Montagem do sistema de recirculação de água.



Fonte: Elaborada pelo autor

Com o sistema de recirculação de saída do tanque montado, conectou-se uma mangueira de 1/2" até o dispositivo desenvolvido instalado na tocha do robô, como mostra a figura 31, desta forma finalizando a montagem do sistema completo de recirculação de água figura 32 para formação da cortina de água.

Figura 31 – Montagem do sistema de recirculação de água no dispositivo.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 32 – Montagem do sistema de recirculação de água.



Fonte: Elaborada pelo autor

3.4 MÉTODO PARA FORMAÇÃO DA CAVIDADE LOCAL SECA

Para a verificação da formação de cavidade local foi montado no tanque uma placa de acrílico com dimensões de 10x200x350mm fixadas através dos 4 tirantes soldados no tanque. A placa de acrílico foi montada sobre 4 porcas e arruelas com o intuito de fazer o nivelamento da placa da melhor forma possível. Após a colocação da placa mediu-se com um nível o seu alinhamento, ajustando através das porcas. Com a ajuda do robô de soldagem colocou-se o dispositivo encostado na placa para gabaritar o paralelismo entre placa e dispositivo conforme é apresentado na figura 33.

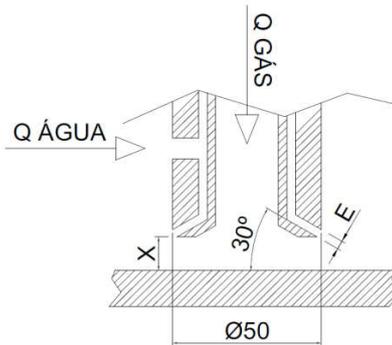
Figura 33 – Nivelamento da chapa de acrílico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o nivelamento foi inserido água doce no tanque para iniciar os testes de formação de cavidade. Nesta etapa foram realizadas uma série de testes variando a distância da chapa até o dispositivo, a espessura da cortina, a vazão de água e a vazão do gás de proteção conforme apresenta a figura 34. No entanto no momento dos testes verificou-se através do medidor de fluxo de água que a bomba de circulação de água fornecia como valor máximo de vazão de água para o sistema um valor de 13 l/min, valor este bem abaixo dos especificados em folha técnica da bomba. Desta forma prosseguiu-se os ensaios com valor constante de vazão de água de 13 l/min em todos os testes realizados.

Figura 34 – Variáveis para formação da cavidade local seca.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Uma série de testes foram realizados variando a medida X que é a distância do bocal até a chapa de acrílico, com valores de 1,2,3,4 e 5mm. As medidas foram ajustadas com o deslocamento realizado pelo robô de soldagem. A medida E que é o ângulo de abertura entre o tubo interno e externo variou-se entre 0,2 e 0,6mm. As alterações do ângulo de abertura foram realizadas através do bocal desenvolvido. Como visto anteriormente o dispositivo é composto por componentes rosqueáveis que permitem a variação desta dimensão. Nos ensaios variou-se a vazão do gás de proteção nos valores de 14, 22 e 30 l/min. para a variação das vazões de gás de proteção, as mesmas eram ajustadas manualmente através do rotâmetro existente na linha do robô de soldagem conforme apresenta a figura 35. Ao decorrer dos testes realizados a formação da cavidade foi analisada visualmente e registrados através da janela de inspeção em acrílico localizada no fundo do tanque, que permitia verificar com clareza o comportamento da cavidade formada.

Figura 35 – Rotâmetro utilizado para variação da vazão do gás.

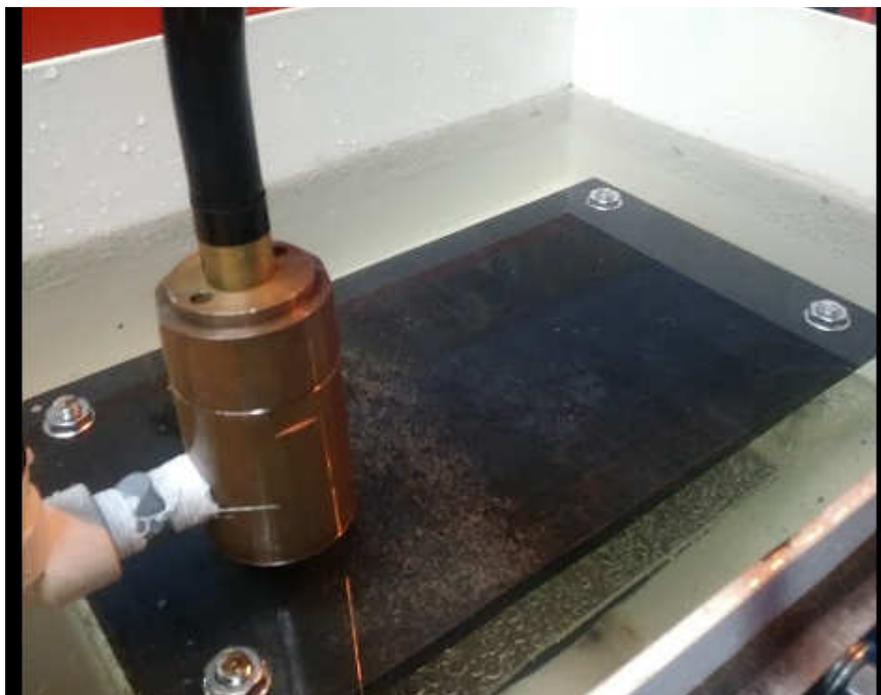


Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5 MÉTODO PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

Após os testes para verificação da formação da cavidade local seca, iniciou-se a soldagem subaquática com o bocal desenvolvido utilizando o robô de solda. Para os testes foram utilizadas chapas de aço SAE 1030 com dimensões de 9,53x200x350mm. A chapa de aço foi fixada nos tirantes internos do tanque para soldagem subaquática sendo realizado o nivelamento através de porcas e arruelas conforme apresentada na figura 36. Com o auxílio do robô de soldagem foram ajustados o paralelismo entre a chapa de aço e o bocal desenvolvido. Após a fixação da chapa de aço o robô foi programado para realizar uma série de cordões de solda, a fim de avaliar o processo de formação de cavidade no momento da soldagem e avaliar as soldas obtidas pelo processo de soldagem subaquática. Para avaliação e comparação foram realizados em cada uma das chapas uma solda realizada no ar com os mesmos parâmetros utilizados na soldagem subaquática.

Figura 36 – Nivelamento da chapa para soldagem.



Fonte: Elaborada pelo autor

Para a realização dos testes foram realizados cordões de soldas bead-on-plate na posição plana ao longo da chapa. Na tabela 1 apresentam-se os parâmetros utilizados na soldagem subaquática e no ar.

Tabela 1 – Parâmetros de soldagem

Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (m/min)	Gás de proteção	Eletrodo
16	120	0,5	75% Ar 25% CO ₂	ASME SFA 5.18 ER 70S-6 1,2m

Fonte: Elaborada pelo autor

Em relação a soldagem subaquática na tabela 2 apresentam-se os parâmetros selecionados para a realização das soldas. Na figura 37 apresenta-se a tocha em processo de soldagem no meio aquoso.

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem subaquática.

X(mm) Distancia bocal até a chapa	E(mm) Espessura do jato de água	Vazão do gás (l/min.)	Vazão da água (l/min.)	Stick-out
3	0.5	14	13	15

Fonte: Elaborada pelo autor.

Abaixo nas tabelas 3 e 4 são apresentados a composição química do arame e da chapa utilizada para a realização da soldagem subaquática, para posterior análise.

Tabela 3 – Composição química do arame de solda.

Arame	C	Mn	Si	S	P	Mo
AWS ER70S-6	0,07-0,15	1,40-1,80	0,80-1,15	<0,035	<0,025	-

Fonte: Adaptado de ESAB (2018).

Tabela 4 – Composição química da chapa para soldagem.

CHAPA	Espessura	C	Mn	Si	S	P
SAE 1030	6,0-101,6	0,28-0,34	0,60-0,90	0,80-1,15	0,035 máx.	0,030 máx.

Fonte: Adaptado de Usiminas (2018).

Figura 37 – Imagem dispositivo na soldagem subaquática



Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados de todos os testes realizados na execução do trabalho, analisando-se os resultados obtidos em cada etapa do projeto.

4.1 VERIFICAÇÃO DA FORMAÇÃO DA CORTINA DE ÁGUA

Conforme é mostrado na figura 38, quando o sistema é acionado ligando a bomba de circulação de água, fazendo que ocorra uma recirculação de água através do bocal. Neste momento é verificado que o dispositivo em relação a formação da cortina atende os requisitos propostos na saída de água na cavidade. A função da cortina de água no processo é que a mesma gere uma circulação de água no interior do bocal fazendo que ocorra um diferencial de pressão no interior da peça e a água que circunda o ambiente tenha a tendência de sair da região interna criando uma cortina de água em alta pressão.

Figura 38 – Verificação da cortina de água.



Fonte: Elaborada pelo autor

Para verificação da cortina foram testadas aberturas entre 0,2 e 0,6mm. Nas espessuras de cortina **E** testadas entre 0,3 e 0,6mm as cortinas de água geradas atendiam a função proposta. Já para aberturas de 0,2mm a cortina de água se manteve instável, dessa forma nessas condições não seria aconselhável a utilização no teste de formação de cavidade, portanto para este valor de cortina não foram utilizados no teste. A possível ocorrência da não formação de cortina para o valor de 0,2mm está ligado ao fato comentado no capítulo anterior, que se verificou que a

bomba utilizada não estava atendendo valores especificados em catálogo. Com valores mais baixos de vazão de água e também ao fato de se ter um estreitamento considerável na área para passagem da água gerou uma perda de carga que a bomba utilizada não conseguiu vencer para manter o fluxo de água constante.

4.2 VERIFICAÇÃO DA FORMAÇÃO DA CAVIDADE LOCAL SECA

Como visto anteriormente no subcapítulo 3.4 para o teste de formação de cavidade local seca, foram testadas diversas situações onde se modificavam através do bocal, com a utilização do robô e na linha de gás da célula robotizada alterando a vazão do gás. Abaixo na tabela 5 é mostrado todos os resultados coletados de forma visual das diversas situações apresentadas. Esses resultados eram visualizados pela janela de inspeção em acrílico localizada no fundo do tanque. Os mesmos valores eram preenchidos na planilha de ensaios apresentada no apêndice D deste trabalho.

Os valores apresentados na tabela 5 foram realizados com uma altura de coluna de água de 40 mm. Em alturas de coluna de água acima deste valor não se consegue a formação completa da cavidade local seca. A razão pela qual tem-se esse problema é a limitação da vazão de água fornecida no sistema que precisariam valores superiores de vazão de água. Desta forma como a pressão da coluna de água são maiores as cortinas de jato d'água formada por uma vazão de 13 l/min. não sustenta perfeitamente a entrada de água na região interna ao bocal fazendo que a formação de cavidade seja instável para diversas distâncias entre bocal e chapa, mesmo que sejam inseridos maiores valores de vazão de gás no sistema.

A vazão de gás no processo de cavidade local seca atende dois requisitos básicos, sendo o primeiro a proteção da poça de fusão e o segundo de esvaziar e sustentar a entrada de água na cavidade interna do bocal, fazendo com que ocorra a formação de uma bolsa de ar ao redor da poça de fusão.

Portanto o método de formação de cavidade local seca realizada com a utilização do bocal desenvolvido com a utilização do robô considera-se eficaz. Para maiores alturas de coluna de água é necessário que a bomba atenda vazões maiores para que não se tenha a entrada de água na região da solda.

Tabela 5 – Tabela de resultados da formação de cavidade.

TESTE	X (mm)	E (mm)	Vazão Gás (l/min.)	Vazão água (l/min.)	FORMAÇÃO DA CAVIDADE		
					SEM	INSTÁVEL	COM
1	1	0,5	14	13			X
2	1	0,5	22	13			X
3	1	0,5	30	13			X
4	2	0,5	14	13			X
5	2	0,5	22	13			X
6	2	0,5	30	13			X
7	3	0,5	14	13			X
8	3	0,5	22	13			X
9	3	0,5	30	13			X
10	4	0,5	14	13		X	
11	4	0,5	22	13		X	
12	4	0,5	30	13		X	
13	5	0,5	30	13	X		
14	5	0,5	22	13	X		
15	1	0,4	14	13			X
16	1	0,4	22	13			X
17	1	0,4	30	13			X
18	2	0,4	14	13			X
19	2	0,4	22	13			X
20	2	0,4	30	13			X
21	3	0,4	14	13			X
22	3	0,4	22	13			X
23	3	0,4	30	13			X
24	4	0,4	14	13		X	
25	4	0,4	30	13		X	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Abaixo nas figuras 39 e 40 pode-se observar o comportamento da formação da cavidade local. A figura 39 apresenta a formação da cavidade local estável para uma distância de 3 mm do bocal para o acrílico e vazão de gás de proteção em 14 l/min conforme teste 7 da tabela 5. A Figura 40 apresenta a formação da cavidade instável para uma distância de 4mm da chapa até o bocal e vazão de gás de 14 l/min de acordo com o teste 10 da tabela 5.

Figura 39 – Imagem formação da cavidade local seca estável.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 40 - Imagem formação da cavidade local seca instável

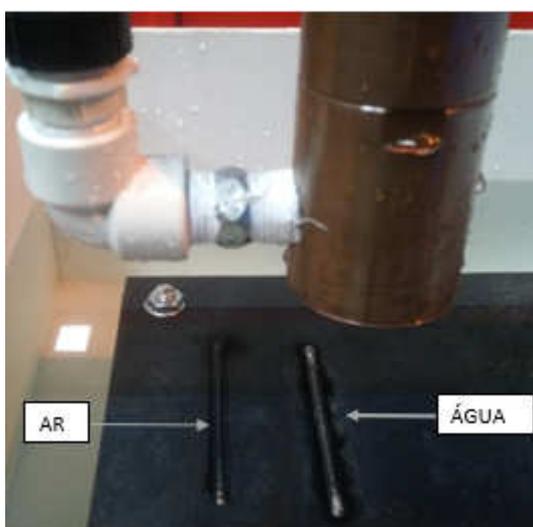


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 VERIFICAÇÃO DA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

Ao finalizar os testes para verificação da formação de cavidade local seca com os parâmetros de formação de cavidades conhecidos iniciou a realização das soldas. No primeiro cordão de solda foi realizada utilizando os parâmetros de tensão, corrente e velocidade de soldagem conforme apresentado na tabela 1. Nas soldas realizadas na água utilizaram-se os mesmos parâmetros de soldagem no ar. Optou-se por manter estes valores constantes, pois fora dos valores informados não há uma parametrização de soldagem. Na figura 41 é apresentado os dois primeiros cordões de solda. Para que se fosse possível comparar as soldas subaquáticas realizou-se primeiramente um cordão de solda no ar.

Figura 41 – Cordões de soldas no ar e na água.

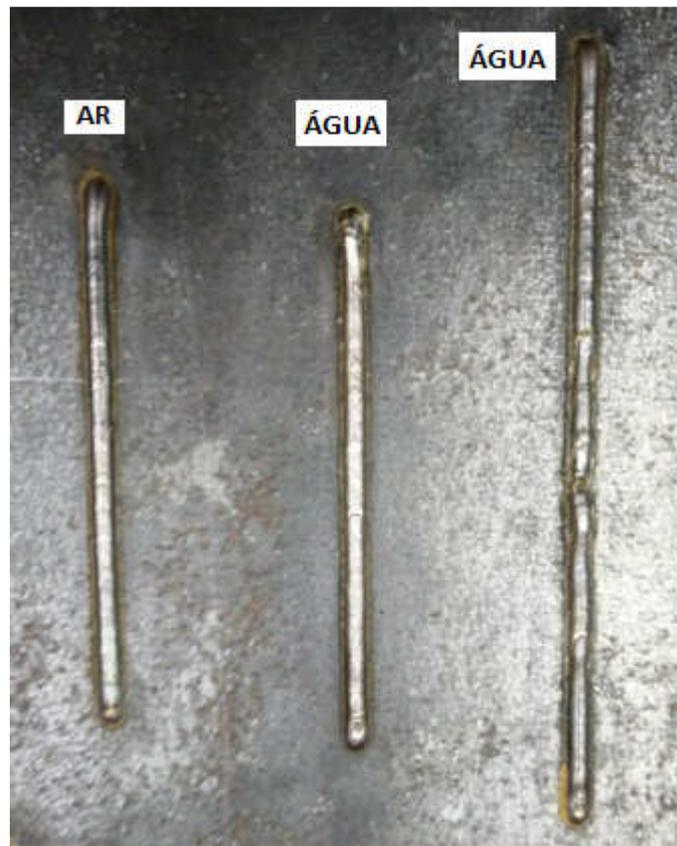


Fonte: Elaborada pelo autor

Ao realizar as soldas verificou-se que com uma coluna de água de 40mm para a soldagem com a velocidade de soldagem em 0,5m/min a cortina de água e gás formadas pelas vazões de água e gás não eram o suficiente para manter a cavidade local isenta de água, ocasionando em um cordão de solda sem continuidade. Como a vazão que a bomba fornecia para o sistema limitava-se a 13 l/min a solução para se conseguir soldas idênticas a da superfície foi diminuir a altura da coluna de água, reduzindo assim a pressão exercida na cortina de água com a tocha em movimentação, mantendo a cavidade estável.

Na figura 42 são apresentados 3 cordões de solda um realizado no ar e os outros 2 cordões realizados na água com os mesmos parâmetros utilizados na solda. Verifica-se que nas soldas no ar e na água apresentam basicamente as mesmas características de cordão no que diz respeito a sua continuidade. Na terceira solda o cordão apresentou uma descontinuidade, fato que pode ter ocorrido pela falha de deposição do arame na soldagem, problemas estes que ocorrem também em soldas feitas no ar com a utilização do robô de solda.

Figura 42 - Cordões de soldas no ar e na água.

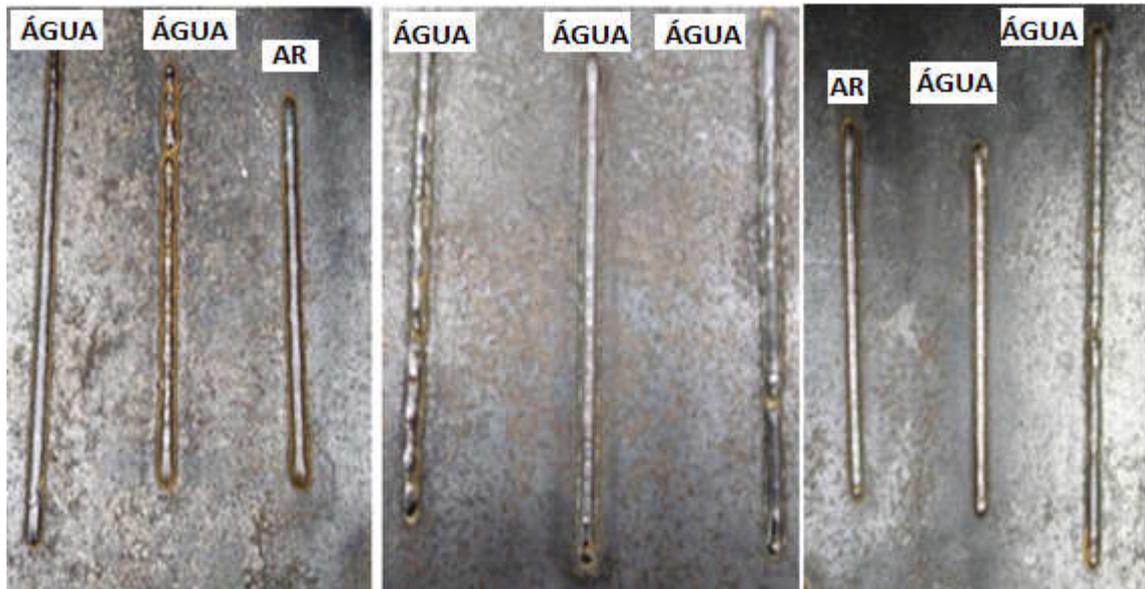


Fonte: Elaborada pelo autor

Após a finalização de uma série de soldas apresentadas na figura 43 selecionou-se um cordão de solda realizada no ar e outro cordão de solda obtido pelo processo de soldagem subaquática. Conforme é mostrado na figura 44 selecionou-se dois corpos de prova, um fabricado no ar e outro corpo de prova obtido na água localizados na mesma região de solda. Após o corte dos corpos de prova, foi realizado o ensaio metalográfico. Com as etapas de embutimento, lixamento e polimento

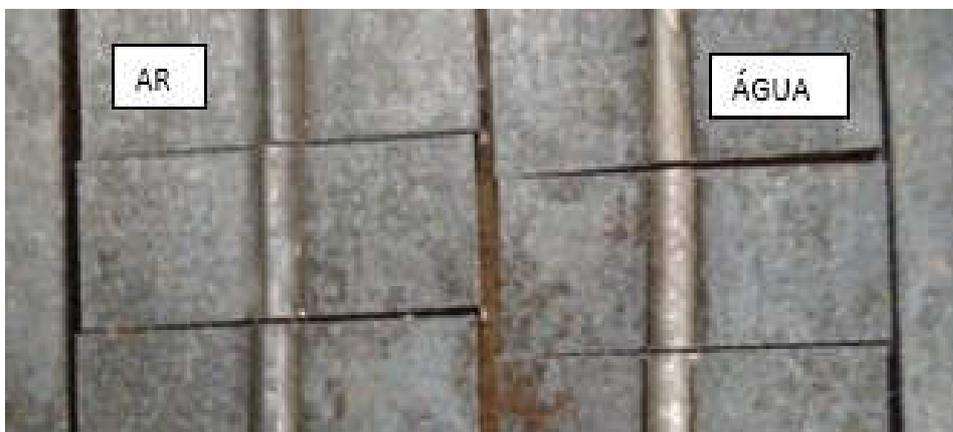
realizadas, as duas amostras foram analisadas no microscópio onde retirou-se as imagens para posterior análise.

Figura 43 – Cordões de soldas realizados no ar e na água.



Fonte: Elaborada pelo autor

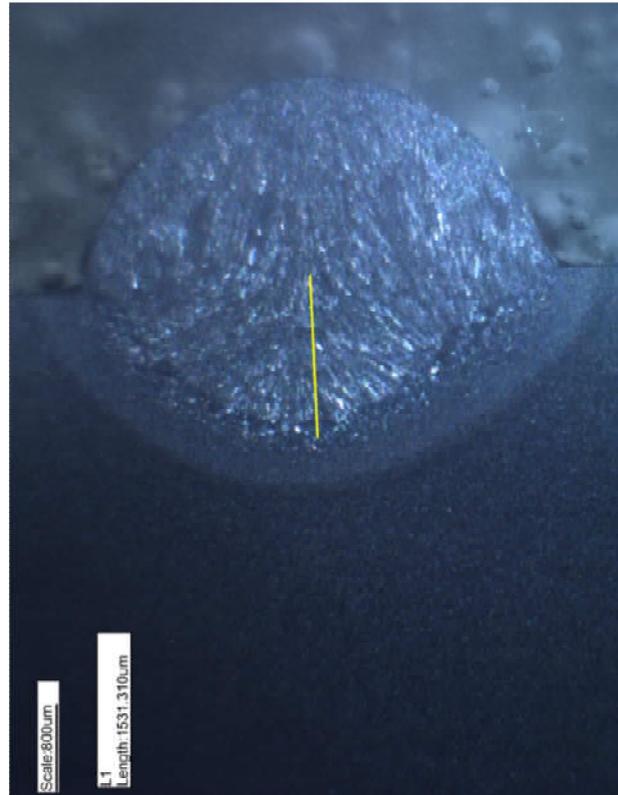
Figura 44 – Seleção do corpo de prova para análise.



Fonte: Elaborada pelo autor

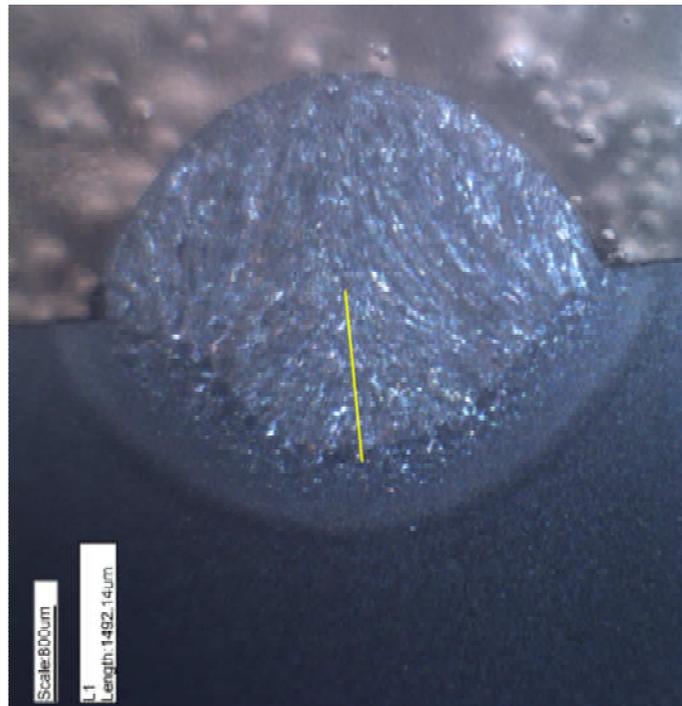
No primeiro momento através do programa *TSView7* em conjunto com o microscópio presente no laboratório de análises metalográficas da UNISINOS foram retiradas e selecionadas as imagens da microestrutura. Dessa forma através do programa citado acima foram obtidas as medidas de penetração e largura do reforço para cada amostra do corpo de prova dos cordões soldados no ar e na água. As figuras 45, 46, 47 e 48 apresentam os resultados das medições.

Figura 45 – Medição penetração cordão ar. Reagente Nital.



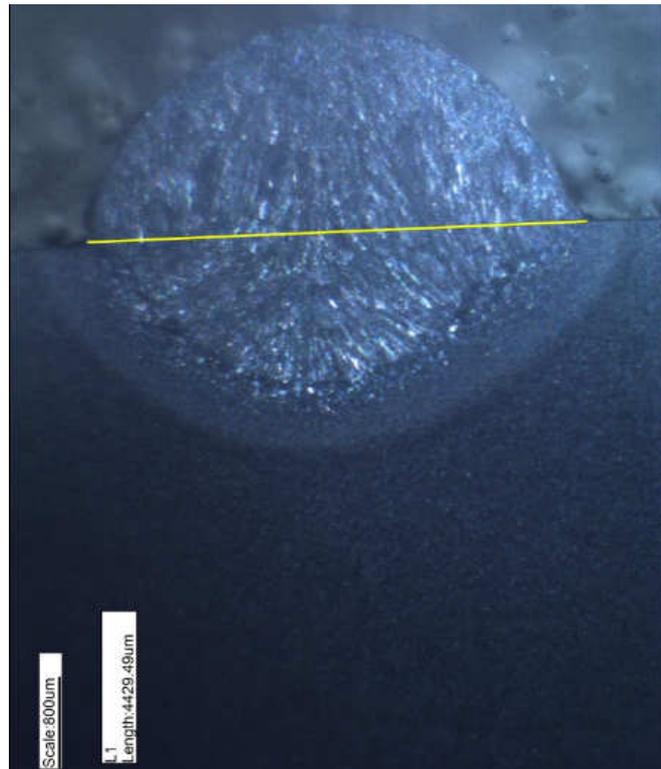
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 46 – Medição penetração cordão água. Reagente Nital.



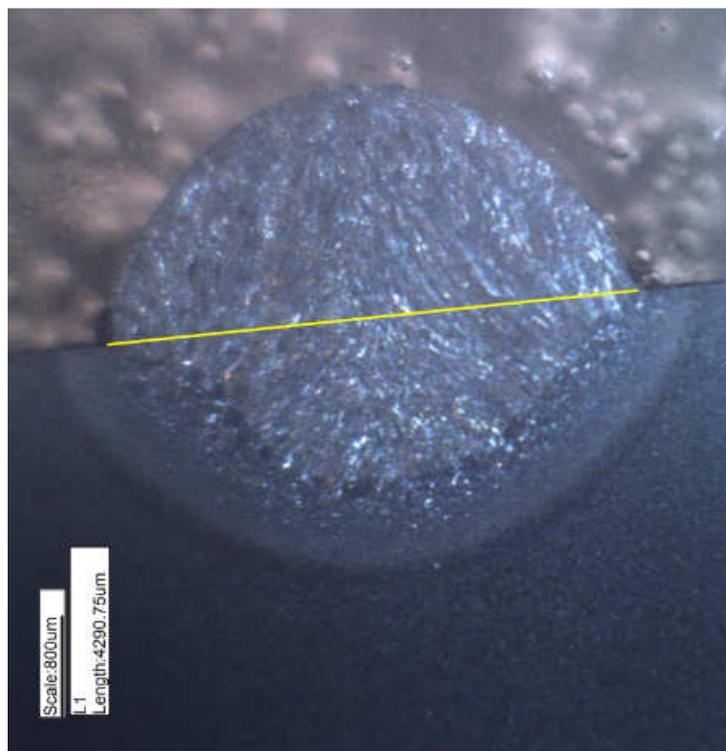
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 47 - Medição largura cordão ar. Reagente Nital.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 48 - Medição largura cordão água. Reagente Nital.

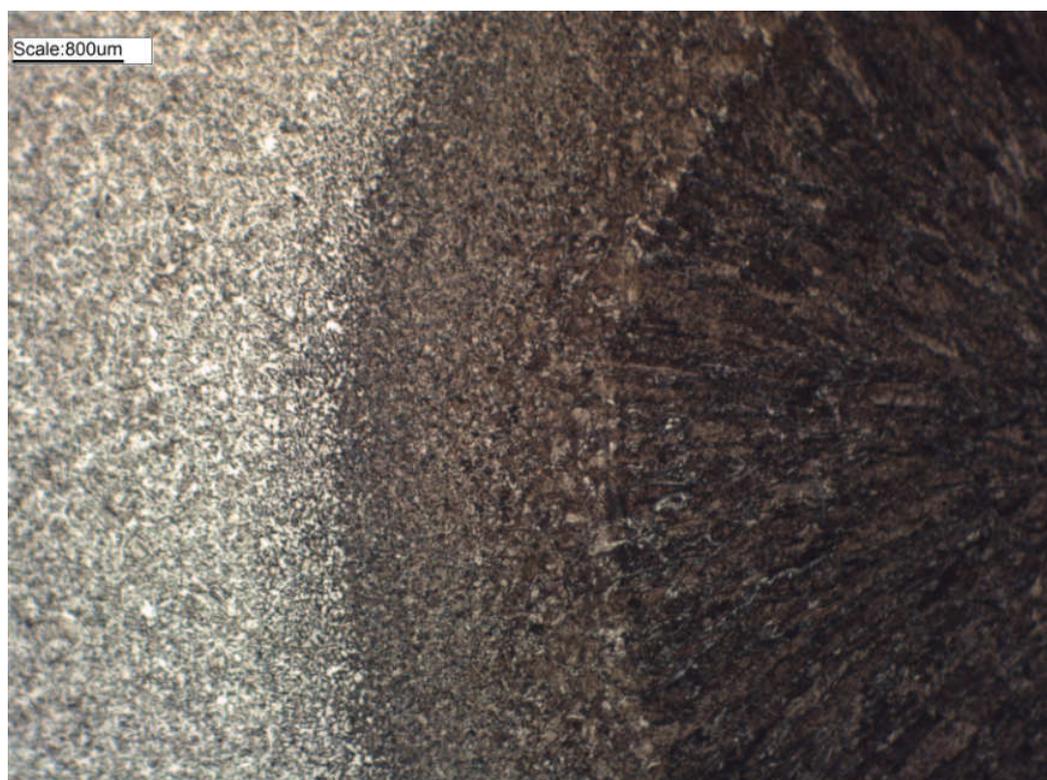


Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme é apresentado nas figuras acima os valores de penetração mostram o valor de 1,531mm conforme mostrado na figura 45 para soldas no ar e para soldas realizadas na água a figura 46 indica um valor igual a 1,492mm. No que se refere a largura do reforço para a solda no ar tem o valor de 4,429mm conforme apresentado na figura 47 enquanto para soldas na água o valor foi de 4,290mm como mostra a figura 48. As amostras indicam valores muito próximos para as duas amostras, as diferenças se dão pelo fato da alta taxa de resfriamento das soldas realizados na água tenham ocasionado a diminuição desses valores.

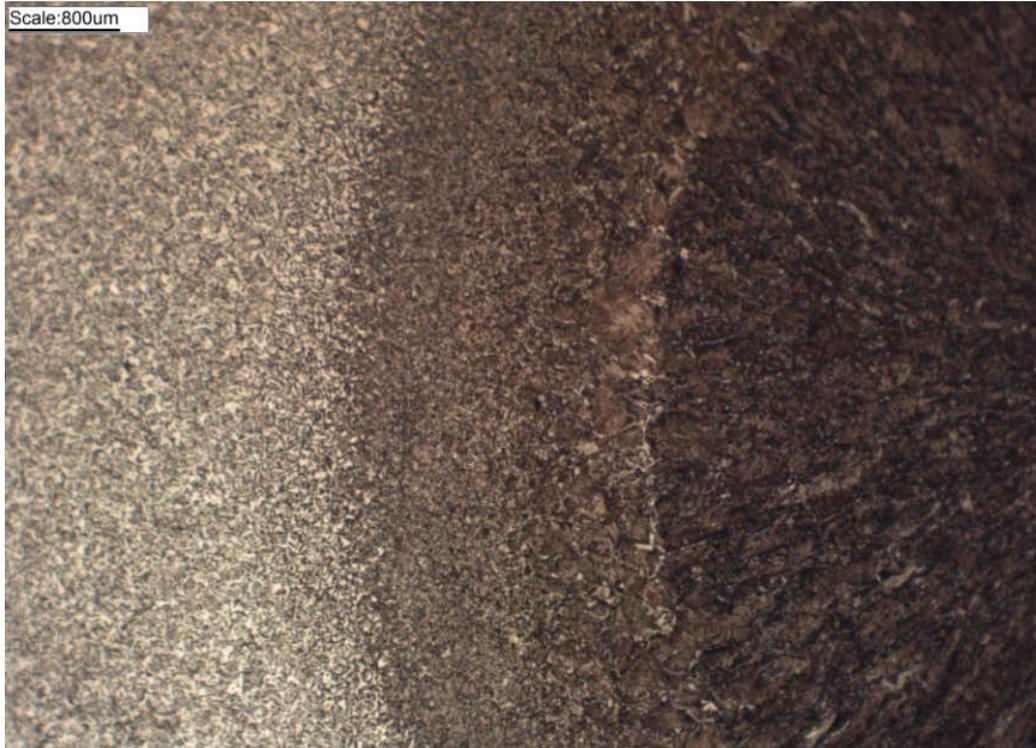
Após a análise referente aos valores de penetração e largura do reforço foram coletadas imagens da zona afetada pelo calor nos corpos de prova das soldas realizadas na água e nos corpos de prova das soldas realizadas no ar. Primeiramente coletaram-se as imagens da ZAC com uma ampliação de 40x, posteriormente foram obtidas as imagens da microtextura da ZAC em 100x. Nas figuras 49,50,51 e 52 podem ser observadas as microestruturas presentes no cordão das soldas realizadas na água e no ar. Como é apresentada nas figuras abaixo as microestruturas apresentam a predominância de martensita tanto nas soldas realizadas no ar como nas soldas realizadas na água na região da ZAC e do metal de solda.

Figura 49 – Microestrutura da ZAC solda ar. Reagente Nital.



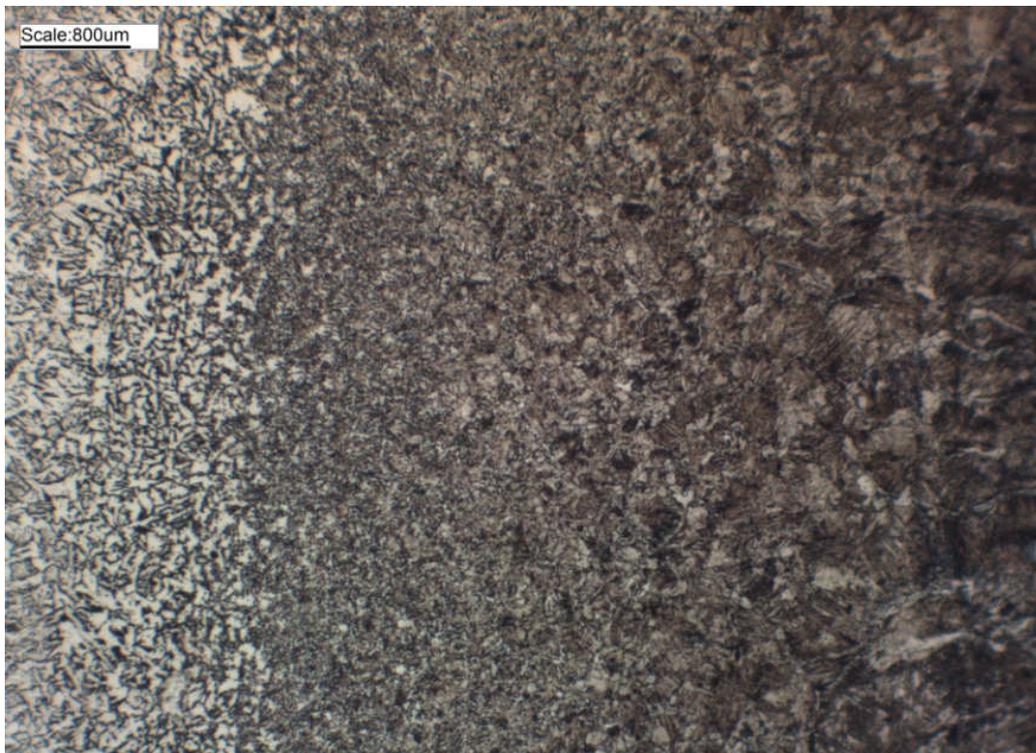
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 50 - Microestrutura da ZAC solda água. Reagente Nital.



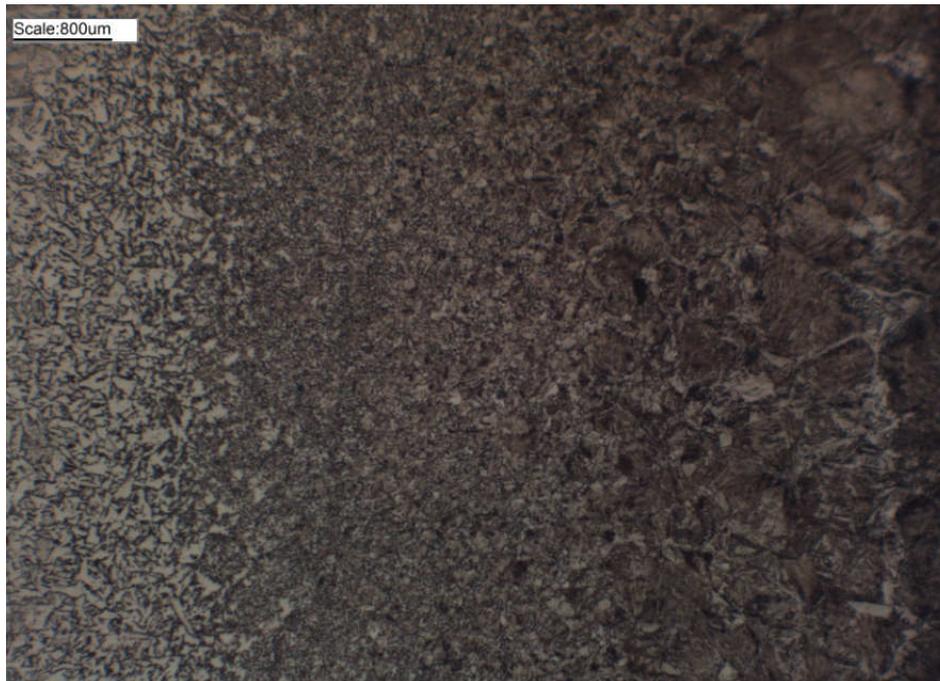
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 51 – Microestrutura da ZAC solda ar. Reagente Nital.



Fonte: Elaborada pelo autor.

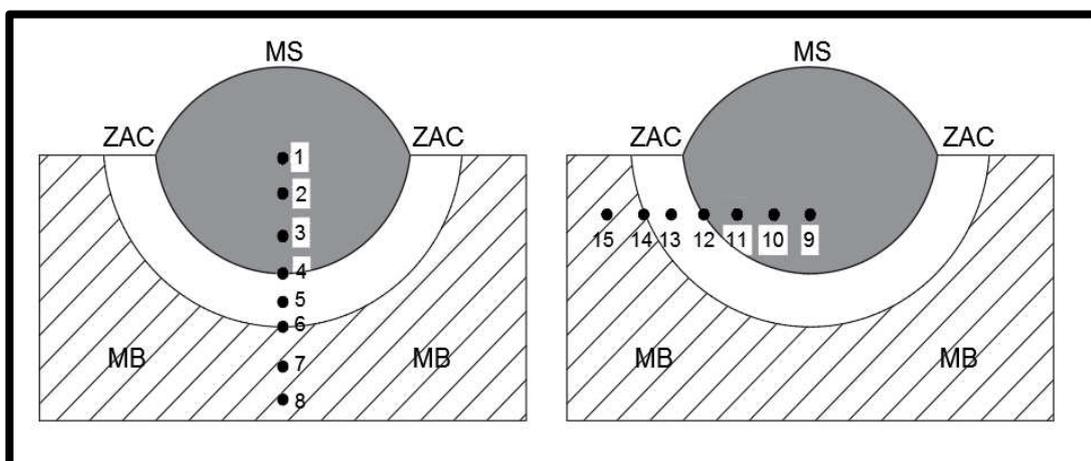
Figura 52 - Microestrutura da ZAC solda água. Reagente Nital.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a verificação da microestrutura na região da solda mediu-se a micro dureza da junta soldada. Os ensaios foram realizados no laboratório de ensaios da UNISINOS com a utilização do Durômetro Micro Vickers Mitutoyo. Na figura 53 é apresentado os pontos para análise de micro dureza. Para cada ponto foi retirado 3 valores e a partir obteve-se a média das durezas, para que se tenha uma visão global da microestrutura. Estes valores foram coletados de uma amostra dos cordões das soldas realizadas no ar e na água.

Figura 53 – Marcações dos pontos para análise da micro dureza.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas tabelas 6 e 7 são demonstrados os valores coletados de micro dureza para as amostras dos cordões de soldas realizadas no ar e na água. Os valores coletados indicam valores dentro dos padrões de micro dureza tanto para as soldas realizadas no ar como para soldas feitas na água conforme apresentados nas figuras 54 e 55.

Tabela 6 - Valores de micro dureza pontos 1 ao 8.

PONTOS	DUREZA HV 0.2	
	AR	ÁGUA
1	354,8	371,3
2	368,6	379,4
3	382,4	387,6
4	407,6	415,7
5	412,6	427,2
6	322,2	372,4
7	138,6	173,6
8	126,3	152,5

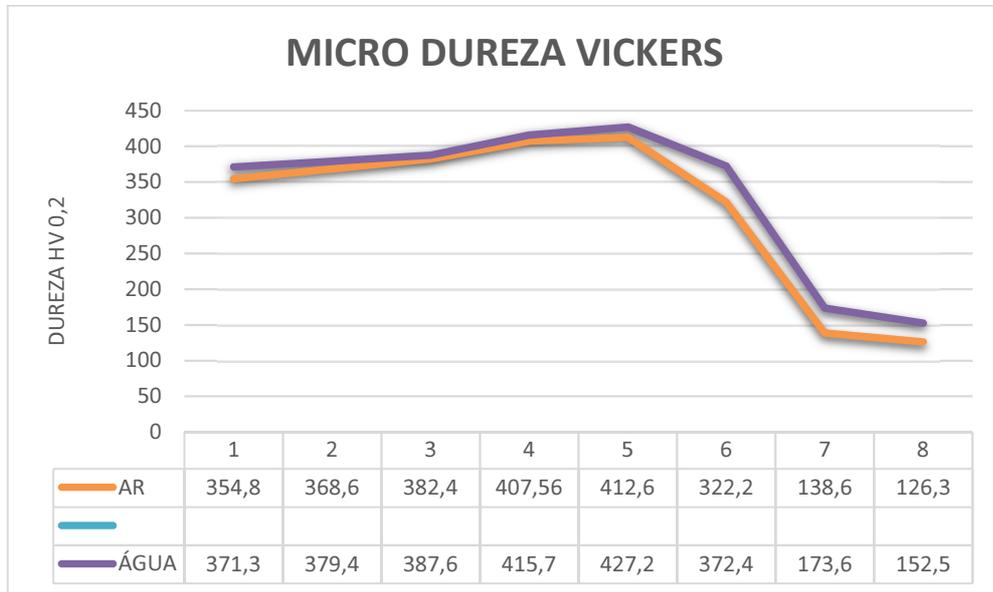
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 7 - Valores de micro dureza pontos 9 ao 15.

PONTOS	DUREZA HV 0.2	
	AR	ÁGUA
9	332,5	366,7
10	357	372,4
11	373,2	377,1
12	376,4	384,4
13	348,6	396
14	186,6	194,2
15	173,3	174,5

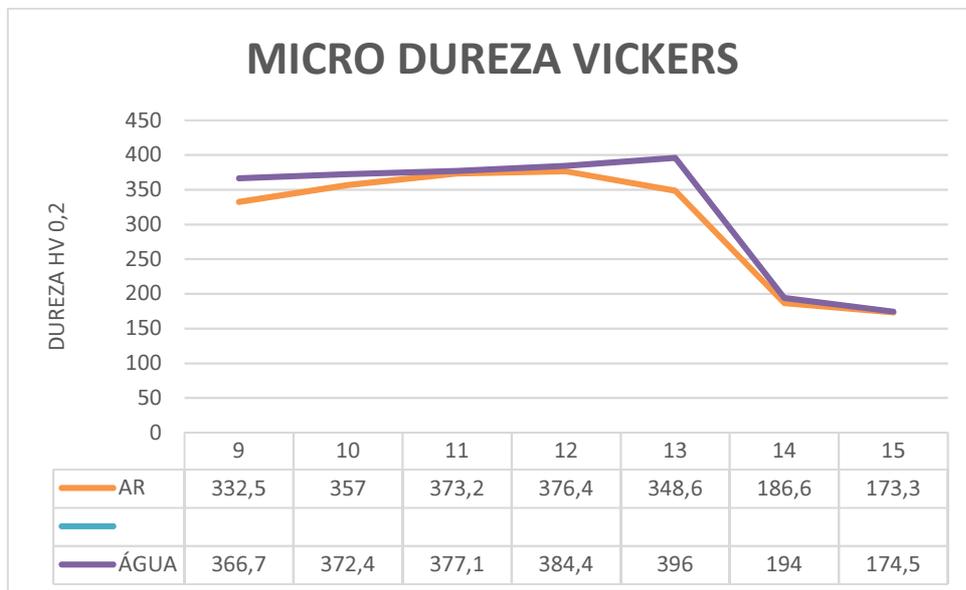
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 54 – Valores de micro dureza pontos 1 ao 8.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 55 - Valores de micro dureza pontos 9 ao 15.



Fonte: Elaborada pelo autor.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se com esse trabalho que o dispositivo desenvolvido é capaz de formar a cavidade local seca para soldagem no processo MIG/MAG. No entanto necessita-se efetuar a troca da bomba de recirculação para que se obtenham maiores valores de distância bocal até a chapa a ser soldada para que desta forma também se consiga alcançar maiores profundidades para a execução da solda.

O sistema de bombeamento de água apresentou ser eficaz para a formação de cortina de água para a formação da cavidade local seca, porém o sistema deve fornecer maiores valores de vazão de água para que a cortina em alta pressão juntamente com o gás de proteção evite a entrada de água na região da solda em distâncias maiores entre chapa e bocal.

É possível afirmar que a tocha de soldagem adaptada através do dispositivo desenvolvido consegue-se soldas realizadas na água similares com as realizadas no ar. No entanto deve-se ter parâmetros mais conhecidos de corrente, tensão e velocidade de soldagem no ar para que se consiga realizar soldas na água com maior precisão alterando as variáveis acima.

As soldas realizadas na água apresentaram menores valores de penetração e largura do reforço das realizadas no ar mantendo os mesmos parâmetros de soldagem, possivelmente decorrente das altas taxas de resfriamento. Quanto a análise da microestrutura as soldas realizadas na água apresentaram maior índice de martensita no metal de solda. Para os testes de micro dureza realizados nas amostras das soldas, ambas as microestruturas indicaram uma predominância de martensita. As soldas realizadas na água apresentaram valores maiores de micro dureza em relação as soldas realizadas no ar devido a velocidade de resfriamento causado pelo ambiente aquoso. No que diz respeito a formação de trincas e porosidades tanto as soldas produzidas no ar como as soldas realizadas na água não constatou-se a presença dos defeitos citados acima.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o decorrer do desenvolvimento do trabalho verificou-se a possibilidade de estudos em outras questões pertinentes ao estudo de soldagem subaquática no processo MIG/MAG com a utilização do robô de solda. Dentre elas pode-se citar:

- Realizar soldas com chanfro e analisar através de ensaios destrutivos e não destrutivos conforme norma para soldagem subaquática;
- Realizar soldas fora da posição plana com o auxílio do robô de soldagem;
- Realizar um estudo paramétrico em soldas no ar, com superfícies planas e com chanfros variando os valores de tensão, corrente e velocidade de soldagem com a utilização do robô;
- Desenvolver um bocal com maiores diâmetros e modificação no ângulo de saída da cortina de água e avaliar a perda de carga existente no bocal para entrada de água;
- Substituir a cortina de água por cortina utilizando ar comprimido para verificação da cavidade formada e dos cordões de solda obtidos;
- Desenvolver dispositivo que possa alcançar maiores profundidades para verificação da formação de cavidade e solda;

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Daniel Soares de. **Soldagem subaquática com MIG/MAG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1992.

ARIAS, Ariel Rodriguez. **Avaliação da propagação de trinca por fadiga em soldas subaquática molhada**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Soldagem subaquática. **3º Workshop Internacional de Manutenção Industrial**. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/109522128-Soldagem-subaquatica-soldagem-subaquatica-lrss.html>>. Acesso em: 25 abr. 2019

CARVALHO, Gabriel Mendes de Almeida. **Efeito das técnicas de esmerilhamento e inversão de sentido nas propriedades de soldas multipasses subaquáticas molhadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017.

CHHANIYARA, Akhil. Underwater Welding. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, [s. l.], v. 4, p. 63-72, 2014. Disponível em: <<http://www.tjprc.org/publishpapers/--1390642819-8.%20Underwater%20welding.full.pdf>>. Acesso em: 8 mai. 2019.

ESAB, **Apostila de soldagem MIG/MAG**. Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019

FYDRYCH, D.; ROGALSKI, G. Effect of underwater local cavity welding method conditions on diffusible hydrogen content in deposited metal. **Welding International**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 196–202, 2013. Disponível em: <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=85587903&lang=pt-br&site=eds-live>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

GUO, N. et al. Underwater local dry cavity laser welding of 304 stainless steel. **Journal of Materials Processing Tech**, [s. l.], v. 260, p. 146–155, 2018. Disponível em: <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0924013618302218&lang=pt-br&site=eds-live>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

HU, Y. et al. Microstructure evolution and mechanical performance of underwater local dry welded DSS metals at various simulated water depths. **Journal of Materials Processing Tech**, [s. l.], v. 264, p. 366–376, 2019. Disponível em: <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0924013618304205&lang=pt-br&site=eds-live>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

LABANOWSKI, J.; FYDRICH, D.; ROGALSKI, G.. Underwater Welding – A Review. **Advances in Materials Sciences**, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/250166825_Underwater_Welding_-_A_Review/citation/download>. Acesso em: 18 abr. 2019.

LIBERATO, Frank de Mello; MODENESI, Paulo J.; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Aspectos Operacionais da Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodos Revestidos Inoxidável Austenítico. **Soldag. insp.**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 277-291, jun. 2018. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242018000200277&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10 mai. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si2302.13>.

LIU, L. et al. Research on the effect of welding speed on the quality of welding seam based on the local dry underwater welding. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**, 2017. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/274/1/012041/pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

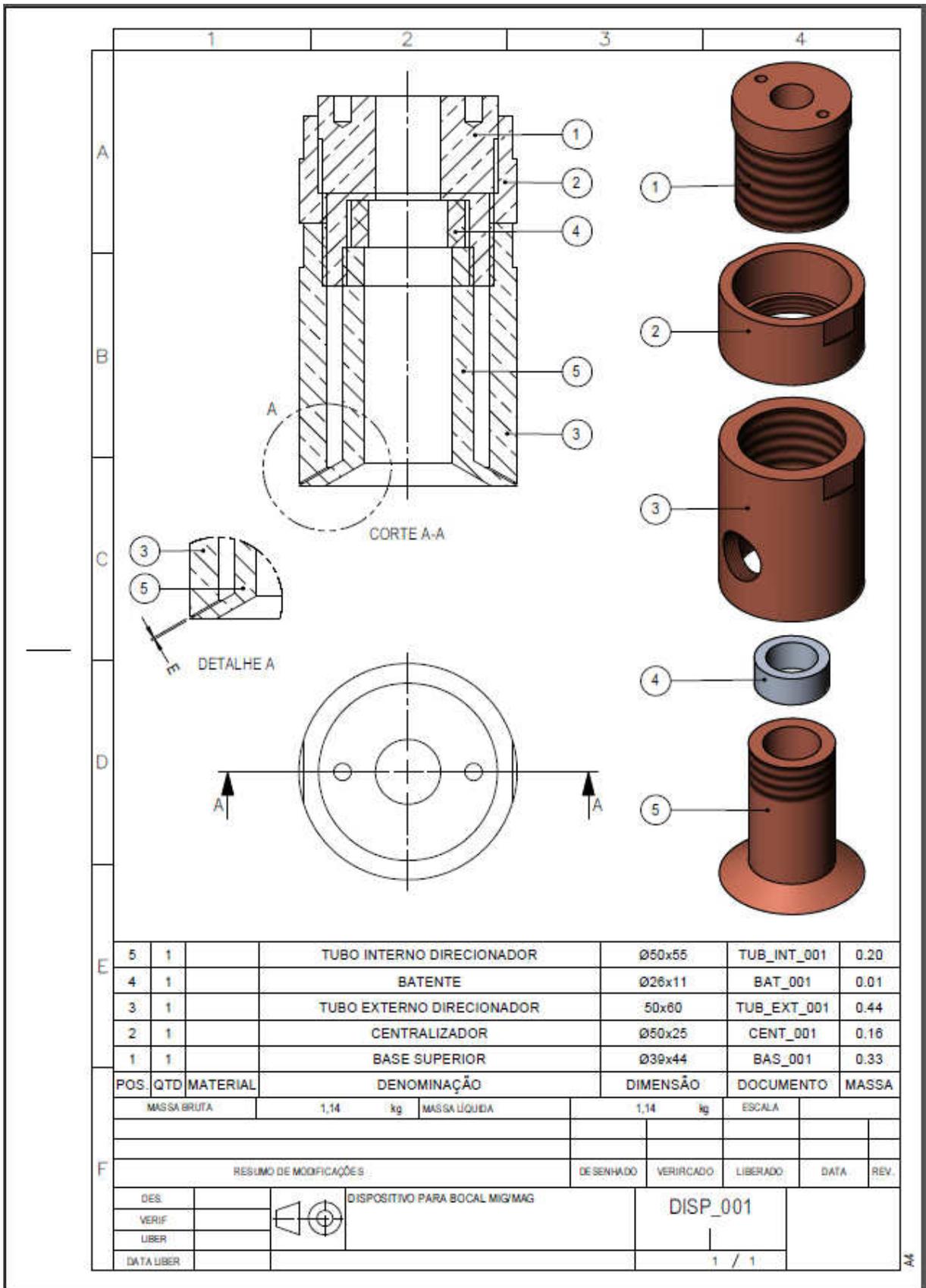
O'BRIEN, A.; GUZMAN, C. **Welding Handbook**. Miami, FL: American Welding Society, 2011. v.Ninth edition Disponível em: <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1839116&lang=pt-br&site=eds-live>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

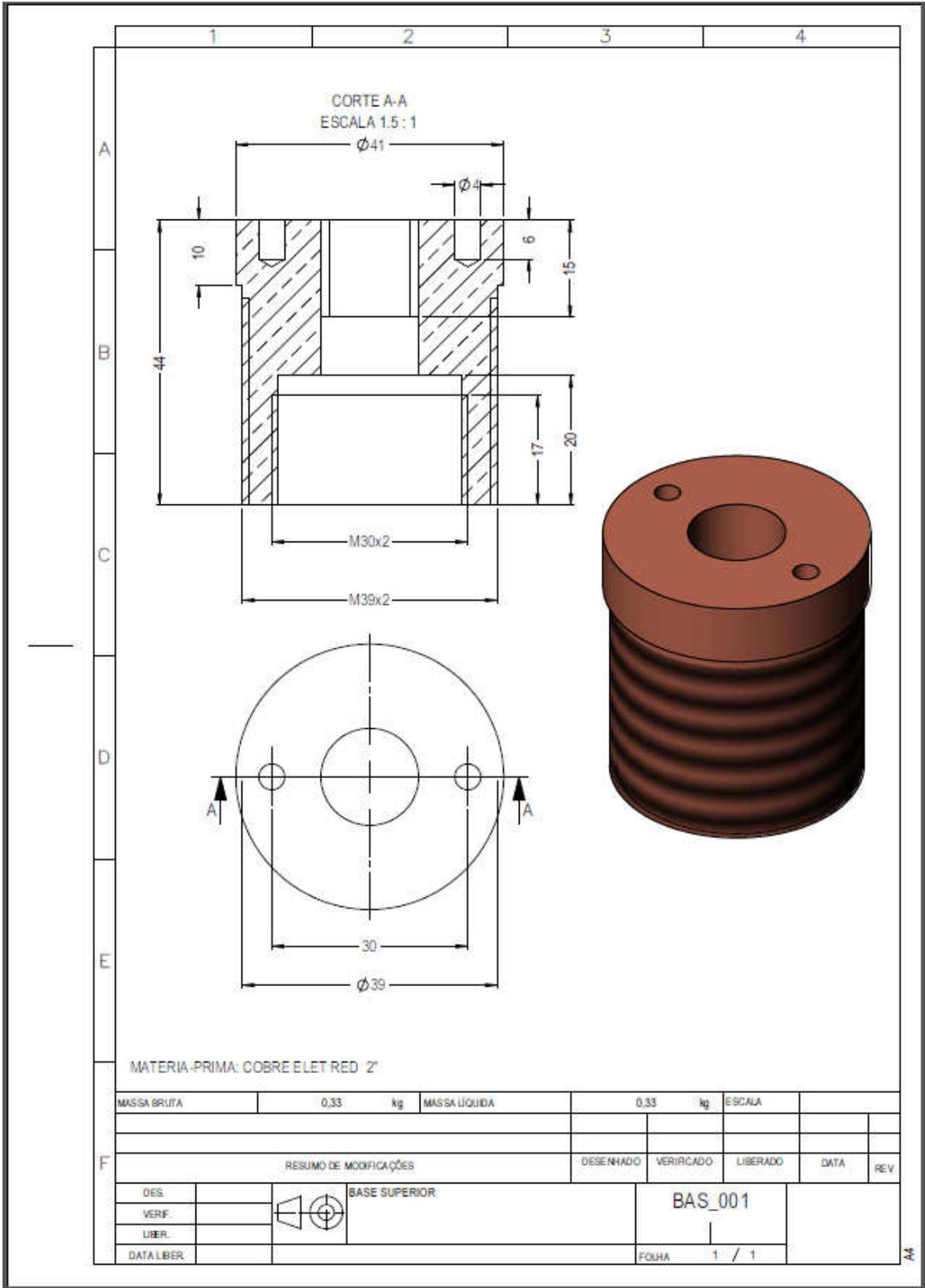
NISHIGUCHI, K. et al. Development of underwater welding with local cavity formation method. **International Symposium of the Japan Welding Society**. Osaka p. 315-320. Ago. 1975

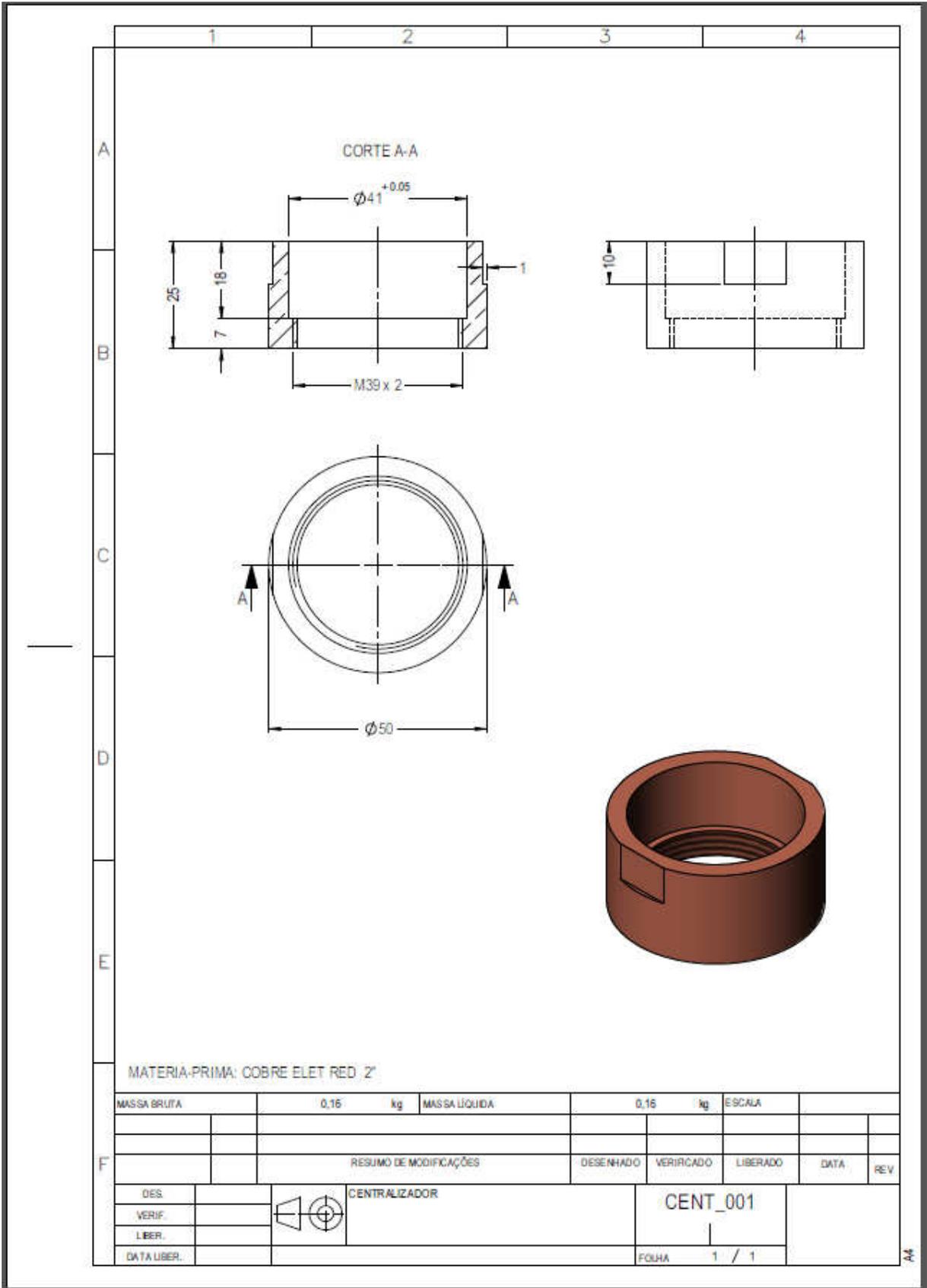
URIBE, Andrés Mauricio Moreno. **Efeito da polaridade sobre a morfologia e estabilidade de soldas subaquáticas molhadas com eletrodos E6013 e WW70**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018.

USIMINAS, **Catalogo de chapas grossas**. Disponível em: <<https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2013/11/us-0073-15a-chapas-grossas.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.

APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO DISPOSITIVO DESENVOLVIDO







MATERIA-PRIMA: COBRE ELET RED 2"

MASSA BRUTA	0,16	kg	MASSA LÍQUIDA	0,16	kg	ESCALA	
RESUMO DE MODIFICAÇÕES							
DES.			DESENHADO		VERIFICADO	LIBERADO	DATA
VERIF.							REV
LIBER.							
DATA LIBER.							

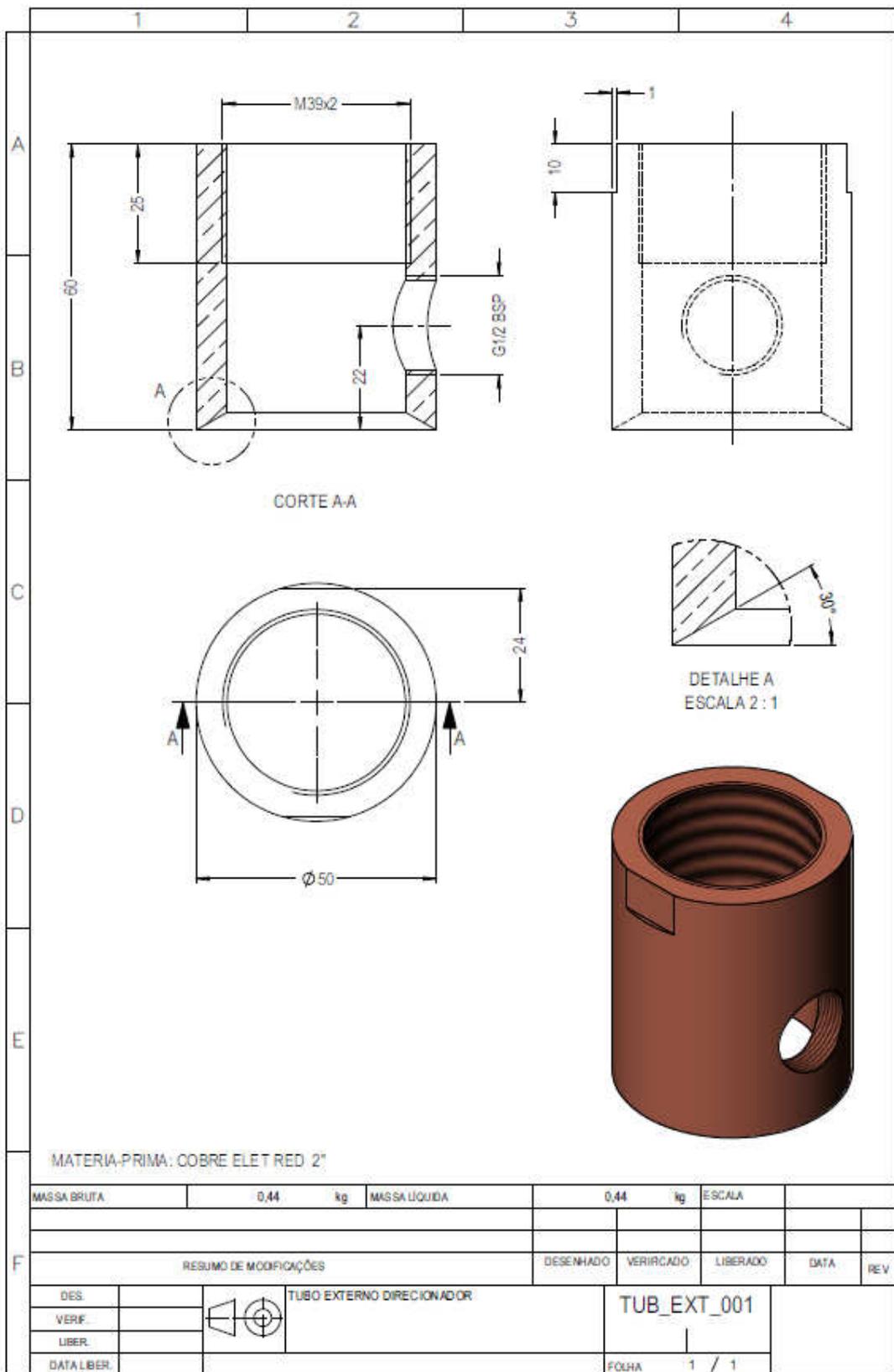


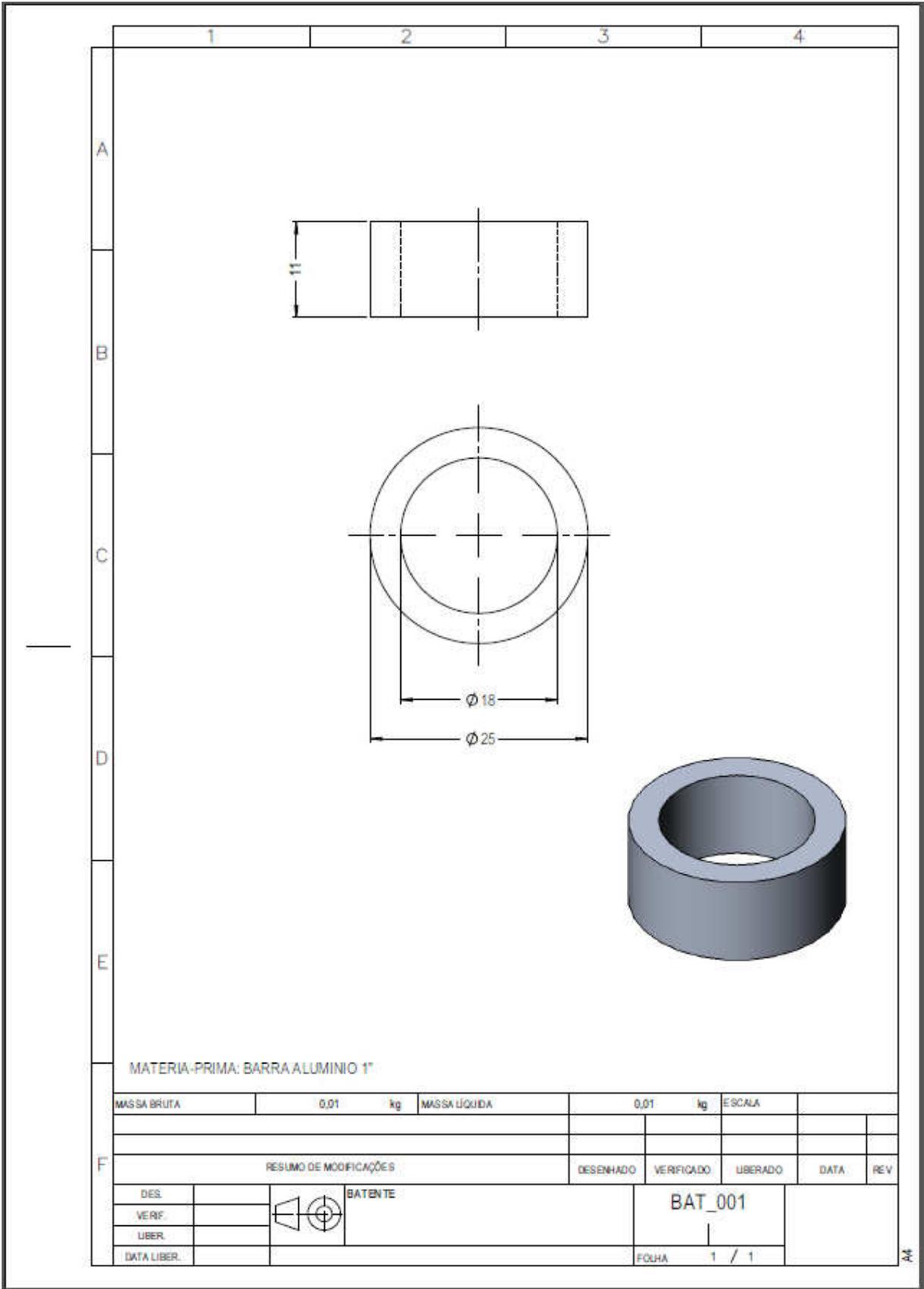
CENTRALIZADOR

CENT_001

FOLHA 1 / 1

AM

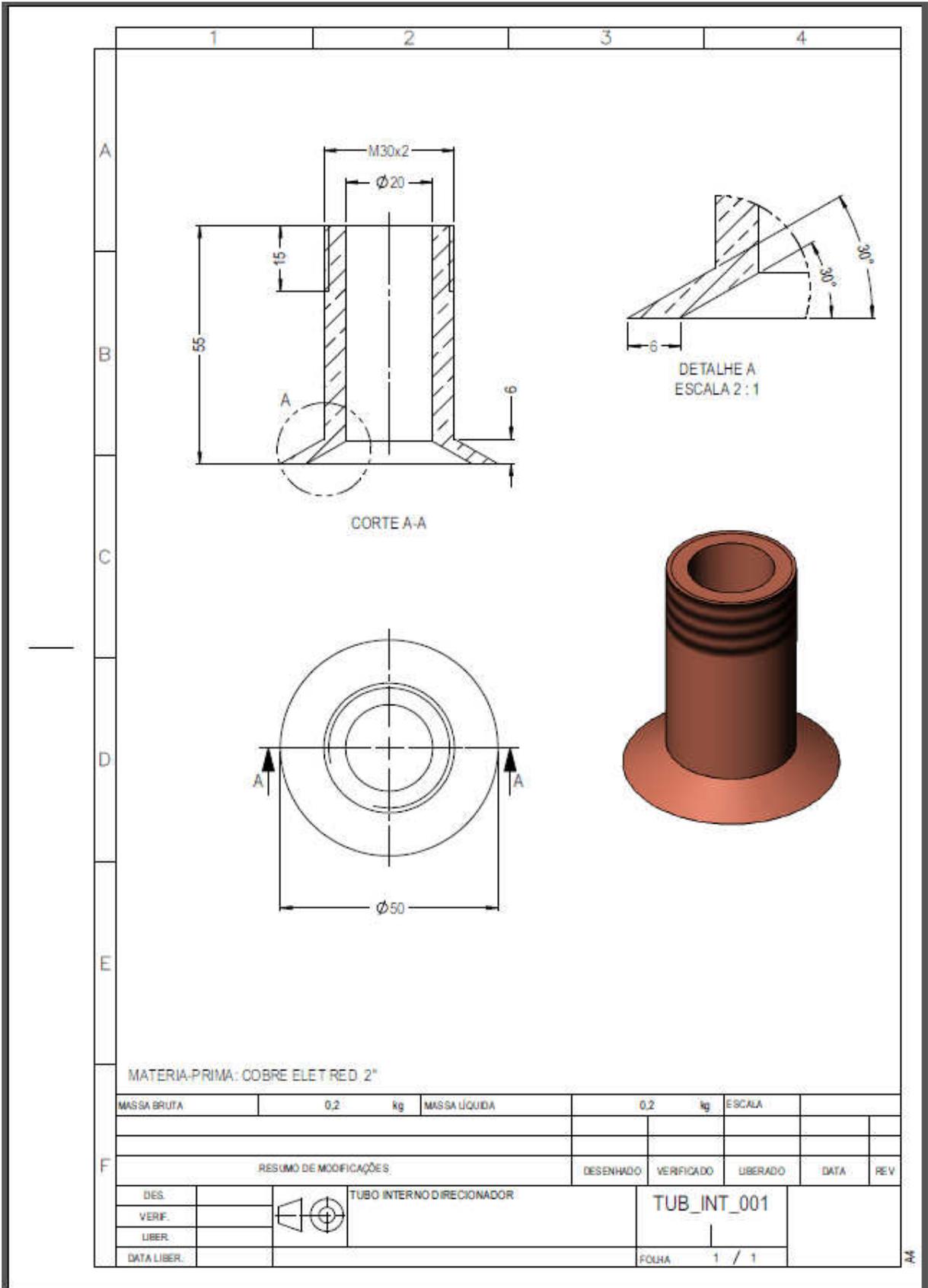




MATERIA-PRIMA: BARRA ALUMINIO 1"

MASSA BRUTA	0,01	kg	MASSA LÍQUIDA	0,01	kg	ESCALA					
RESUMO DE MODIFICAÇÕES							DESENHADO	VERIFICADO	LIBERADO	DATA	REV
DES.		BATENTE				BAT_001					
VERF.											
LIBER.											
DATA LIBER.						FOLHA	1 / 1				

AM



MATERIA-PRIMA: COBRE ELET RED 2°

MASSA BRUTA	0,2	kg	MASSA LÍQUIDA	0,2	kg	ESCALA	
-------------	-----	----	---------------	-----	----	--------	--

RESUMO DE MODIFICAÇÕES		DESENHADO	VERIFICADO	LIBERADO	DATA	REV
DES.		TUBO INTERNO DIRECIONADOR			TUB_INT_001	
VERIF.						
LIBER.						
DATA LIBER.					FOHA 1 / 1	

AM

ANEXO A – BOMBA CIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Bombas para circulação de água quente

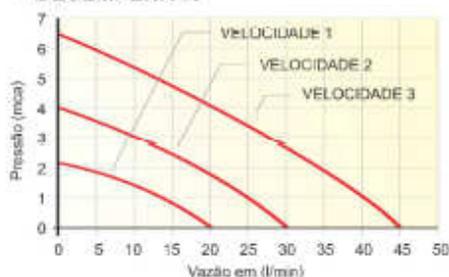


TBHX-BR • 100W

• **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

- Corpo: Bronze
- Rotor: Plástico de engenharia
- Potência: 100 W
- Tensão: 110 V ou 220 V
- Frequência: 60 Hz
- Proteção: IP 42
- Temperatura da água: 5°C a 80°C
- Temperatura ambiente (local instalação): 0°C a 40°C
- Pressão máx. na sucção: 60 mca
- Pressão máx.: 6,5 mca
- Vazão máx.: 45 l/min
- Conexões: Suc. 3/4" e Rec. 3/4" BSP
- Peso: 2,8 kg

• **DESEMPENHO:**



• **MODELOS:**

TBHX-BR 110 V
TBHX-BR 220 V

• **APLICAÇÕES:**

- TBHX-BR • TBHX-RC
- Aquecimento solar
 - Calefação
 - Recirculação de sistemas fechados etc.

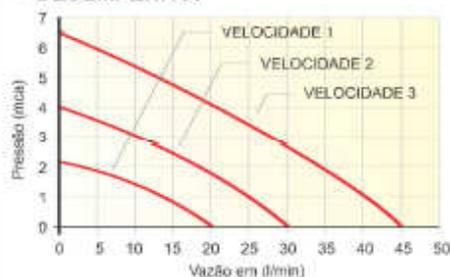


TBHX-RC • 100W

• **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

- Corpo: Ferro fundido com revestimento cerâmico
- Rotor: Plástico de engenharia
- Potência: 100 W
- Tensão: 220 V
- Frequência: 60 Hz
- Proteção: IP 42
- Temperatura da água: 5°C a 80°C
- Temperatura ambiente (local instalação): 0°C a 40°C
- Pressão máx. na sucção: 60 mca
- Pressão máx.: 6,5 mca
- Vazão máx.: 45 l/min
- Conexões: Suc. 3/4" e Rec. 3/4" BSP
- Peso: 2,8 kg

• **DESEMPENHO:**



• **MODELO:**

TBHX-RC 220 V

• **VANTAGENS:**

- TBHX-BR • TBHX-RC
- Silenciosas
 - Não possuem selo mecânico (isento de vazamentos)
 - Não possuem rolamentos
 - Motor isento de vibrações
 - Motor com protetor térmico e capacitor permanente
 - Possuem três opções de velocidade