

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

HENRIQUE VICTOR COSTA SILVA ROSENDO

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE SOLDAGEM SMAW POR
GRAVIDADE**

BETIM
2022

HENRIQUE VICTOR COSTA SILVA ROSENDO

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE SOLDAGEM SMAW POR
GRAVIDADE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Betim para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho

Betim

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

R813p Rosendo, Henrique Victor Costa Silva

Projeto e fabricação de um dispositivo de soldagem SMAW por gravidade / Henrique Victor Costa Silva Rosendo. – 2022. 40 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2022.

Orientação: prof. Me. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho.

1. Solda e soldagem. 2. Eletrodos. 3. Soldagem por gravidade. Henrique Victor Costa Silva Rosendo. II. Título.

CDU: 621.791



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Mecânica
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
3135976360 - www.ifmg.edu.br

Aos 5 dias do mês de dezembro do ano de 2022, às 11:00 horas, sob a presidência do Professor **Gabriel Mendes de Almeida Carvalho**, o discente do Curso de Engenharia Mecânica, Henrique Victor Costa Silva Rosendo R.A nº 0036173 do IFMG – Campus Betim, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**Projeto e fabricação de um dispositivo de soldagem por gravidade**” e foi **APROVADO** com a nota **80,0**, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC.

Como foi aprovado, deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações em formato pdf, até o dia 30/12/2022 à Coordenação de TCC.

O aluno está ciente de que, caso não cumpra os procedimentos pós apresentação de TCC até a data estipulada, poderá ter a nota considerada zero e neste caso sua defesa de TCC será considerada nula. Também está ciente de que seu TCC poderá ser divulgado pela Instituição através dos seus meios de comunicação.

Assinam esta ata o presidente da banca professor Gabriel Mendes de Almeida Carvalho e os membros da banca, professor Fagner Guilherme Ferreira Coelho e o professor Rogério Ferreira Rezende.

Gabriel Mendes de Almeida Carvalho

Fagner Guilherme Ferreira Coelho

Rogério Ferreira Rezende

Henrique Victor Costa Silva Rosendo

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE SOLDAGEM SMAW POR GRAVIDADE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Betim para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 05 / 12 / 2022 pela banca examinadora:

Prof. Dr. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho (Orientador) – IFMG
Campus Betim

Prof. Dr. Fagner Guilherme Ferreira Coelho – Universidade Federal de
Minas Gerais

Eng. MSc. Rogério Ferreira Rezende – Doutorando em Engenharia
Mecânica - PPGMEC UFMG

Dedico este trabalho à minha esposa e
minha família. Sem vocês nada disso
seria possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por me guiar desde o início e por me dar capacidade física e psicológica para esta jornada que só está começando.

Aos meus pais, Airton e Cláudia, que são minha maior fonte de inspiração e meus maiores exemplos. Por todos os conselhos e apoio que nunca terei como retribuir de forma equivalente.

À minha esposa Sarah, por toda paciência e compreensão. Obrigado por estar do meu lado me incentivando e me apoiando nos momentos em que eu mais precisei.

Aos meus irmãos Marcus e Alexandre, por me motivarem a ser uma pessoa melhor. Espero um dia poder retribuir o orgulho que tenho por vocês como pessoas e profissionais.

Ao meu orientador Gabriel por ser essa motivação em pessoa, pelos atendimentos e por toda dedicação como professor, orientador e amigo. Obrigado principalmente pela paciência e perseverança neste trabalho e por todos ensinamentos passados no laboratório.

Ao meu primo Wesley André (Neném), que fez possível o desenvolvimento deste trabalho. Não há como expressar minha gratidão por todos os conselhos e orientações que me deu.

Aos amigos que fiz na faculdade por todos os momentos que tivemos oportunidade de compartilhar. Em especial ao Brendow, Samuel e Matheus que sempre me deram apoio.

“Faça o teu melhor, nas condições que você tem, enquanto você não tem condições melhores para fazer melhor ainda.”

Mário Sérgio Cortella

RESUMO

A soldagem por eletrodo revestido é amplamente utilizada por ser um processo de baixo custo, com equipamento que permite uma maior mobilidade e bem simples de executar quando comparado aos outros processos de soldagem usados atualmente. Em um processo de soldagem existem vários parâmetros que, quando variados, alteram as propriedades e a qualidade da solda. Para avaliar estas características, busca-se ter corpos de prova padronizados para que no final, os resultados possam ser considerados válidos. Por ser uma operação pouco automatizada, procura-se evitar a variabilidade associada à operação manual que depende da habilidade do soldador. Hoje já existem algumas alternativas que minimizam a influência do soldador garantindo uma maior repetibilidade e padronização dos cordões de solda, entre elas a soldagem por gravidade e a soldagem com dispositivos de controle automático do comprimento do arco elétrico. Este trabalho teve como objetivo a construção e validação de um dispositivo de soldagem por gravidade possibilitando estudos do processo de Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos (Shielded Metal Arc Welding – SMAW), bem como análise das variáveis do processo. Observou-se que o dispositivo proporciona maior estabilidade e conseqüentemente padronização dos cordões de solda e que a escolha de material para o carro móvel interfere diretamente no resultado final do processo.

Palavras-chave: Soldagem; Eletrodo Revestido; Soldagem por Gravidade.

ABSTRACT

Coated electrode welding is widely used because it is a low-cost process, with equipment that allows greater mobility and is very simple to perform when compared to other welding processes currently used. In a welding process there are several parameters that, when varied, change the properties and quality of the weld. In order to evaluate these characteristics, the aim is to have specimens that are as standardized as possible so that, in the end, the results can be considered valid. Because it is a less automated operation, we try to avoid the variability associated with manual operation, which is linked to the welder's skill. Today, there are already some variations that minimize the influence of the welder, ensuring greater repeatability and standardization of the weld beads, including gravity welding and welding with automatic control devices for the length of the electric arc. This work aims at the construction and validation of a gravity welding device to allow studies of the Arc Welding process with Coated Electrodes (Shielded Metal Arc Welding – SMAW), as well as the analysis of process variables. It was observed that the device provides greater stability and consequently standardization of the weld beads and that the choice of material for the mobile carriage directly interferes with the final result of the process.

Keywords: Welding; Coated electrode; Gravity Welding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo.	18
Figura 2 – Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.	20
Figura 3 – Efeito da concentricidade do revestimento.....	21
Figura 4 – Dispositivo com uma haste e dois ângulos de ajuste.....	22
Figura 5 – Dispositivo com uma haste e três ângulos de ajuste.....	22
Figura 6 – Triângulo vetorial de velocidades.....	23
Figura 7 – Projeto da montagem do conjunto.....	25
Figura 8 – Porta Eletrodo SUMIG III.....	25
Figura 9 – Projeto do porta eletrodo.....	26
Figura 10 – Terminal de cobre para Cabo de Solda.....	27
Figura 11 – a) Projeto do carro móvel; b) Projeto da base articulada; c) Projeto da base superior.	27
Figura 12 – Projeto da cantoneira.	28
Figura 13 – Montagem dos componentes no conjunto geral.....	28
Figura 14 – Fresadora CNC Discovery 4022 comando Mach 9.	29
Figura 15 - Configuração dos ângulos para realização dos testes.....	31
Figura 16 – Máquina de solda utilizada nos testes.....	31
Figura 17 – a) Cordão de solda 1 com escória; b) Cordão de solda 1 sem escória. .	32
Figura 18 – a) Cordão de solda 2 com escória; b) Cordão de solda 2 sem escória. .	32
Figura 19 – a) Cordão de solda 3 com escória; b) Cordão de solda 3 sem escória. .	33
Figura 20 – Resultado dos três cordões de solda.	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos processos de soldagem, de acordo com a fonte de energia e o tipo de proteção.	19
Quadro 2 - Classificação dos processos de soldagem a partir da natureza da união.	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados obtidos com dispositivo de soldagem por gravidade	24
Tabela 2 - Tabela de ligas – Cobre Latão e Alumínio.	30
Tabela 3 - Resultados dos testes realizados.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AWS – American Welding Society

CAD – Computer Aided Design

CC+ – Corrente contínua polaridade inversa

CNC – Controle Numérico por Computador

IFMG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

NBR - Normas Técnicas Brasileiras

POM – Poli-Oxi-Metileno

SMAW – Shielded Metal Arc Welding

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Registrado
α	Ângulo da barra articulada (guia) em relação à base
β	Ângulo oposto ao ângulo da barra articulada
δ	Ângulo de ataque do eletrodo em relação à chapa
θ	Ângulo de ajuste do porta-eletrodo
h	Altura normal do componente móvel em relação à chapa
\vec{V}_d	Velocidade de deslocamento do componente móvel
\vec{V}_f	Velocidade de fusão do eletrodo
\vec{V}_s	Velocidade de soldagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Objetivos	15
1.3	Objetivos específicos.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Soldagem	17
2.2	Soldagem por eletrodo revestido.....	20
2.3	Soldagem por gravidade.....	21
2.4	Projeto de componentes mecânicos	24
3	METODOLOGIA	24
3.1	Projeto do dispositivo.....	24
3.2	Seleção de materiais e fabricação do dispositivo	29
3.3	Validação do dispositivo	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	34
6	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS.....	36
	ANEXO A – PARÂMETROS DE SOLDAGEM RECOMENDADOS PARA A SOLDAGEM COM ELETRODOS REVESTIDOS OK® PARA AÇOS CARBONO E SUAS RESPECTIVAS TAXAS DE DEPOSIÇÃO E EFICIÊNCIAS DE DEPOSIÇÃO.	38

1 INTRODUÇÃO

A soldagem por eletrodo revestido é um processo de baixo custo, com equipamento que permite uma maior mobilidade e bem simples de executar quando comparado aos outros processos de soldagem usados atualmente. Por estes motivos a soldagem molhada por eletrodo revestido é a mais utilizada em reparos de estruturas e componentes que estão submersos. Por ser um processo manual, a soldagem com eletrodos revestidos exige maior treinamento e habilidade do soldador, uma vez que esse influencia na qualidade e repetibilidade do cordão de solda, dificilmente repetindo os mesmos movimentos durante a deposição no processo (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011). Com o objetivo de padronizar as características do cordão surgiram algumas alternativas que minimizam a influência do operador e garantem maior repetibilidade. A soldagem SMAW por gravidade é considerada como uma destas alternativas.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é realizar a concepção e fabricação de um dispositivo que permita realizar diferentes testes de soldagem por eletrodos revestidos, de forma mecanizada. O dispositivo consiste em um equipamento de solda por gravidade utilizando eletrodo revestido podendo alterar variáveis do processo, como a corrente, a velocidade de soldagem, o tipo de material soldado e eletrodos ensaiados.

1.1 Justificativa

Além da relevância da pesquisa, do desenvolvimento e execução do projeto, este dispositivo poderá ser empregado em estudos de disciplinas ministradas no IFMG Betim e em futuras pesquisas que venham a ocorrer neste segmento.

1.2 Objetivos

O trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um dispositivo que possibilita e viabiliza testes de soldagem SMAW por gravidade, minimizando assim a influência do soldador como uma variável no processo de soldagem.

1.3 Objetivos específicos

Visando atingir o objetivo principal, alguns objetivos são requeridos:

- Desenvolver o projeto 3D do dispositivo.
- Selecionar os materiais dos componentes.
- Fabricar e montar o dispositivo.
- Realizar testes para validar o dispositivo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Soldagem

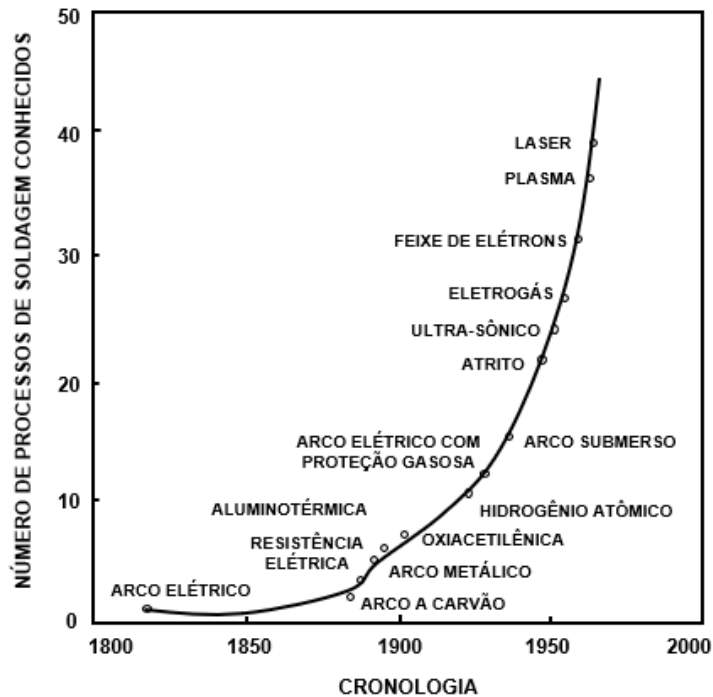
Os métodos de união de metais podem ser divididos em duas categorias principais, isto é, aqueles baseados no aparecimento de forças mecânicas macroscópicas entre as partes a serem unidas e aqueles baseados em forças microscópicas (interatômicas ou intermoleculares) (MODENESI; MARQUES, 2000). No primeiro caso a união é dada pela resistência ao cisalhamento dos elementos de fixação como por exemplo parafusos, rebites e pinos. Já no segundo caso a união se dá pela aproximação dos átomos e moléculas das partes a serem unidas. São exemplos desta categoria a soldagem e brasagem.

A definição de soldagem de acordo com a norma AWS A3. 0M/A3. 0: 2010: *standard welding terms and definition* da *American Welding Society* (AWS) pode ser dada como: “Soldagem é o processo de união de materiais usados para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição”.

Segundo Marques, Modenesi, Bracarense (2011), esta definição adotada pela AWS é meramente operacional, não contribuindo com o aspecto conceitual. Baseando-se nos tipos de forças responsáveis pela união dos materiais, Marques, Modenesi, Bracarense (2011) define soldagem como: “Processo de união de materiais baseado no estabelecimento de forças de ligação química de natureza similar às atuantes no interior dos próprios materiais, na região de ligação entre os materiais que estão sendo unidos”. Desta forma, esta definição engloba também a brasagem, que pode ser considerada como um processo de soldagem.

O processo de soldagem teve seu grande impulso durante a II Guerra Mundial, devido à fabricação de navios e aviões soldados, apesar de o arco elétrico ter sido desenvolvido no século XIX (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004). Na Figura 1 é ilustrado a evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo.

Figura 1 – Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo.



Fonte: WAINER, BRANDI, MELLO, 2004 (Adaptado).

Os mais diversos processos de soldagens são usados atualmente em basicamente todos os segmentos industriais. De acordo com Houldcroft (1979), cada processo de soldagem deve preencher os seguintes requisitos:

- Gerar uma quantidade de energia capaz de unir dois materiais, similares ou não.
- Remover contaminações das superfícies a serem unidas;
- Evitar que o ar atmosférico contamine a região durante a soldagem.
- Propiciar o controle da transformação de fase, para que a solda alcance as propriedades desejadas, sejam elas físicas, químicas ou mecânicas.

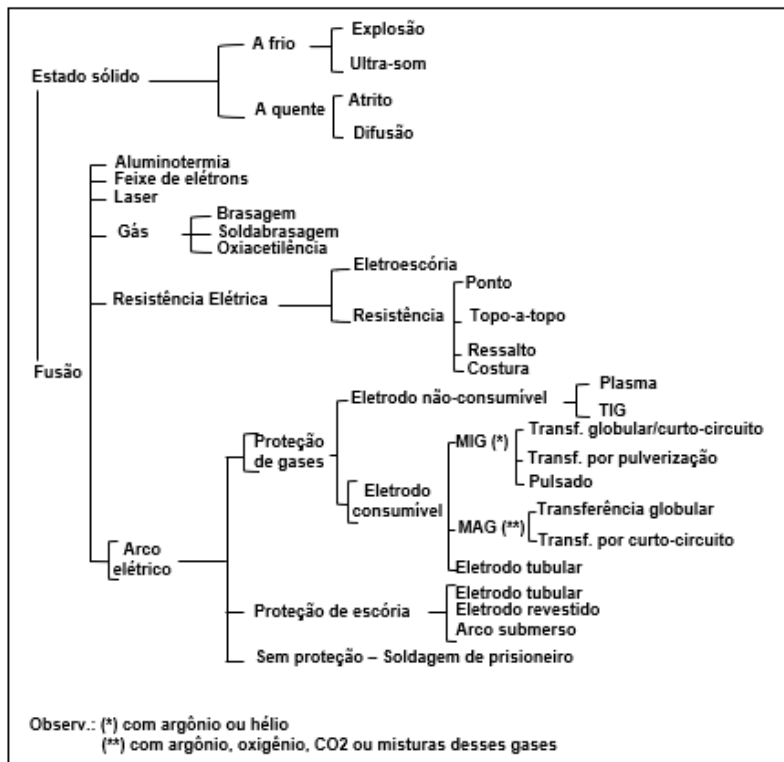
Segundo Wainer, Brandi, Mello (2004) os tipos de soldagens podem ser classificados de acordo com a fonte de energia e tipo de proteção, e também de acordo com a natureza de união, conforme mostrado nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1 - Classificação dos processos de soldagem, de acordo com a fonte de energia e o tipo de proteção.

Fonte de Energia		Tipo de operação					
		Vácuo	Gás inerte	Gás	Fluxo (escória)	Sem proteção	
Mecânica					N	Explosão Atrito Ultra-som	
Química	Chama	N		Oxiacetilênia			
	Reação exotérmica	N			Aluminotermia		
Elétrica	Resistência elétrica		N	N	N	Eletroescória	Topo-a-topo Ponto Ressalto Costura
	Arco elétrico	Eletrodo consumível	N	MIG	Eletrodo tubular		Soldagem de prisioneiros
		Eletrodo não consumível	N	TIG	MAG	Eletrodo revestido Arco Submerso	
Energia radiante	Eletromagnética			Laser		N	N
	Partículas		Feixe de elétrons			N	N

Fonte: WAINER, BRANDI, MELLO, 2004 (Adaptado).

Quadro 2 - Classificação dos processos de soldagem a partir da natureza da união.



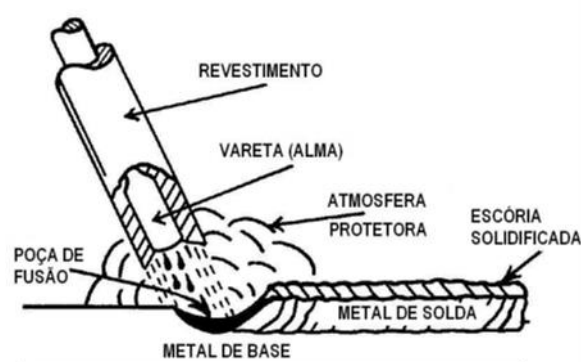
Fonte: WAINER, BRANDI, MELLO, 2004 (Adaptado).

2.2 Soldagem por eletrodo revestido

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding* – SMAW), também conhecida como soldagem manual a arco elétrico, é o mais largamente empregado dos vários processos de soldagem (FORTES; VAZ, 2005). Além disso, esse processo é o grande responsável pela expansão da soldagem e foi o primeiro a obter aceitação como método produtivo e de alta qualidade (MACHADO, 1996)

De acordo com Marques, Modenesi, Bracarense (2011) o eletrodo revestido, conforme mostrado na Figura 2, consiste em uma vareta metálica, chamada "alma", trefilada ou fundida, que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para enchimento da junta. A alma é recoberta por uma mistura de diferentes materiais, numa camada que forma o "revestimento" do eletrodo.

Figura 2 – Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.



Fonte: FORTES; VAZ, 2005.

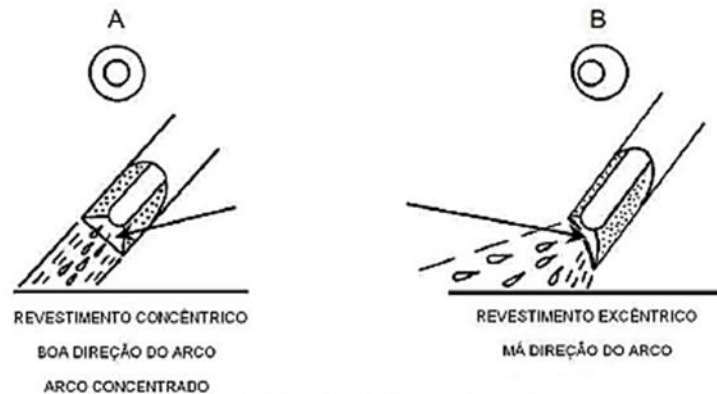
Este revestimento tem como função estabilizar o arco elétrico, ajustar a composição química do cordão, proteger a poça de fusão e o metal de solda da atmosfera e conferir características operacionais, mecânicas e metalúrgicas ao eletrodo e a solda.

Uma das muitas verificações de qualidade feitas durante o processo de fabricação — e também uma das mais importantes — é o procedimento que garante que a espessura do revestimento e a concentricidade da alma do eletrodo sejam uniformes (FORTES, VAZ, 2005).

Segundo Fortes, Vaz (2005) quando o revestimento não estiver concêntrico com a alma metálica, como na Figura 3, pode causar a má direção do arco que ocasiona cordões de solda inconsistentes, proteção deficiente e falta de penetração.

O eletrodo queima de modo irregular, deixando uma projeção no lado onde o revestimento é mais espesso. Essa condição é conhecida como unha.

Figura 3 – Efeito da concentricidade do revestimento.



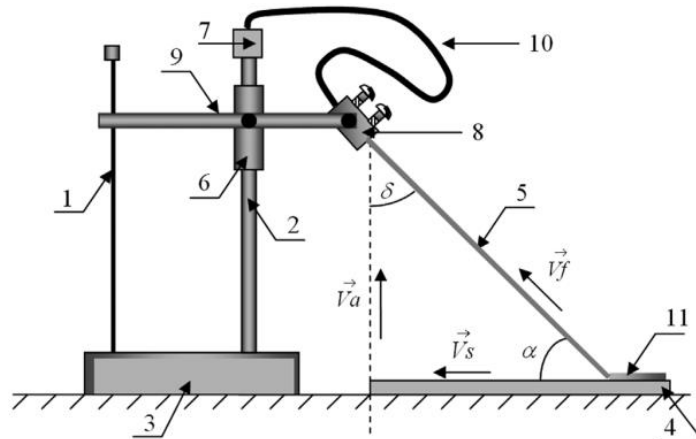
Fonte: FORTES, VAZ, 2005.

2.3 Soldagem por gravidade

É comum a utilização de dispositivos automáticos ou mecanizados para aumentar a produtividade e a repetitividade da soldagem com eletrodo revestido, além de anular as perturbações infringidas ao processo de solda por parte do operador (CAVALCANTI, 2011). Dentre estes tipos de dispositivos, os mais simples para se desenvolver são os que usam o método de soldagem por gravidade. Existem diferenças entre os dispositivos, mas em todos eles busca-se o mesmo objetivo: padronizar os cordões de solda feitos com as combinações de ângulos, velocidade e corrente.

O conceito geral destes mecanismos se baseia em um carro móvel (com um porta eletrodo acoplado), que desliza sobre uma guia. Após a abertura do arco elétrico o eletrodo é consumido e o carro móvel avança, por consequência da gravidade, fazendo assim um cordão de solda. Na Figura 4, pode-se ver um dispositivo de soldagem por gravidade em que há possibilidade de ajustar dois ângulos, enquanto na Figura 5, pode-se observar um modelo cujo ajuste é possível em três ângulos.

Figura 4 – Dispositivo com uma haste e dois ângulos de ajuste.

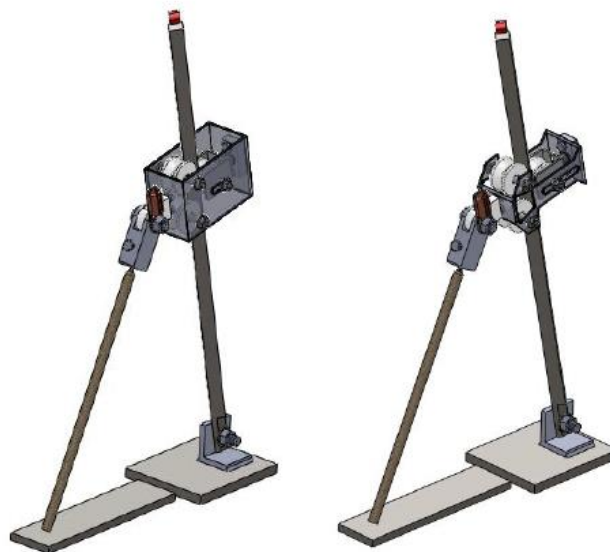


Fonte: RODRÍGUEZ et al, 2009.

Este dispositivo tem como explicação de funcionamento:

O dispositivo é constituído por uma base metálica (3), que suporta um suporte vertical (2) através do qual desliza por gravidade o deslizador (6) solidário ao braço (9), que suporta o porta eletrodo (8), sustentando o eletrodo (5) na extremidade oposta ao cordão de soldagem (11) e, ao mesmo tempo, proporcionando contato elétrico com o condutor (10), proveniente da fonte de soldagem, por meio de uma união roscada removível (7). O porta eletrodo (8) gira em relação a um eixo passante perpendicular à peça (9), o que permite ajustar o ângulo de incidência (α) do eletrodo em relação à chapa a ser soldada (4). A haste (1) limita o movimento radial do eletrodo, restringindo as oscilações no trajeto do cordão (11). (RODRÍGUEZ et al, 2009, p. 59).

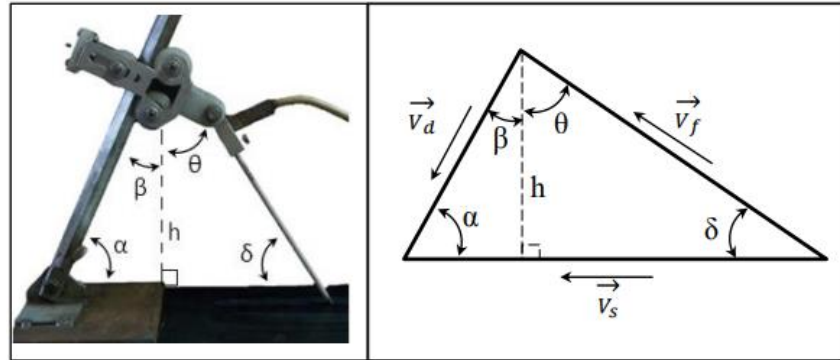
Figura 5 – Dispositivo com uma haste e três ângulos de ajuste.



Fonte: CAVALCANTI, 2011.

De acordo com Cavalcanti (2011), todas as combinações possíveis de ângulos obedecem ao triângulo vetorial de velocidades mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Triângulo vetorial de velocidades.



Fonte: CAVALCANTI, 2011.

As seguintes equações são válidas neste triângulo vetorial de velocidades:

$$h = \vec{V}_d \cos \beta = \vec{V}_f \cos \theta \quad (1)$$

$$\vec{V}_d = \frac{\vec{V}_f \cos \theta}{\cos \beta} \quad (2)$$

$$\vec{V}_f = \frac{\vec{V}_d \cos \beta}{\cos \theta} \quad (3)$$

$$\vec{V}_s = \vec{V}_d \cos \alpha + \vec{V}_f \cos \delta \quad (4)$$

$$\vec{V}_s = \vec{V}_d \left(\cos \alpha + \frac{\cos \beta \cos \delta}{\cos \theta} \right) \quad (5)$$

Alguns valores de velocidade usuais de trabalho com o dispositivo, por eletrodo, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados obtidos com dispositivo de soldagem por gravidade

Teste	Eletrodos	Cordão (mm)	Velocidade (mm/s)	Deposição (g)	Tempo (s)	Taxa de Deposição (kg/h)	Eficiência de Deposição (%)
1	E6013-100A	235	4,18	14,61	56,27	0,93	70,04
2	E6013-100A	233	4,18	14,59	55,78	0,94	69,68
3	E6013-100A	225	4,08	14,11	55,10	0,92	69,96
4	E6013-130A	226	4,89	13,12	46,25	1,02	65,21
5	E6013-130A	224	4,94	10,23	45,30	0,81	51,15
6	E6013-130A	218	4,93	11,31	44,19	0,92	57,79
7	E7018-100A	200	3,65	15,52	54,84	1,02	73,21
8	E7018-100A	198	3,62	15,18	54,68	1,00	72,95
9	E7018-100A	193	3,59	14,59	53,73	0,98	72,59
10	E7018-130A	200	4,22	14,92	47,39	1,13	74,23
11	E7018-130A	207	4,26	15,51	48,54	1,15	71,38
12	E7018-130A	203	4,30	15,42	47,25	1,17	72,39

Fonte: CAVALCANTI, 2011.

2.4 Projeto de componentes mecânicos

Programas de desenho com auxílio de computador (CAD) permitem o desenvolvimento de projetos tridimensionais (3D) dos quais podem ser geradas as vistas ortogonais bidimensionais convencionais com dimensionamento automático (BUDYNAS, NISBETT, 2016). Com o auxílio destes softwares é possível ter uma noção espacial do item antes mesmo de ser necessário a fabricação de um protótipo, tendo assim uma redução de custo.

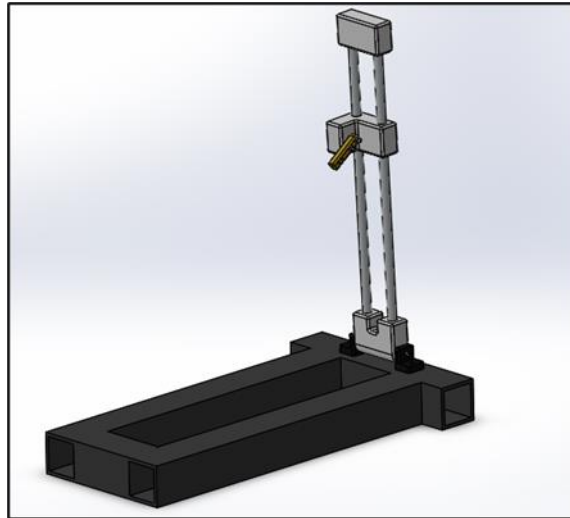
São muitos os softwares de modelamento 3D no mercado, porém por disponibilidade de licença, utilizou-se neste projeto o SolidWorks® da empresa Dassault Systèmes.

3 METODOLOGIA

3.1 Projeto do dispositivo

O dispositivo de soldagem por gravidade projetado, Figura 7, consiste em um carro móvel, no qual tem-se um porta eletrodo acoplado, que desliza em um par de guias paralelas por ação da gravidade fazendo assim com que seja possível obter um cordão de solda.

Figura 7 – Projeto da montagem do conjunto.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

A estrutura de tubos quadrados 60x60x4,75mm tem como objetivo dar suporte para a fixação do dispositivo de soldagem por gravidade bem como servir de apoio para as peças e corpos de provas que serão soldados. Neste caso para que seja leve e facilite o transporte e o manuseio, foi escolhido tubos ao invés de barras maciças ou chapas. Este vão na estrutura possui a função de proteger o conjunto, caso alguma solda ultrapasse a espessura do corpo de prova.

A função do porta-eletrodo é conectar o eletrodo revestido ao circuito de soldagem de forma segura para o soldador, e de maneira que permita a realização dos movimentos de transição, mergulho e tecimento (Marques, 2011). O tipo mais comum de porta eletrodo usado no mercado pode ser visto na Figura 8.

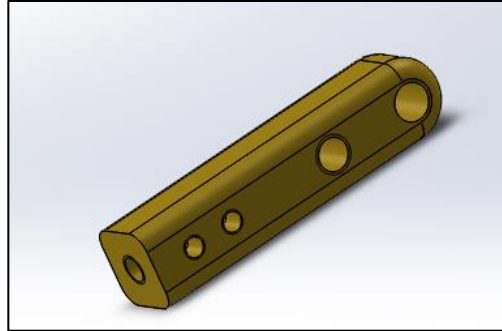
Figura 8 – Porta Eletrodo SUMIG III.



Fonte: SUMIG III, 2019.

Porém por questões de excesso de peso e volume, não foi usado neste trabalho este tipo de porta eletrodo. Foi projetado um componente mais leve e que atendesse a demanda necessária, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Projeto do porta eletrodo.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

O porta eletrodo foi projetado com um furo em uma extremidade (à direita na figura 9) para que fosse possível a montagem no carro móvel. O raio feito nesta face é justamente para que seja possível regular o ângulo do componente visto que a escolha dos ângulos é um dos parâmetros do processo. O furo do meio é necessário pois é nele que se é parafusado um terminal em forma de olhal, mostrado na Figura 10, que, por sua vez é ligado na máquina de solda, para assim energizar o sistema. Os dois furos à esquerda têm como objetivo fixar a alma do eletrodo para que o mesmo não caia e também para que não ocorra a abertura do arco dentro do porta eletrodo. Por último o furo mais à esquerda é o onde vai o eletrodo. Na primeira parte do desenvolvimento o diâmetro deste furo era de 3 mm, porém foi visto a necessidade de aumentar para 4 mm para que fosse possível realizar testes com mais variedades de eletrodos.

Figura 10 – Terminal de cobre para Cabo de Solda.



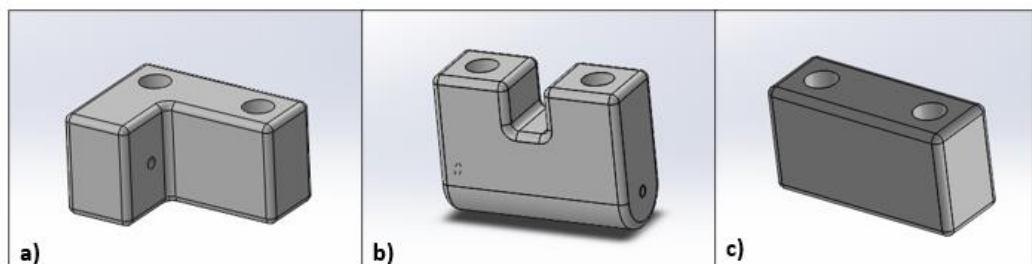
Fonte: SUMIG III, 2019.

Conforme ilustrado na Figura 7, o conjunto é composto de duas guias paralelas pois esse tipo de montagem é mais estável quando se comparado com um conjunto de somente uma guia. As guias são de tubos de 12,7mm de diâmetro com espessura de 0,8mm.

O carro móvel, conforme mostrado na Figura 11a, possui a função de fixar o porta eletrodo. Os furos pelos quais serão passados os tubos tem o diâmetro de 13,5mm, portando permite que o componente deslize facilmente, mas sem gerar folgas excessivas no conjunto. Nele também foi fixado uma porca para que, depois de ajustado o ângulo do porta eletrodo, o parafuso trave as peças na posição correta.

A base articulada, mostrada na Figura 11b, possui insertos fixados em suas laterais que fazem o mesmo papel da porca, travando as peças com parafusos depois do ajuste do ângulo. Tanto na base articulada, quanto na base superior, mostrada na Figura 11c, foram feitos furos de 12,5mm de diâmetro para que a montagem dos tubos seja por interferência.

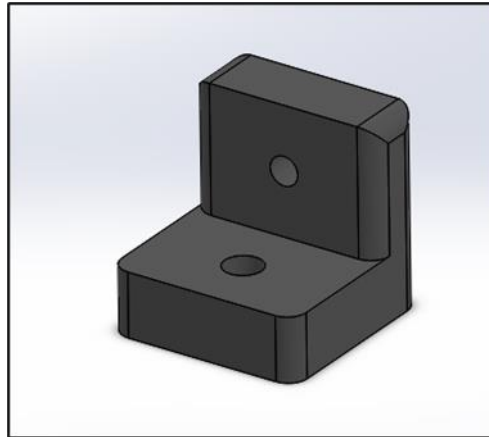
Figura 11 – a) Projeto do carro móvel; b) Projeto da base articulada; c) Projeto da base superior.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Por fim, para a fixação do dispositivo na estrutura foi projetado um par de cantoneiras, conforme mostrado na Figura 12. A fixação no dispositivo é feita através de um parafuso que trava no inserto da base articulada e a fixação na estrutura é realizada por um simples conjunto de porca, arruela e parafuso.

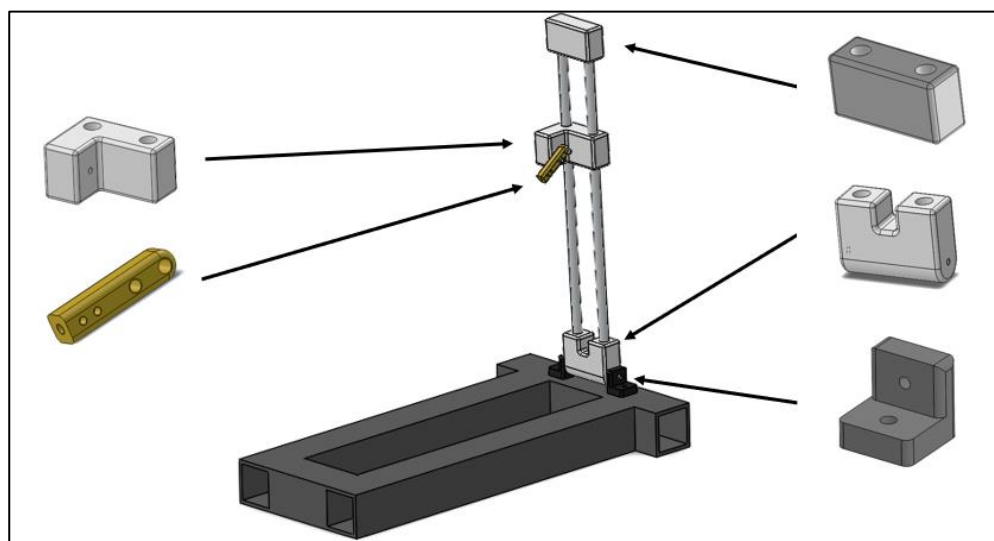
Figura 12 – Projeto da cantoneira.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Após projetar todos os componentes no SolidWorks®, foi realizado um estudo de movimentação para assegurar que o dispositivo desenvolvido fosse funcional. A Figura 13 ilustra onde cada componente é montado no conjunto.

Figura 13 – Montagem dos componentes no conjunto geral.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

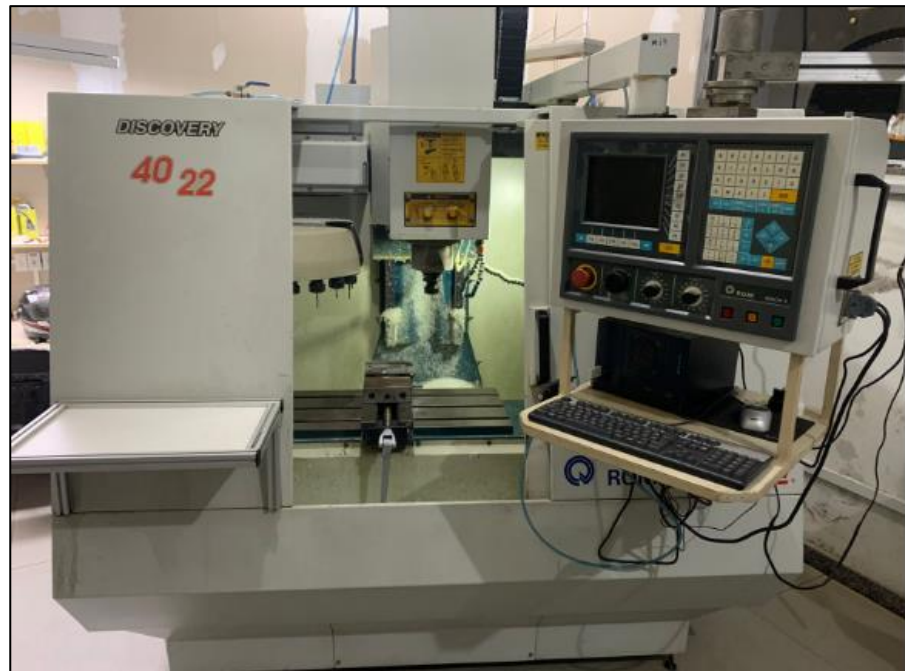
3.2 Seleção de materiais e fabricação do dispositivo

Com a intenção de que no futuro o dispositivo seja usado para realizar testes em ambiente aquático, a escolha dos materiais foi definida, considerando o requisito de que todos os materiais usados sejam resistentes à corrosão.

As guias paralelas são feitas de tubos de alumínio NBR 8116 Liga 6063. Os tubos desta norma têm como característica principal, a sua aplicação na construção civil e em projetos arquitetônicos, propiciando à instalação, um excelente acabamento e resistência à corrosão. Para garantir um corte de boa qualidade foi utilizada uma lixadeira.

Todos os outros componentes foram usinados em uma Fresadora CNC Romi Discovery 4022 comando Mach 9, conforme mostrada na Figura 14. Com o projeto 3D pronto, foi usado o software GibbsCAM® para gerar o programa de corte da máquina.

Figura 14 – Fresadora CNC Discovery 4022 comando Mach 9.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

O material escolhido para o porta eletrodo foi uma barra sextavada de Latão Baixo Pb Liga C33000. O material é uma liga de cobre e zinco conforme descrito na Tabela 2, possui uma usinabilidade boa e é um ótimo condutor elétrico.

Tabela 2 - Tabela de ligas – Cobre Latão e Alumínio.

LIGAS	ESPEC ASTM CDA	COMPOSIÇÃO							
		Cu	Pb	Fe	Sn	P	As	Zn	Imp
Latão 80/20	C24000	78,5 a 81,5	máx. 0,05	máx. 0,05	-	-	-	Resto	máx. 0,15
Latão 70/30	C26000	68,5 a 71,5	máx. 0,07	máx. 0,05	-	-	-	Resto	máx. 0,15
Latão 65/25	C27000	63,0 a 68,5	máx. 0,10	máx. 0,07	-	-	-	Resto	máx. 0,20
Latão Baixo Pb	C33000	65,0 a 68,0	máx. 0,07	máx. 0,07	-	-	-	Resto	máx. 0,15
Latão Almirantado	C44300	70,0 a 73,0	máx. 0,07	máx. 0,06	0,9 a 1,2	-	0,02 a 0,06	Resto	máx. 0,15
Latão Almirantado	C44500	70,0 a 73,0	máx. 0,07	máx. 0,06	0,9 a 1,2	0,02 a 0,10	-	Resto	máx. 0,15

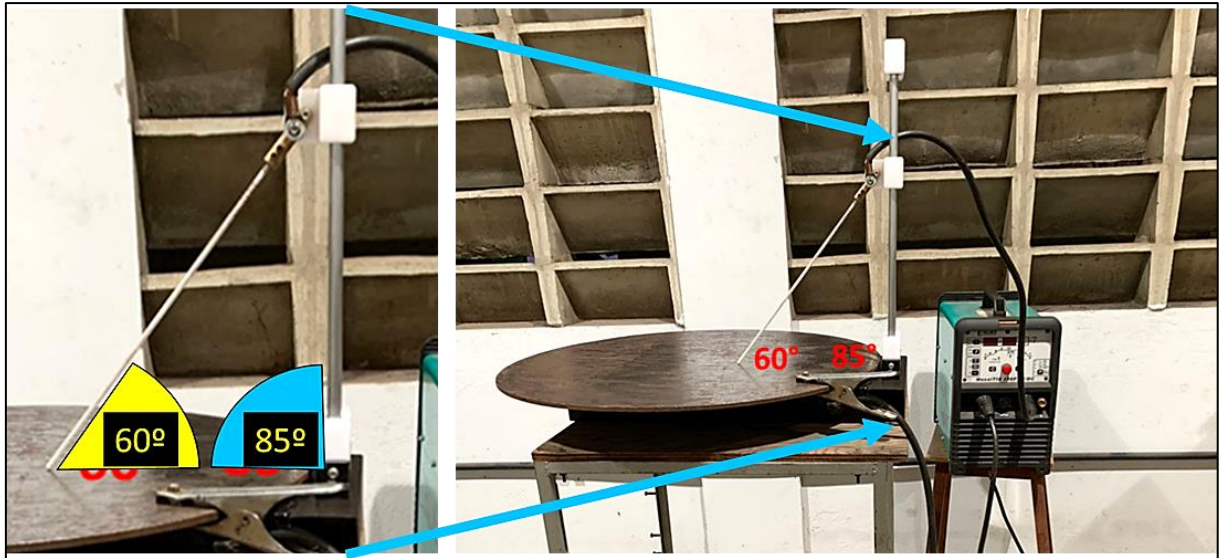
Fonte: RIO INOX (Adaptado).

As cantoneiras de fixação, o carro móvel, a base articulada e o suporte superior são feitos do mesmo material, o Poliacetal (POM), oficialmente chamado de Poli-Oxi-Metileno. Se trata de um polímero cristalino obtido a partir da polimerização do formol aldeído e adição de grupos terminais acetato. Dentre suas propriedades pode-se dizer que este material apresenta boas características mecânicas, baixa absorção de umidade, excelente estabilidade dimensional, ótima usinabilidade, elevada resistência a corrosão e baixo coeficiente de atrito.

3.3 Validação do dispositivo

Para validar o funcionamento do dispositivo, foram realizados três ensaios, mantendo a configuração de ângulos do dispositivo bem como os parâmetros de soldagem e analisando a repetibilidade dos cordões. O eletrodo escolhido para os testes foi o eletrodo rutilico E6013 de 3,2 mm de diâmetro da ESAB por disponibilidade no laboratório de soldagem do IFMG Betim. Em testes prévios os cordões que obtiveram uma melhor qualidade foram parametrizados com o ângulo de ataque com 60° e o ângulo das barras articuladas com 85°. Portanto a escolha destes ângulos para a validação do dispositivo está descrita na Figura 15.

Figura 15 - Configuração dos ângulos para realização dos testes.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

A máquina de solda usada foi a Balmer MaxiTIG 200P AC/DC conforme ilustrado na Figura 16. O valor escolhido para corrente de soldagem foi de 100A e está dentro das especificações técnicas do eletrodo rutilico E6013 de 3,2 mm disponível no Anexo A. Os testes foram feitos em corrente contínua polaridade inversa (CC+), ou seja, a peça é o polo negativo e o eletrodo é o polo positivo.

Figura 16 – Máquina de solda utilizada nos testes.



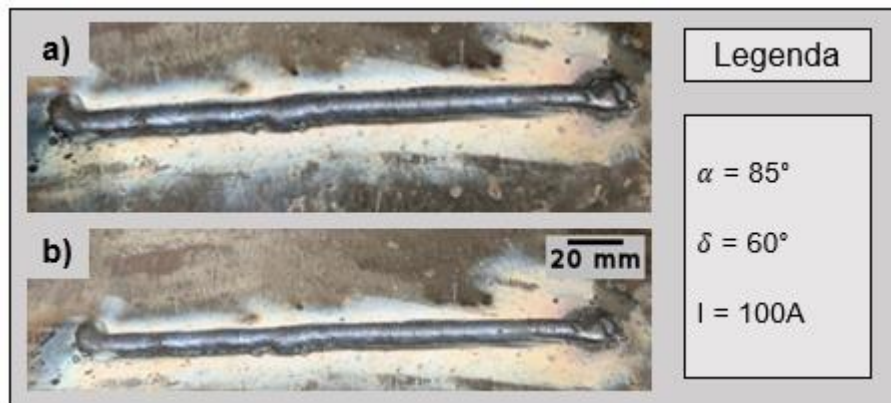
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No aspecto de fabricação do dispositivo alguns pontos devem ser considerados. Primeiramente foi necessário a inclusão de dois parafusos para prender o eletrodo no porta eletrodo pois em um teste preliminar ocorreu a abertura do arco elétrico entre esses componentes. Outro ponto de atenção é com relação às guias paralelas, que devem ser constantemente limpas (as vezes até com uma lixa fina) e lubrificadas para que seja satisfatório a performance do dispositivo.

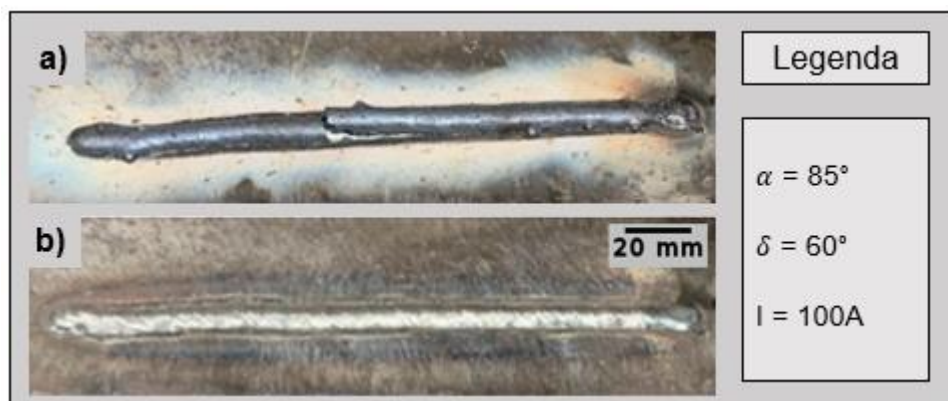
De acordo com os parâmetros definidos na metodologia, foram realizados três cordões de solda, conforme Figuras 17, 18 e 19, para avaliar a repetibilidade que o dispositivo oferece.

Figura 17 – a) Cordão de solda 1 com escória; b) Cordão de solda 1 sem escória.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Figura 18 – a) Cordão de solda 2 com escória; b) Cordão de solda 2 sem escória.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Figura 19 – a) Cordão de solda 3 com escória; b) Cordão de solda 3 sem escória.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Os resultados dos testes estão descritos na Tabela 3. A velocidade de soldagem foi calculada a partir dos dados que foram coletados.

Tabela 3 - Resultados dos testes realizados.

Corpo de prova	Comprimento do cordão (mm)	Tempo de soldagem (s)	Velocidade de soldagem (mm/s)
1	185	73,77	2,51
2	187	75,14	2,49
3	184	73,09	2,52

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Figura 20 – Resultado dos três cordões de solda.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Os três cordões de solda apresentam uma baixa variabilidade em relação ao comprimento do cordão e também pode-se notar que o alinhamento do cordão é mantido em todos os testes, conforme mostrado na Figura 20. Outro ponto interessante é que a qualidade no terceiro cordão é superior aos demais, isto porque os testes foram feitos consecutivamente, ou seja, no momento do terceiro cordão já havia um pré-aquecimento da chapa o que melhorou consideravelmente a qualidade do cordão.

5 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros usando este dispositivo e também implementando melhorias pode-se destacar:

Realização de testes usando um mesmo tipo de eletrodo e variando os ângulos de soldagem bem como a corrente a fim de se estudar quais os melhores parâmetros para aquele tipo de eletrodo.

Realizar testes em ambiente subaquático (com o auxílio de um aquário) visto que todos os materiais escolhidos são resistentes à corrosão.

Seria interessante também implementar melhorias no que se diz respeito ao controle de velocidade que o carro móvel se desloca para baixo, como por exemplo um conjunto de motor e engrenagem acoplado no carro móvel e uma cremalheira paralela às guias.

Desenvolver o porta eletrodo em cobre melhorando a passagem de corrente no conjunto.

6 CONCLUSÃO

Considerando que este trabalho tem por finalidade a realização de projeto e fabricação de um dispositivo de soldagem SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) por gravidade, concluiu-se que:

Com o uso do dispositivo têm-se um ganho em aumentar a padronização dos cordões de solda, eliminando quase que por completo a variabilidade causada pela interferência do soldador.

A estabilidade é uma vantagem ao se fazer o dispositivo usando um conjunto de duas barras paralelas, podendo ser vista nos testes realizados. Para isso é ideal a limpeza do conjunto deslizante bem como sua lubrificação, para assim trazer a melhor eficiência do dispositivo.

Importante sempre manter bem firmes os parafusos que fixam o eletrodo no porta eletrodo pois é uma forma de se evitar que ocorra a abertura do arco entre estes componentes.

O peso do carro móvel é um fator que influencia diretamente na qualidade do cordão, por isso foi usado o Poliacetal como material a fim de se ter uma diminuição do peso do componente.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS A3. 0M/A3. 0: 2010**: standard welding terms and definition. 2010.

MODENESI, Paulo; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I – Introdução aos Processos de Soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

MARQUES, Paulo Villani, MODENESI, Paulo, BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3ª ed, Belo Horizonte, Editora da UFMG, 2011.

FORTES, Cleber, VAZ, Cláudio Turani. **Apostila de Eletrodos Revestidos**. ESAB, 2005.

WAINER, Emílio, BRANDI, Sérgio Duarte, MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem processos e metalurgia**. 4ª Reimpressão, São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 2004.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre, editado pelo autor, página 14, 1996.

HOULDCROFT, Peter. **Welding Process Technology**. Cambridge University Press, London, 1979.

RODRÍGUEZ, Alejandro García, PÉREZ, Carlos René Gómez, ÓRIA, Jorge Víctor Miguel, BORROTO, Oscar Miguel Rivera, ROCA, Angel Sánchez. **Valoración del Desempeño de un Dispositivo de Autoalimentación Diseñado para la Evaluación Operativa de Electrodo Revestidos**. Soldagem Insp. São Paulo, Vol. 14, No. 1, p.058-065, 2009.

CAVALCANTI, Carlos André Nobre. **Comparação entre o comportamento de eletrodos revestidos utilizando dispositivos de soldagem por gravidade e com controle automático do comprimento do arco elétrico**. Departamento de

Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BUDYNAS, Richard G, NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas Shigley**. 10ª Edição, AMGH Editora Ltda, Porto Alegre, 2016.

SUMIG III. **Catálogo de Acessórios Manuais para Solda e Corte**. Caxias do Sul. Jun. 2019

RIO INOX. **Catálogo Rio Inox soluções em Aço Inox**. Rio de Janeiro.

ANEXO A – Parâmetros de soldagem recomendados para a soldagem com eletrodos revestidos OK® para aços carbono e suas respectivas taxas de deposição e eficiências de deposição.

Electrodo	AWS	Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Valor ótimo (A)	TX. dep. (kg/h)	Ef. dep. (%)
OK 22.45P OK 22.50	E6010 E6010	2,5	60 – 80	75	0,7	72
		3,2	80 – 140	100 / 130	0,9 / 1,0	76 / 69
		4,0	90 – 180	140 / 170	1,3 / 1,3	74 / 64
		5,0	120 – 250	160 / 190	1,5 / 1,6	75 / 70
OK 22.65P	E6011	2,5	40 – 75	75	0,6	61
		3,2	60 – 125	120	1,0	71
		4,0	80 – 180	150	1,7	77
		5,0	120 – 230	180	1,9	73
OK 46.00 OK 46.13 OK 43.32	E6013	2,0	50 – 70	50	0,6	73
		2,5	60 – 100	85	0,7	73
		3,2	80 – 150	125	1,0	73
		4,0	105 – 205	140 / 160 / 180	1,2 / 1,4 / 1,6	76 / 74 / 71
OK 33.80	E7024	5,0	155 – 300	180 / 200 / 220	1,5 / 1,7 / 1,9	74 / 71 / 73
		3,2	130 – 170	140 / 180	1,9 / 2,3	72 / 71
		4,0	140 – 230	180 / 210 / 240	2,4 / 2,9 / 3,3	71 / 73 / 69
		5,0	210 – 350	245 / 270 / 290	3,4 / 3,8 / 4,1	69 / 71 / 68
OK 48.04 OK 48.06 OK 48.07 OK 55.00	E7018 E7018 E7018-1 E7018-1	6,0	270 – 430	320 / 360	4,3 / 5,3	72 / 69
		2,5	65 – 105	90	0,8	66
		3,2	100 – 150	120 / 140	1,2 / 1,2	72 / 71
		4,0	130 – 200	140 / 170	1,4 / 1,7	75 / 74
5,0	185 – 270	200 / 250	2,2 / 2,4	76 / 75		