

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

**EDUARDO HOBOLD**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CONCEPÇÃO MECÂNICA DE UM  
MANIPULADOR LINEAR PARA SOLDAGEM DE REVESTIMENTOS  
TIG ALIMENTADO**

**JARAGUÁ DO SUL, JUNHO DE 2018**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

**EDUARDO HOBOLD**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CONCEPÇÃO MECÂNICA DE UM  
MANIPULADOR LINEAR PARA SOLDAGEM DE REVESTIMENTOS  
TIG ALIMENTADO**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos de obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Professor Orientador: Edson Sidnei Maciel Teixeira, Doutor.

**JARAGUÁ DO SUL, JUNHO DE 2018**

Hobold, Eduardo

Desenvolvimento de uma Concepção Mecânica de um Manipulador Linear para Soldagem de Revestimentos TIG Alimentado / Eduardo Hobold ; orientação de Edson Sidnei Maciel Teixeira. Jaraguá do Sul, SC, 2018. 62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul - Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .  
Inclui Referências.

1. Automação na Soldagem. 2. Manipulador. 3. Processo de Desenvolvimento do Produto. 4. PDP. 5. TIG. I. Teixeira, Edson Sidnei Maciel. II. Instituto Federal de Santa Catarina. . III. Título.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

EDUARDO HOBOLD

DESENVOLVIMENTO DE UMA CONCEPÇÃO MECÂNICA DE UM MANIPULADOR  
LINEAR PARA SOLDAGEM DE REVESTIMENTOS TIG ALIMENTADO

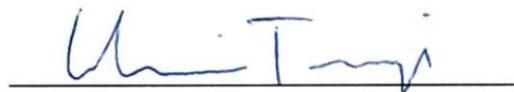
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em  
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de  
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo  
indicada.

Jaraguá do Sul, 19 de junho de 2018



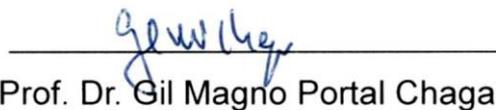
Prof. Dr. Edson Sidnei Maciel Teixeira  
Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Dr. Almir Turazi

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas

IFSC – CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Edson pela orientação e ajuda no desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Fernando pela ideia e ajuda em trabalhos anteriores que serviram como base para esse.

## RESUMO

A utilização de revestimento por soldagem tem como função restaurar e/ou incrementar a vida útil dos componentes metálicos, tem-se como exemplo a utilização de revestimento nos setores de energia hidrelétrica bem como no setor sucroalcooleiro. Um dos processos de soldagem utilizado para o revestimento de soldagem é o processo TIG (*Tungsten Inert Gas*) por sua alta qualidade e sua aplicabilidade em diferentes tipos de metais, porém este apresenta uma baixa produtividade de soldagem e possui poucas informações sobre parâmetros quando é automatizado. Para aliar a produtividade com a qualidade da soldagem TIG em revestimentos necessita-se de um produto que execute as movimentações necessárias para esse procedimento. Assim o objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento de uma concepção de um manipulador de soldagem linear para revestimentos com TIG alimentado, fazendo o uso da metodologia de Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), apresentando as pesquisas, etapas e avaliações para a obtenção desta concepção final. As funcionalidades dessa concepção se mostraram possíveis, sendo elas, dedicadas integralmente para a realização dos movimentos necessários para o revestimento de soldagem.

Palavras-chave: Automação na soldagem. Manipulador. TIG. Processo de Desenvolvimento de Produto.

## **ABSTRACT**

The use of welding coating has the function of restoring and/or increasing the useful life of the metal components, as an example the use of coating in the hydropower sectors as well as in the sugar-alcohol sector. One of the welding processes used for the welding coating is the TIG (Tungsten Inert Gas) process due to its high quality and its applicability in different types of metals, however this one presents a low welding productivity and has little information about parameters when it is automated. In order to combine productivity with the quality of TIG welding in coatings a product is required which performs the necessary movements for this procedure. Thus the objective of this paper aims to develop a concept of a linear welding handler for coatings deposited by TIG process with automatic power wires making use of the Product Development Process (PDP) methodology, presenting the researches, steps and evaluations to obtain this last conception. The functionalities of this design were shown to be possible, being they fully dedicated to the realization of the movements necessary for the welding coating.

Keywords: Automated welding. TIG. Handler. Product Development Process.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos processos de soldagem.....	15
Figura 2 – Patente do sistema desenvolvido por Bernados e Olszewsky. ....	16
Figura 3 – Processo de soldagem TIG.....	19
Figura 4 – Equipamentos necessários para o processo TIG.....	20
Figura 5 – Tocha TIG resfriada a ar.....	21
Figura 6 – Tocha TIG resfriada a água.....	21
Figura 7 – Tocha e Dispositivo para alimentação do arame.....	22
Figura 8 – Comparação da Velocidade de soldagem manual e <i>cold wire</i> .....	25
Figura 9 – Esquema do processo, TIG Alimentado <i>hot wire</i> .....	25
Figura 10 – Manipuladores, Sumig, Bug-O System e Dyna Torque. ....	27
Figura 11 – Visão geral do PDP.....	29
Figura 12 – Ilustração da tabela QFD. ....	32
Figura 13 – Representação da função total. ....	33
Figura 14 – Exemplo de matriz morfológica. ....	34
Figura 15 – Função total do manipulador. ....	40
Figura 16 - Funções desdobradas.....	40
Figura 17 - Concepções criadas.....	42
Figura 18 - Concepção final em CAD.....	44
Figura 19 - Visão inferior do manipulador.....	45
Figura 20 - Deslocamento eixo Y.....	46
Figura 21 – Mancalização eixo Y.....	46
Figura 22 – Sistema em Z. ....	47
Figura 23 – Vista Explodida, manipulador. ....	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos do manipulador. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Quadro 2 - Características de qualidade para o manipulador .....	38
Quadro 3 - Especificações do manipulador. ....	39
Quadro 4 - Matriz morfológica. ....	41
Quadro 5 - Avaliação das concepções. ....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD – *Computer Aided Design*

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

DEP – Distância entre eletrodo e a peça

GTAW – *Gas Tungsten Arc Welding*

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

LCD – *Liquid Crystal Display*

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

QD – *Quality Deployment*

QFD – *Quality Function Deployment*

QFD<sub>r</sub> – *Quality Function Deployment in restrict sense*

SSCs – Sistemas, Subsistemas e Componentes

TIG – *Tungsten Inert Gas*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	12
1.2 JUSTIFICATIVA .....	12
1.3 OBJETIVOS .....	13
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 SOLDAGEM .....	14
2.1.1 SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO .....	16
2.1.2 PROCESSO DE SOLDAGEM TIG .....	18
2.1.3 EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS NO PROCESSO TIG .....	19
2.1.4 PARÂMETROS PARA O PROCESSO DE SOLDAGEM TIG .....	22
2.1.5 TIG ALIMENTADO .....	24
2.1.6 AUTOMAÇÃO NA SOLDAGEM .....	26
2.1.7 MANIPULADORES DE SOLDAGEM .....	27
2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO .....	28
2.2.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO .....	29
2.2.2 PROJETO INFORMACIONAL .....	30
2.2.3 PROJETO CONCEITUAL .....	33
2.2.4 PROJETO DETALHADO .....	35
<b>3. DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>36</b>
3.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO .....	36
3.2 PROJETO INFORMACIONAL .....	37
3.3 PROJETO CONCEITUAL .....	39
3.4 PROJETO DETALHADO .....	44
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO</b> .....	<b>54</b>
<b>APÊNDICE B – CASA DA QUALIDADE</b> .....	<b>57</b>
<b>APÊNDICE C – DETALHAMENTO DE COMPONENTES:</b> .....	<b>58</b>
1. SUPORTE PARA CREMALHEIRA, EIXO Y .....	58
2. CREMALHEIRA, EIXO X .....	59
3. BASE DA ESTRUTURA .....	60
4. MANIPULADOR, MACRO MEDIDAS .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Menon (1996), a indústria de revestimentos metálicos por soldagem cresceu desde sua criação no decorrer da 1ª Guerra mundial, com objetivo de restaurar e/ou aumentar a vida útil dos componentes mecânicos. No Brasil a aplicabilidade do revestimento é vasta, tais como as picadoras de cana-de-açúcar, no setor sucroalcooleiro segundo Lima e Ferraresi (2010), e nos rotores e pás de turbinas hidráulicas, nas usinas hidrelétricas conforme Oliveira (2001).

Esse revestimento consiste na deposição de metal, conhecido como metal de adição, em peças metálicas com o objetivo de reduzir a perda de material em ambientes de trabalho que favoreçam o desgaste da peça. A deposição pode ser realizada utilizando um princípio de fusão no metal de adição e na peça. Entre todos os tipos de soldagem por fusão, o mais utilizado em escala industrial é o arco elétrico onde se utiliza a energia do arco elétrico para fundir determinada região entre a peça e o metal de adição, (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Um dos processos utilizados na deposição de revestimentos por soldagem, e que utiliza como princípio de fusão o arco elétrico, é o processo TIG (*Tungsten Inert Gas*), pela alta qualidade e sua aplicabilidade em diferentes tipos de metais. Porém ele apresenta uma baixa produtividade devido ao controle do arco elétrico. Por esse motivo é mais utilizado com baixas velocidades de soldagem, dificultando seu uso em maior escala industrial. Além da baixa produtividade, o processo TIG é mais comumente empregado na soldagem manual, acarretando problemas de repetitividade e insalubridade ao soldador. Conforme Felizardo e Bracarense (2006), na soldagem manual a falta de repetitividade nos cordões de solda, possibilita maiores defeitos de soldagem.

Na busca de melhores resultados como também a obtenção de maior produtividade no processo TIG utiliza-se o arame frio como metal depositante, substituindo as varetas. O emprego do arame no processo TIG é conhecido como TIG alimentado. Segundo Miranda *et al.* (2011), o processo de soldagem TIG com alimentação automática apresenta uma melhor estabilidade no arco, qualidade e quantidade de deposição quando comparado com a alimentação manual. A utilização de operações mecanizadas, automatizadas e robotizadas é juntamente empregada

com o TIG alimentado. Essas operações possibilitam o controle de parâmetros específicos, tais como o deslocamento da tocha ao longo do cordão de solda com velocidade determinada e o direcionamento da tocha e do arco.

Para aliar a produtividade com a qualidade da soldagem TIG em revestimentos tem-se a necessidade de desenvolver uma concepção de um manipulador de soldagem que possibilite o controle desses parâmetros, e que possa ser instalado em campo. Nesse sentido, o trabalho desenvolve uma linha de pesquisa centrada no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) seguindo as etapas de planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado.

### **1.1 Problema de pesquisa**

Devido à baixa produtividade e maior qualidade no processo TIG aplicados na área de revestimentos, considerou-se a ideia de como tornar esse processo de soldagem mais produtivo ao ser utilizado para revestimentos. Para isso, necessita-se melhorar a suas características de baixa produtividade. Diante desse contexto, o problema a ser resolvido é: Como desenvolver uma concepção para um manipulador linear aplicado a soldagem de revestimentos com TIG alimentado?

### **1.2 Justificativa**

A dificuldade em obter melhor desempenho na soldagem manual é causada pela falta de controle de parâmetros como velocidade de soldagem e a distância entre o eletrodo e a peça. De acordo com Rodrigues (2005), os processos de soldagem apresentam-se como gargalos de produção nas indústrias devido à pouca informação disponível a respeito dos seus parâmetros em seus controles na execução da soldagem.

Para maior produção no processo de revestimentos de soldagem através do processo TIG tem a necessidade de desenvolvimento de um manipulador de soldagem aplicado a este processo. Conforme Carvalho (2009), devido aos requisitos de facilidade de transporte, instalação, e robustez os manipuladores de soldagem são

mais utilizados em campo do que robôs, além de possuírem uma concepção mecânica mais simplificada.

### **1.3 Objetivos**

#### **Objetivo geral**

Desenvolver uma concepção de um manipulador de soldagem linear para revestimentos com TIG alimentado, fazendo o uso da metodologia de Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP).

#### **Objetivos específicos**

- Elaborar questionário para a obtenção de requisitos de um manipulador de soldagem TIG alimentado através das respostas do questionário.
- Definir as especificações-meta a partir dos requisitos.
- Conceituar funções que atendam as especificações-meta para o manipulador de soldagem.
- Desenvolver um projeto final que atenda todas as funções conceituadas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

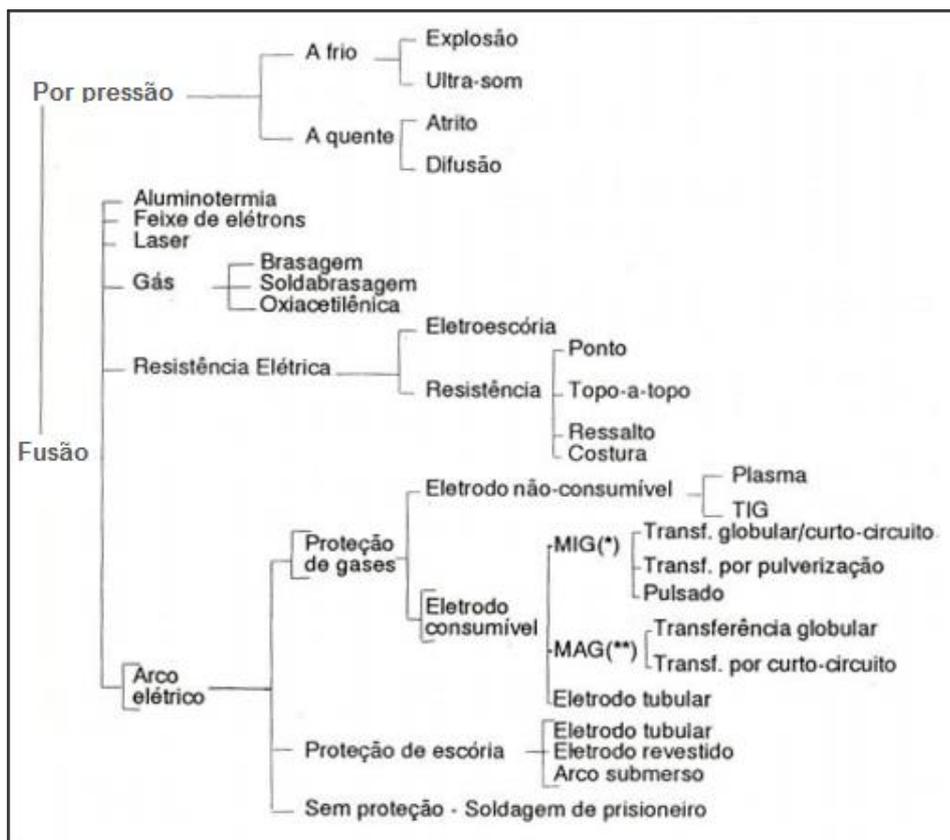
### 2.1 Soldagem

Soldagem, conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2009), é o processo de união de metais mais utilizado industrialmente, tendo aplicação desde a indústria microeletrônica até a fabricação de estruturas de milhares de toneladas de peso. Segundo Cunha (1988), a soldagem ocorre pela aproximação das superfícies das peças a uma distância suficientemente curta para a criação de ligações químicas entre os seus átomos.

Por definição a soldagem é o: “Processo de união usado para obter a coalescência (união) localizada de materiais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição.” (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2009, p. 47).

Os processos de soldagem de acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009) podem ser classificados pelos métodos mais difundidos para produzir a solda: processos de soldagem por pressão (ou por deformação) e processos de soldagem por fusão. A figura 1 mostra a classificação dos processos de soldagem conforme Wainer, Brandi e Mello (1992).

Figura 1 – Classificação dos processos de soldagem.



Fonte: WAINER; BRANDI; MELLO 1992).

Segundo Cunha (1988), os processos de soldagem por pressão consistem na deformação localizada das partes a serem unidas. Com o aquecimento localizado dessas partes até uma temperatura inferior à fusão desses materiais, é facilitada a deformação das superfícies de contato. Este grupo inclui os processos de soldagem por forjamento, por ultrassom, por fricção, por difusão, por explosão, entre outros.

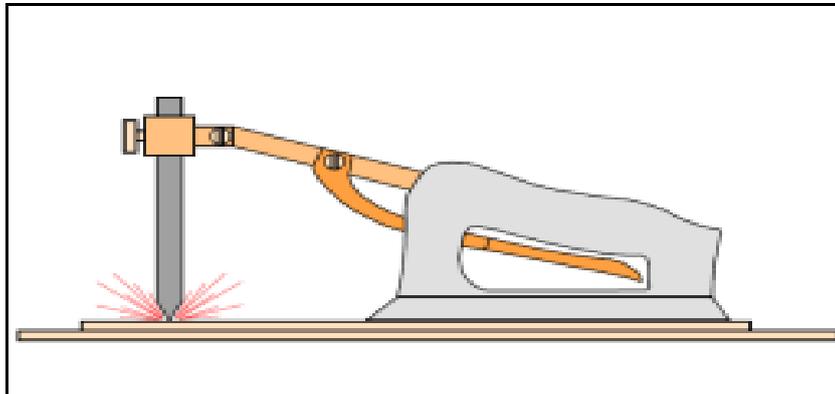
O processo de fusão de acordo com Cunha (1988) tem como princípio o uso de calor na região a ser soldada até a sua fusão. Os processos de soldagem por fusão dividem-se em processos à chama, a arco elétrico, em banho de escória, aluminotermia, feixe de elétrons, laser e a plasma. Conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2009), os processos de soldagem por arco elétrico são os que possuem maior importância industrial devido a vantagem de obter alta concentração de calor com altas temperaturas em uma pequena região.

### 2.1.1 Soldagem a Arco Elétrico

A soldagem a arco elétrico, de acordo com Quites (2002), é o processo onde se utiliza a energia do arco elétrico para a fusão do metal. Essa fusão é originada do emprego direto e localizado do arco elétrico. Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009) o arco elétrico é formado por uma descarga elétrica ocasionada pela diferença de potencial entre o eletrodo e a peça, e, sustentada através de um gás ionizado a uma alta temperatura.

Foi na soldagem a arco elétrico que foi estabelecida a primeira patente de processo de soldagem conhecida, esta foi criada na Inglaterra por Nikolas Bernados e Stanislav Olszewsky, em 1885. Esta, conforme a figura 2 consiste num arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de carvão e um metal de base. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Figura 2 – Patente do sistema desenvolvido por Bernados e Olszewsky.



Fonte: MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Conforme Quites (2002), para a formação do arco, é necessário que se utilize uma fonte de energia ligado a peça e ao eletrodo para fornecer a diferença de potencial. Quando ligada a fonte de energia, a peça e o eletrodo estarão energizados, mas não passará corrente elétrica enquanto houver distância entre eles. Isto acontece pelo fato de que o ar está servindo como isolante elétrico, impedindo a passagem de corrente.

A maneira mais simples para a obtenção do arco elétrico de acordo com Quites (2002), é o bombardeamento com elétrons do gás existente entre a peça e o eletrodo, tendo como resultado o aquecimento do gás. Para conseguir isto deve-se tocar o eletrodo na peça, fazendo com que a diferença de potencial caia consideravelmente, e a corrente cresça a um valor próximo da corrente de curto-circuito. A região tocada pelo eletrodo aquece-se imediatamente, até se incandescer. Como resultado, o metal quando incandesce começa a emitir elétrons.

Os elétrons emitidos se colidem com os átomos dos gases que compõe a atmosfera entre o eletrodo e a peça, fazendo com que esses gases e até vapores metálicos se ionizem devido à alta temperatura. Estes passam para o estado de plasma e tornam-se condutores de energia elétrica. Com a ionização do gás, mesmo ao afastar em alguns milímetros o eletrodo da peça, o arco elétrico ainda permanecerá entre eles. O arco elétrico gera muito calor possibilitando a fusão das partes que se pretende unir, formando a solda ou cordões de solda quando aplicado na superfície da peça. A aplicação de cordões de soldas adjacentes é denominada revestimento por soldagem. (QUITES, 2002).

Muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de revestimentos com características especiais. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). Dentre os processos de soldagem, os mais utilizados na deposição de material são os que utilizam como princípio de fusão o arco elétrico. (CONDE, 1986).

Segundo Lima e Ferraresi (2009), a aplicação de revestimentos tem como objetivo reduzir o desgaste, os custos, e a busca do incremento da vida em serviço dos componentes e na redução das paradas para manutenção. A correta seleção do material depositado permite transformar elementos descartáveis por desgaste em bens de capital recuperável, aumentar a resistência e prover as superfícies vulneráveis ao desgaste, de características e propriedades desejadas e, assim, aumentar a eficiência do processo em que tomam parte os componentes reconstruídos e/ou protegidos. Conforme Colaço (2013), ocorre redução significativa de desgaste quando ocorre aplicação de revestimento em uma camada possibilitando reduzir a zero com duas camadas de revestimento sobre a peça.

Segundo Corrêa e Trevisan (2001), a resistência ao desgaste de revestimento depende dos parâmetros de soldagem e da composição do material de deposição, este terá influência na microestrutura do material e conseqüentemente nas propriedades mecânicas da mesma.

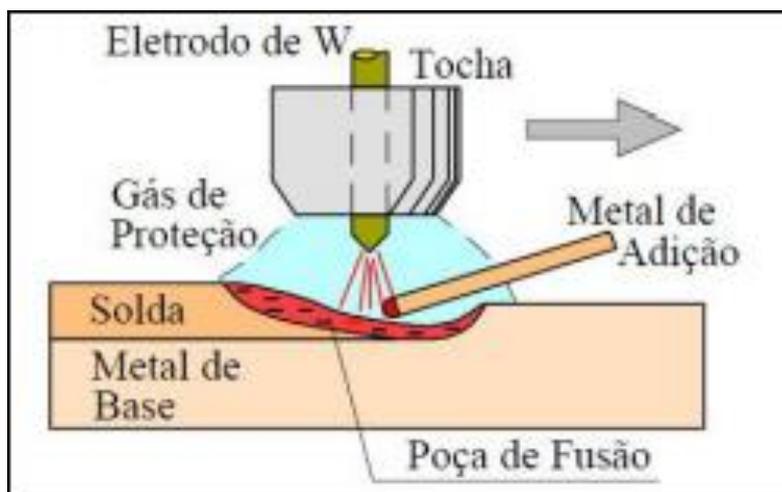
### **2.1.2 Processo de Soldagem TIG**

Também conhecido como GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) ou em português (soldagem sob atmosfera gasosa com eletrodos de tungstênio), o processo TIG (*Tungsten Inert Gas*), foi patenteado no final da década de 20, e utilizado comercialmente a partir de 1942, para a soldagem de magnésio em assentos de aviões, nos Estados Unidos. (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

De acordo com Wainer, Brandi e Mello, (1992), o processo é empregado nos dias de hoje para a soldagem de alumínio, de magnésio, de titânio e aços inoxidáveis, produzindo uma solda de excelente qualidade.

O processo TIG utiliza como princípio de fusão o arco elétrico para a união do material de adição e as peças metálicas. O arco elétrico nesse processo é resultante da diferença de potencial entre o eletrodo não consumível e a peça. Gás inerte ou mistura desses são utilizados nesse processo para a proteção da poça de fusão contra contaminantes da atmosfera e também para a estabilização do arco elétrico. Na figura 3 é mostrado como é formado o processo TIG. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Figura 3 – Processo de soldagem TIG.



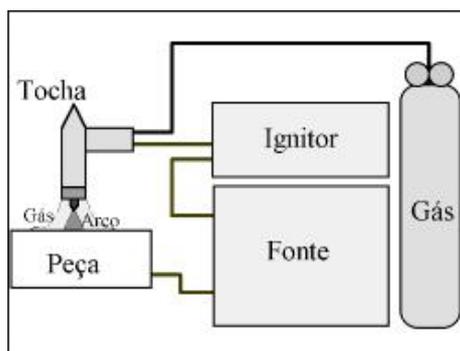
Fonte: (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Esse processo possui excelente controle do arco elétrico, pois a fonte de energia e o metal de deposição são variáveis independentes, facilitando a sua utilização em peças finas. Outra característica do processo TIG é a utilização do eletrodo não consumível, possibilitando a soldagem sem material de adição. Pelo fato da utilização do gás inerte, esses não formam reações metal-gás e metal-escória, diminuindo a geração de fumos e vapores metálicos, possibilitando maior visibilidade do soldador e não necessitando de limpeza. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

### 2.1.3 Equipamentos necessários no processo TIG

Os equipamentos básicos utilizados na soldagem TIG consistem em uma fonte de soldagem, reservatório de gás protetor, tocha de soldagem aplicada ao processo TIG, dispositivo para a abertura do arco, cabos e mangueiras. Há outros equipamentos utilizados para obtenção de maior produtividade e facilidade de operação, tanto na soldagem manual quanto na soldagem mecanizada. A figura 4 mostra os equipamentos básicos para a soldagem TIG em forma de esquema. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Figura 4 – Equipamentos necessários para o processo TIG.



Fonte: (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Para o processo de soldagem TIG como também para outros processos que utilizam como princípio de fusão o arco elétrico, necessitam de um equipamento aplicado especificamente para fornecer a tensão e a corrente necessária para a formação do arco. Este equipamento é conhecido como fonte de energia ou máquina de solda, estas trabalham com tensões na ordem de 10 a 40 V e corrente elétrica na faixa de 5 a 500 A, (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

De acordo com Wainer, Brandi e Mello (1992), as fontes de energia para soldagem podem ser geradores, retificadores e transformadores, dependendo das características do metal a ser soldado. Marques, Modenesi e Bracarense (2009), descrevem que as fontes de energias utilizados no processo TIG devem ser do tipo de corrente constante, permitindo que o comprimento do arco varie sem que a corrente sofra alterações expressivas.

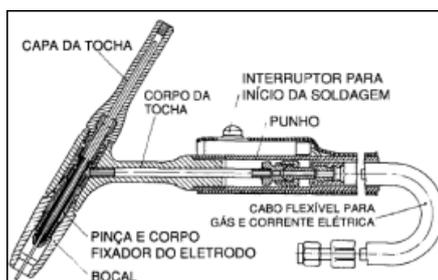
Os tipos de corrente trabalhado por fontes convencionais podem ser alternada (CA) ou contínua (CC). Nas fontes eletrônicas, estas mais modernas, podem ser trabalhadas além da corrente contínua e alternada, a corrente pulsada. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

O guarnecimento do gás inerte, é feito utilizando um reservatório de gás de proteção com forma cilíndrica onde possui controle das variáveis de vazão e pressão de gás. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Já para o suporte e a fixação do eletrodo de tungstênio, a condução de corrente elétrica e fornecimento de gás de proteção entorno da poça de fusão e o arco elétrico, são funções da tocha. (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

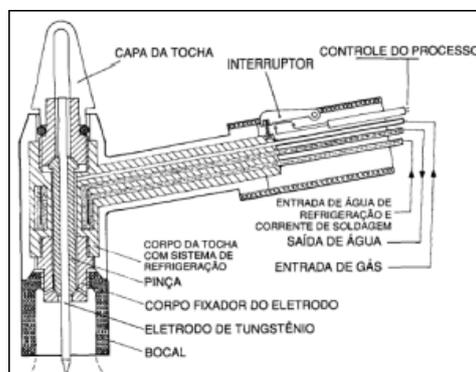
Conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2009), as tochas de soldagem TIG podem ser refrigeradas por água ou pelo próprio gás de proteção dependendo da corrente elétrica utilizada. As tochas refrigeradas pelo próprio gás possuem capacidade de até 150 A. Quando necessita de maior emprego de corrente elétrica utiliza-se as tochas refrigeradas à água, estas, possuem capacidades de até 500 A. As figuras 5 e 6 mostram como são compostas a tochas de soldagem TIG resfriadas a ar e a água respectivamente.

Figura 5 – Tocha TIG resfriada a ar.



Fonte: (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

Figura 6 – Tocha TIG resfriada a água.

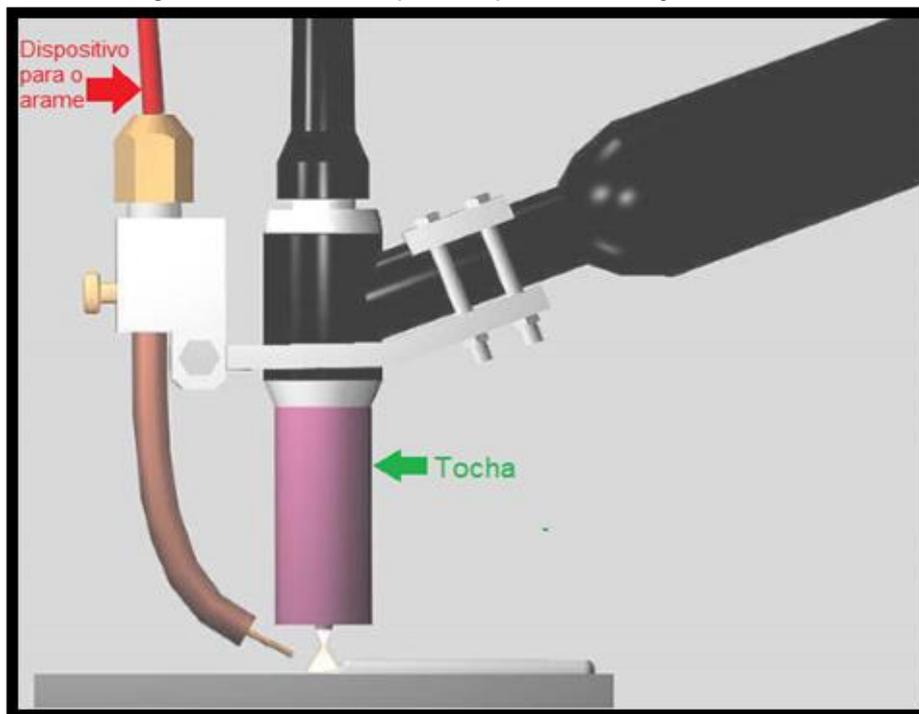


Fonte: (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

As tochas TIG normalmente possuem um corpo metálico, sendo o seu interior formado por um porta-pinça, uma pinça, (que serve para a fixação do eletrodo de tungstênio e para estabelecer contato elétrico), suporte do bocal e bocal para o direcionamento do gás, podendo este ser cerâmico ou metálico. A pinça tanto como bocal possuem diâmetros variados, de acordo com o emprego da tocha. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Conforme Delgado (2000), tochas aplicadas ao processo TIG para a alimentação automática necessitam de um dispositivo que permite o ajuste do arame sendo guiado a poça de fusão, a figura 7, representa o dispositivo ligado a tocha.

Figura 7 – Tocha e Dispositivo para alimentação do arame.



Fonte: (DELGADO, 2000).

#### 2.1.4 Parâmetros para o processo de soldagem TIG

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009), os principais parâmetros no processo de soldagem TIG são o comprimento do arco, a corrente de soldagem, a velocidade de soldagem e a vazão do gás de proteção. De acordo com Quites (2002), esses parâmetros são importantes pois influenciam nas características do cordão de revestimento, tais como diluição, penetração ao longo da largura, reforço e convexidade. Conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2009), além de adição de outros dispositivos e componentes no processo TIG afim de torna-lo automatizado ou mecanizado, se faz necessário o controle de outro parâmetro importante, a velocidade de alimentação do arame, esta, deve ser proporcional a velocidade de soldagem.

O comprimento do arco é definido como a distância entre a extremidade da ponta do eletrodo até a peça, ou DEP. A variação da DEP é de 1 até 10 mm, quanto

maior a distância, maior será tensão do arco elétrico. O cordão de solda é influenciado pela variação do comprimento do arco, em geral quanto maior o comprimento do arco, mais largo e raso será o cordão. Quando se utiliza metal de adição, o reforço do cordão diminui conforme o aumento do arco. Há formação de descontinuidades e outros defeitos de soldagem causado pelo mal controle deste parâmetro. (MARQUES, MODENESI, e BRACARENSE, 2009).

A corrente de soldagem é um parâmetro limitado por outros fatores importantes, como diâmetro do eletrodo, o tipo de material, dependendo também da fonte de soldagem e do tipo de refrigeração da tocha. A corrente usual no processo TIG estão na faixa de 5 A até a 500 A.

Outro importante parâmetro é velocidade de soldagem. A velocidade de soldagem influencia a energia de soldagem e, assim, a quantidade de calor cedido à peça. Velocidades muito baixas, além de elevar o custo, podem causar problemas metalúrgicos devidos à energia de soldagem elevada. Velocidade de soldagem elevada, acima de 40 cm/min resultam em menores valores de penetração, reforço e largura do cordão. Velocidades excessivas provocam o aparecimento de mordeduras, falta de fusão e/ou penetração do cordão de soldas. (MARQUES, MODENESI, e BRACARENSE, 2009).

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009), a vazão do gás de proteção é de suma importância para a boa qualidade do cordão de solda, onde a baixa vazão propiciará em oxidação deste cordão. Para melhor controle desse parâmetro recomenda-se fazer um teste, começando com uma vazão elevada e diminuindo gradativamente até ocorrer oxidação no cordão de solda, a vazão do gás de proteção ideal será um pouco maior que este ponto.

O ângulo da tocha de soldagem influência na penetração do cordão. O ângulo de deslocamento para o sentido negativo, empurrando a tocha, causa redução da penetração, com o cordão se tornando mais largo e plano. Passando para o sentido positivo, puxando a tocha, ocorre um aumento da penetração, até cerca de 25°. Ângulos maiores que esses causam sobreposição na junta além de poderem permitir entrada de ar sob o arco elétrico. (MACHADO, 1996).

### 2.1.5 TIG alimentado

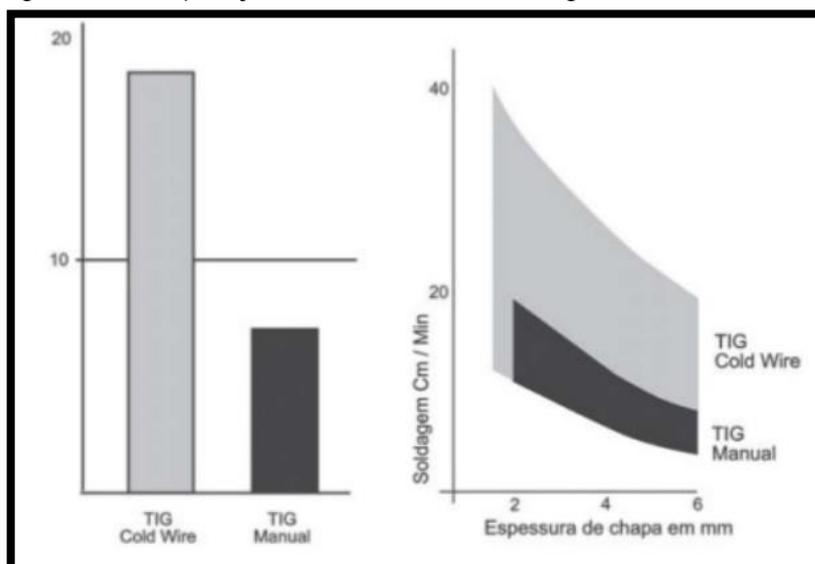
De acordo com Mascarenhas (2005) na soldagem com o processo TIG alimentado, obtém-se maior regularidade na velocidade em que a tocha libera energia para a fusão do arame e assim possibilitando maior produção. Ainda conforme Mascarenhas (2005), ao se obter maior regularidade no processo é obtido maior controle dos parâmetros na soldagem, eliminando-se grande parte dos defeitos e variações na solda, resultando em cordões de solda mais padronizados.

O processo TIG alimentado é entendido como uma variante do processo TIG, onde adiciona-se um tracionador de arame para que a alimentação do arame seja automática. O tracionador de arame é um sistema que utiliza um motor para fornecer velocidade constante e ajustável através de um componente eletrônico como potenciômetro, outros componentes deste sistema são uma fonte de energia que seja independente da fonte de soldagem, no mínimo um par de roletes para o arame ser tracionado e ranhuras nos roletes que variam de acordo com o diâmetro do arame. (RIBEIRO, 2012).

Há duas subdivisões quando ao tipo de alimentação no processo TIG alimentado, “Cold Wire” (arame frio) e “Hot Wire” (arame quente).

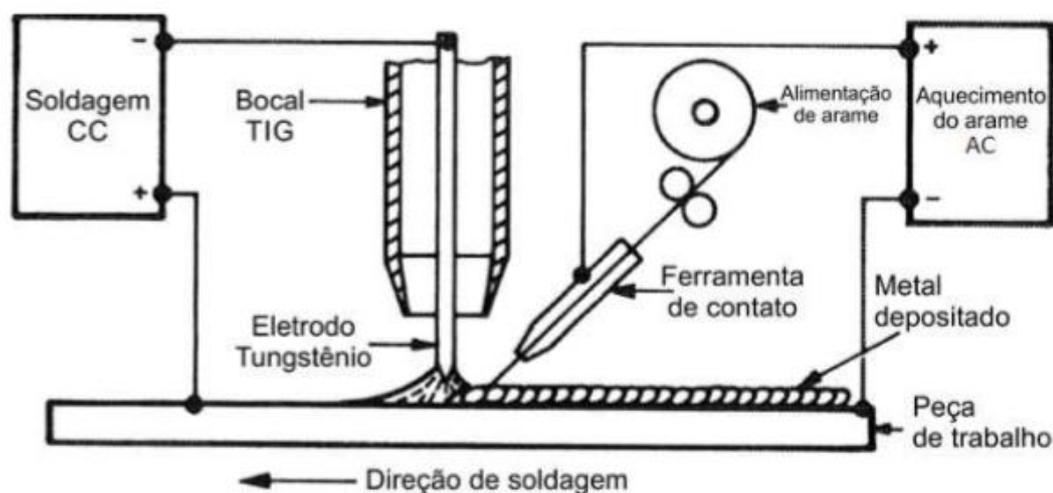
De acordo com Zeeman (2005), a alimentação do arame por *cold wire* é feita no início da poça de fusão e em temperatura ambiente, que podem ser feitas tanto em materiais ferrosos e não ferrosos e também quando tem como finalidade, o revestimento de peças. Conforme Miranda (2009), a velocidade de alimentação do arame é limitada pela corrente de soldagem no processo.

Miranda (2009) ainda diz que é importante que as propriedades mecânicas dos materiais de adição sejam conservadas. A alimentação por *cold wire* se mostra benéfica para essa conservação, já que o calor entre a poça de fusão e o metal de adição são menores devido ao metal de adição ser alimentado em temperatura ambiente. Isto resulta em menor diluição na peça e obtém-se maior dureza superficial no revestimento com melhores características do metal de adição. A figura 8 compara as velocidades de soldagem no processo TIG manual com *cold wire*.

Figura 8 – Comparação da Velocidade de soldagem manual e *cold wire*

Fonte: ZEEMANN, (2005)

De acordo com Gandelman (2017), no processo *hot wire* adiciona-se uma resistência elétrica que possui fonte de energia independente da fonte de soldagem para o aquecimento do arame. O aquecimento no arame segundo Delgado (2000), ocorre através da passagem de corrente elétrica num trecho na faixa de 40 a 60 mm entre a resistência elétrica e o arco elétrico. A temperatura do arame neste trecho pode chegar em até 400 °C, necessitando menos energia para a fusão do arame, permitindo maiores velocidade de soldagem e de alimentação, ou seja, maiores taxas de deposição. A figura 9 mostra a alimentação *hot wire* em forma esquemática.

Figura 9 – Esquema do processo, TIG Alimentado *hot wire*.

Fonte: GANDELMAN (2017) *apud* LUCAS W. (1990).

### 2.1.6 Automação na soldagem

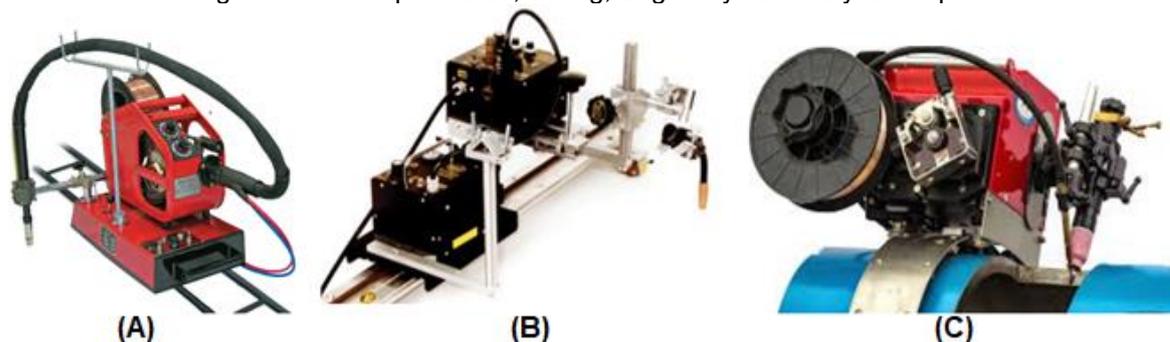
De acordo com Miranda *et al.*, (2011), a utilização de operações mecanizadas, automatizadas e robotizadas é juntamente empregada com o TIG alimentado. Essas operações possibilitam o controle de parâmetros específicos,

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009) qualquer sistema ou conjunto de equipamentos eletrônicos e/ou mecânicos que controlam o seu próprio funcionamento com o mínimo de intervenção humana, são sistemas automáticos. A classificação quanto ao tipo de operação conforme é baseada nas atividades necessárias para a elaboração da solda. Para Miranda *et al.*, (2011), as principais atividades são o deslocamento da tocha ao longo do cordão de solda com velocidade estabelecida e o direcionamento da tocha e do arco.

Conforme Barra, Dutra e Ribas (1998) o processo de automação permite além da possibilidade de um controle mais seguro sobre os parâmetros, uma melhor avaliação das origens de possíveis defeitos nos cordões de solda, ajudando a eliminar uma possível influência do soldador e também conseguindo maior repetitividade no processo.

Lucas (2011), diz que devido à dificuldade de instalação em campo de robôs e operações automatizadas, os manipuladores tendem a suprir os requisitos de custos, robustez, facilidade de transporte e instalação. De acordo com Hubert (2014), os manipuladores adaptados a soldagem disponíveis no mercado são construídos para atenderem a demanda em linhas de produção, onde todo o arranjo de produção é ajustado para instala-lo. Ainda conforme Hubert (2014), grande parte dos manipuladores de soldagem elaborado por essas empresas são feitos por encomenda para atenderem uma tarefa específica, o que limita seus usos para outros serviços e torna o manipulador muito caro. A figura 10 mostra os manipuladores de soldagem das fabricantes internacionais Dyna Torque que faz soldagem orbital para a ligação de oleodutos, Bug-O System manipulador de soldagem tipo cartesiano e também da empresa Sumig que também é utilizada em um plano cartesiano.

Figura 10 – Manipuladores, Sumig, Bug-O System e Dyna Torque.



Fonte: (A), Sumig (2018), (B), Bug-O System (2018) e (C), Dyna Torque (2018).

### 2.1.7 Manipuladores de soldagem

Os manipuladores de soldagem são sistemas mecânicos que tem como objetivo o deslocamento da tocha. Conforme Carvalho (2009), os manipuladores podem possuir vários graus de liberdade dependendo de sua complexidade. Os manipuladores de soldagem são formados por elos cuja a extremidade é interligada por juntas e servem para a fixação/movimentação do efetador, ou seja, a tocha. Ainda conforme Carvalho (2009), são as juntas que determinam quantos graus de liberdade o mecanismo pode ter. O mecanismo pode fazer movimentos que podem ser de translação (prismático) ou de rotação (rotacional).

Segundo Carvalho (2009), a movimentação da tocha é resultante do movimento das juntas, essas por sua vez, são realizados por atuadores, que podem ser elétricos, eletrohidráulicos ou eletropneumáticos. Nos trabalhos de Hubert (2014) e de Hobold, Fontanive e Colaço (2015), os atuadores utilizados para a construção de manipuladores de soldagem foram servo motores e motores de passo acionados por “drives”, por serem elétricos esses motores necessitam ter sua velocidade ajustada por componentes de transmissão mecânica, os componentes mais comuns usados são engrenagens, correias e polias.

Conforme Carvalho (2009), é importante que o movimento da tocha seja monitorado, para isso são utilizados sensores que medem o estado do manipulador e se necessário o estado do ambiente, normalmente são *encoders*, potenciômetros, tacômetros, câmeras e sensores de torque/força, entre outros.

De acordo os trabalhos de Lucas (2011), Hubert (2014), Hobold, Fontanive e Colaço (2015), outros componentes eletrônicos são usados em manipuladores de

soldagem, os módulos de comunicação por exemplo, possibilitam a inserção dos dados a distância, sendo capazes de acionar o atuador via sinal eletromagnético, tal como tensão elétrica, ondas de rádio, micro-ondas e sinais infravermelhos.

Os módulos de comunicação são partes do sistema de acionamento sem fio e também é composto por *joystick*, teclado matricial e telas LCD (*liquid crystal display*), que podem ser *touchscreen*. Esses componentes por sua vez são todos integrados e/ou interligados por plataforma de prototipagem eletrônica, as principais marcas são Arduino, Raspberry Pi e Beaglebone. A utilização de plataforma de prototipagem permite que manipuladores de soldagem tenham sua movimentação mais fluida, executando a movimentação de vários eixos simultaneamente.

## 2.2 Processo de desenvolvimento de produto

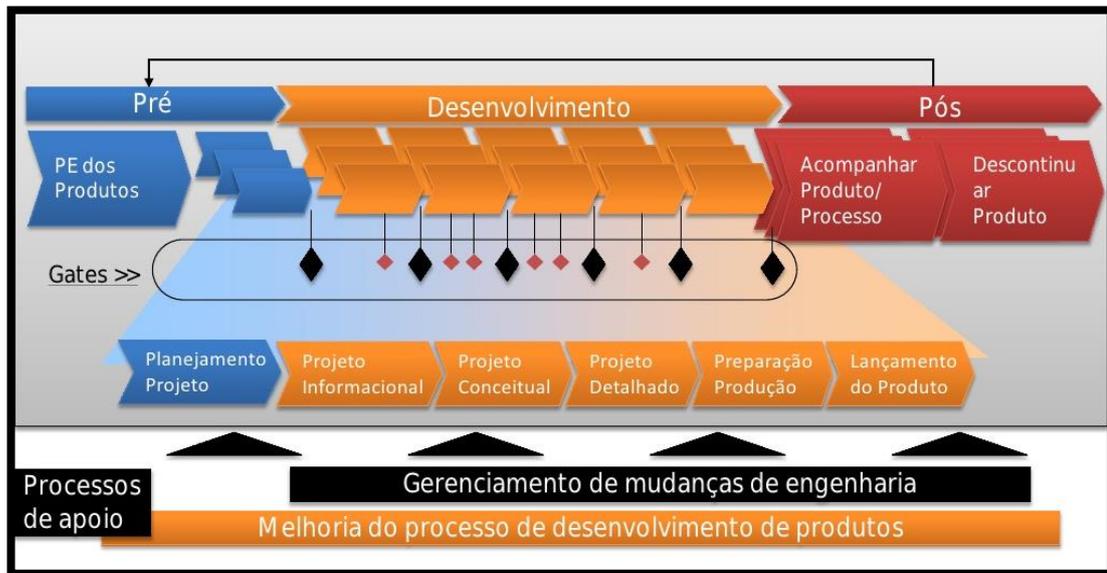
O Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), conforme Rozenfeld *et al.*, (2006), é um processo de negócio. Processos de negócios para Moreira (2010), são um conjunto de atividades elaboradas por uma organização que tem como objetivo criar ou adicionar valor a um cliente seja ele interno ou externo.

O PDP de acordo com Rozenfeld *et al.*, (2006) é o elo entre empresa e mercado, que diferencia e prevê as necessidades do mercado e assim propõem soluções (por meio de projetos de produtos e serviços relacionados) que atendam essas necessidades. Segundo Pinto e Fontenelle (2013), o sucesso de um novo produto está relacionado com a idealização do processo, que por consequência implica diretamente na redução dos custos de seu desenvolvimento.

O desenvolvimento de algum produto consiste em buscar necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, assim, chegando às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção. Necessita-se acompanhar o produto após o lançamento, para realizar as eventuais mudanças nessas especificações. Este processo é importante para a competitividade das empresas, principalmente pela internacionalização dos mercados, aumento da diversidade e variedade de produtos e redução de ciclos de vida dos produtos no mercado. (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O modelo unificado do PDP, é dividido em três macrofases. Cada uma dessas macrofases é composta por etapas e atividades de avaliação aplicada a cada etapa. As atividades de avaliação são denominadas como (gates). A figura 11 mostra a visão geral do PDP. (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Figura 11 – Visão geral do PDP.



Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006).

- **Pré-Desenvolvimento:** nessa fase é realizado o planejamento estratégico dos produtos e o planejamento do projeto.
- **Desenvolvimento:** é a fase onde são realizadas a maior parte das atividades correspondentes ao projeto do produto, são elas: Projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção, e lançamento do produto.
- **Pós-Desenvolvimento:** essa fase corresponde necessariamente ao planejamento do acompanhamento e da retirada do produto do mercado.

### 2.2.1 Planejamento do projeto

Um projeto no PDP de acordo com Rozenfeld *et al.* (2006) visa criar um produto seguindo o processo em seu início, meio e fim já definidos. O novo produto

será diferenciado aos outros produtos do portfólio da empresa pois foi criado de forma única em seu processo de desenvolvimento. O plano do projeto apresenta informações relacionadas ao objetivo do produto e de seu projeto, às suas atividades e previsão de duração, orçamento, recursos e pessoal necessário para a execução do projeto, às possibilidades de riscos e aos indicadores de desempenho que devem ser empregados.

No planejamento do projeto de acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), deve-se definir os interessados no projeto e assim identificar suas necessidades. Para isso, necessita-se de ações de planejamento organizacional, montagem e desenvolvimento da equipe. Os conceitos e técnicas da área são organizados e sistematizados para serem tornados um padrão.

Back *et al.*, (2008) dizem que o planejamento de projeto no desenvolvimento de produto começa, na formulação de objetivos para a seleção de métodos que contenha a visão, missão, valor e objetivos da equipe de gerenciamento. Ele segue com o processo de elaborar e documentar progressivamente o trabalho do projeto, seu tempo, custos e entre outros elementos importantes para o gerenciamento do projeto.

### **2.2.2 Projeto informacional**

De acordo com Rozenfeld *et al.*, (2006) o objetivo dessa fase é desenvolver as especificações-meta do produto. Essas especificações orientam a geração de soluções, e dão o suporte para os critérios de avaliação e tomada de decisão a serem montados. As especificações são utilizadas nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento. Esse conjunto de informações deve representar os requisitos que o produto deverá ter, atendendo às necessidades dos clientes. Nesta fase também são buscadas com detalhes as informações sobre aspectos tecnológicos, e de produtos concorrentes ou produtos no mercado que poderiam fazer essas funções.

Para Back *et al.*, (2008) planejar o produto consiste em uma pesquisa de ideias sistemática. As ideias mais promissoras são coletadas e avaliadas considerando os objetivos estratégicos, econômicos e técnicos. A realização do produto começa com a decisão de aprovação de determinado projeto estabelecido,

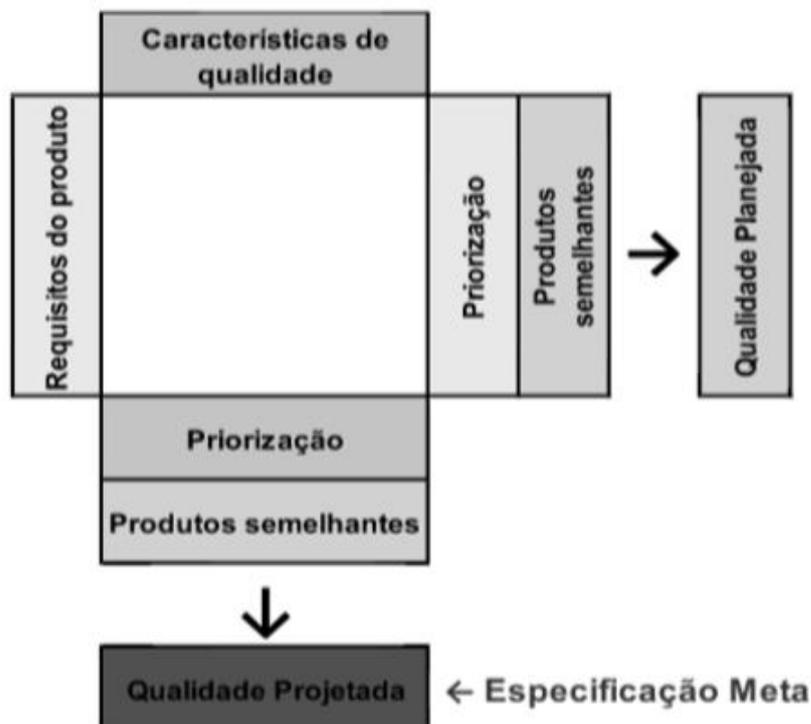
esses devem ser continuamente integrado as técnicas de gestão, avaliação e ao conjunto de ferramentas da organização.

A próxima etapa segundo Rozenfend *et al.*, (2006), é buscar as informações das necessidades dos clientes, e transformá-las em requisitos do produto. Para isto deve se organizar as informações, as categorizando e estruturando onde devem atender as especificações-meta. Os requisitos de projeto devem ser estruturados, de forma que o produto atenda às necessidades dos clientes, priorizando os que eles consideram mais importantes.

Segundo Cheng e Melo Filho (2010) o QFD (*Quality Function Deployment* ou Desdobramento da Função Qualidade em português) é uma forma de se entender as informações organizadas e relacionando-as com a qualidade e de apresentar como obtê-la, tem como objetivo a garantia da qualidade durante o desenvolvimento de produto e é dividido em Desdobramento da Qualidade (QD) e Desdobramento da Função Qualidade no sentido restrito (QFDr).

Conforme Cheng e Melo Filho, (2010) os dados obtidos das pesquisas de campo são a origem principal de informações. Estes dados no QFD devem ser transformados em características da qualidade a partir da tabela de qualidade exigida. As características da qualidade deverão ser mensuráveis no produto final, para isso se necessita identificá-las. A figura 12 mostra uma representação dos campos da tabela do QFD.

Figura 12 – Ilustração da tabela QFD.



Fonte: Adaptado de (CHENG e MELO FILHO, (2010)

Outro campo importante na tabela QFD de acordo com Baxter (1998), são as análises de produto concorrentes. Essas análises relatam as oportunidades de inovação do produto a ser criado e as metas de suprirem as funções dos produtos relacionados. Um meio comum para a geração dessas análises é a desmontagem desses produtos concorrentes, onde também são obtidos dados para serem colocados na tabela do QFD a fim de compará-los com o novo produto. Após a comparação entre os valores atuais das características da qualidade com os produtos concorrentes, devem ser estabelecidos as especificações técnicas do novo produto que melhor atendam essas necessidades. Estas especificações técnicas são colocadas na qualidade projetada na matriz da qualidade

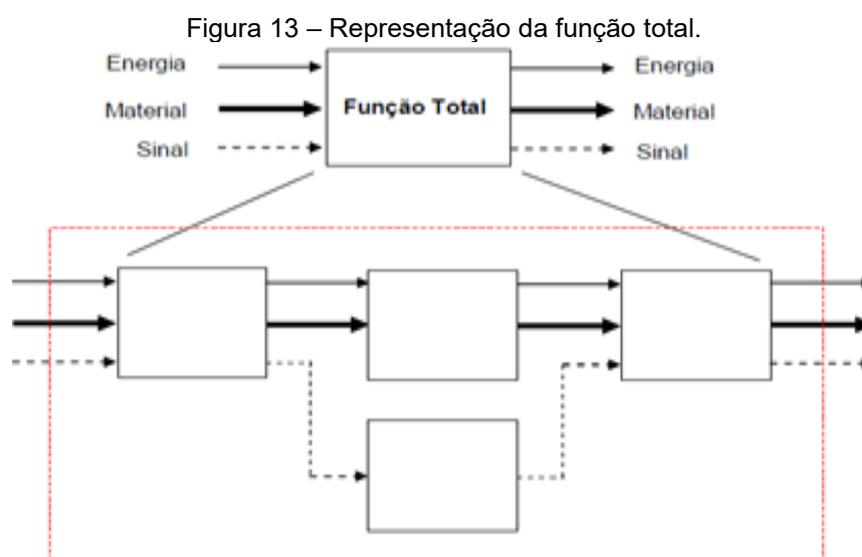
As especificações-meta são parâmetros quantitativos e mensuráveis utilizados para facilitar a geração de soluções para o problema do projeto. As especificações-meta podem ser a base a qual será montada os fundamentos de avaliação e de tomada de decisão em etapas posteriores do processo de projeto. (ROZENFELD *et al.*, 2006).

### 2.2.3 Projeto conceitual

O projeto conceitual segundo Baxter (1998) tem como finalidade produzir os fundamentos do projeto do novo produto. O projeto conceitual deve mostrar como o novo produto foi feito para atingir as metas dos desenvolvedores. As metas devem estar bem definidas para que se obtenha a compreensão das necessidades do público-alvo e dos produtos semelhantes. Com esta base de informações o projeto conceitual foca-se em desenvolver as funções do produto, descrevendo assim os seus funcionamentos e os conceitos destes funcionamentos no produto.

Para Back *et al.*, (2008) os desenvolvedores devem gerar soluções alternativas que atendam as especificações do projeto. O objetivo de estabelecer a estrutura funcional do produto projetado é para auxiliar na busca por princípios de solução, pois estes são determinados para atender às funções do produto. Para isso, esta etapa foi dividida em duas atividades: estabelecer a função global e estabelecer a estrutura funcional.

Conforme Ferreira (1997), a função total é determinada a partir da análise criteriosa das especificações do projeto. Sua representação gráfica é feita por meio de um bloco sujeito a fluxos de energia material e sinal, que são as entradas e saídas do sistema, conforme mostrado na figura 13.



Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A energia de saída representa a parcela de energia que sai do sistema sob formas indesejáveis, tais como: calor, vibrações e ruídos. Embora indesejáveis, tais saídas dificilmente são evitadas em sistemas físicos. (FERREIRA, 1997).

Esta é uma das etapas mais importantes desta fase do projeto. Os princípios de solução aqui encontrados serão atribuídos às funções da estrutura funcional e darão forma ao produto. A representação das soluções conforme Rozenfeld *et al.*, (2006) podem ser feitas por meio de esquemas, croquis e desenhos que podem ser manuais ou computacionais. A seleção dessas soluções é feita com base em métodos apropriados que se apoiam nessas especificações como o método da matriz morfológica.

O método da matriz morfológica de acordo com Back *et al.*, (2008) consiste em uma pesquisa ordenada de diferentes combinações de fundamentos e parâmetros, com o objetivo de encontrar uma nova solução para o problema. De acordo com Rozenfeld *et al.*, (2006) os parâmetros descrevem, as características ou funções do produto ou processo deverá ter ou atender. Para cada função do produto existe um número de possíveis soluções. A matriz permite que as soluções sejam consideradas e fornece uma estrutura para a obtenção de soluções alternativas para o produto como é mostrada na figura 14.

Figura 14 – Exemplo de matriz morfológica.

	Solução 1	Solução 2	Solução 3
Função A	Solução em desenho para função A		
Função B	Solução em desenho para função B		
Função C	Solução em desenho para função C		

Fonte: O Autor (2018).

Conforme Rozenfeld *et al.*, (2006) deve ser elaborada a arquitetura do produto ao final da geração de alternativas. A arquitetura do produto é um esquema pelo qual os componentes do produto são combinados em partes físicas. Essas partes estão relacionadas com os princípios de solução individuais adotados nos princípios de solução total. Dessa forma as alternativas de solução são desdobradas em Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC) que deverão atender às funções do produto.

#### **2.2.4 Projeto detalhado**

O projeto detalhado segundo Rozenfeld *et al.*, (2006) tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto. Essas contêm as tolerâncias de seus parâmetros dentro de uma faixa de valores que atenda aos requisitos dos clientes e todas as especificações-meta da fase de projeto informacional.

Nesta fase ocorre maior integração com a fase anterior, sendo que no projeto conceitual os SSC's são constantemente revisados de cima para baixo, ou seja, do produto final para os componentes, com objetivo de definir se são a melhor escolha. Ocorrendo o contrário logo em seguida no projeto detalhado, para constatar se determinada especificação pode ser necessária, onde o "todo" é avaliado. (ROZENFELD *et al.*, (2006).

No projeto conceitual a última etapa é obter uma abertura dos SSC's e no projeto detalhado a fase inicial consiste em criar, reutilizar, procurar e codificar os SSC's. Logo após vem seus cálculos, desenhos e tolerâncias finalizando com o projeto final documentado. (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Segundo Rozenfeld *et al.*, (2006) após o projeto estar documentado é a vez de serem feitas tomadas de decisões sobre como serão adquiridos os SSC's. Esses podem ser comprados ou confeccionados. Levando em conta fornecedores, planejamento de fabricação e montagem.

### 3. DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do projeto deste manipulador, foi realizado um estudo teórico sobre algumas metodologias de desenvolvimento de produtos. Essas pesquisas ajudaram na utilização do modelo PDP para o desenvolvimento do manipulador. O modelo de desenvolvimento do produto utilizado neste trabalho consiste no levantamento de informações e execuções das etapas de planejamento do projeto, projeto informacional do produto, projeto conceitual e projeto detalhado.

#### 3.1 Planejamento do projeto

A primeira parte do planejamento do projeto conforme Rozenfeld *et al.*, (2006) é a definição dos interessados/público alvo:

Um dos motivos para a realização deste trabalho é obter futuras informações sobre controle de diversos parâmetros de soldagem, as instituições de pesquisa no campo da soldagem são as que mais buscam informações para determinada configuração do processo. Portanto ficou definida que o público alvo deste trabalho são instituições de pesquisas que buscam maiores controles de variáveis no processo TIG alimentado em um plano cartesiano, ou seja, em revestimentos.

Após os interessados no projeto serem definidos, a próxima etapa na fase do planejamento do projeto é definir as limitações do produto/manipulador. Possuindo como foco o desenvolvimento de um manipulador de baixo custo, as limitações não devem restringir a necessidade de fazer o revestimento, mas que agregariam custo ao produto. Nesta etapa foram realizadas pesquisas teóricas sobre manipuladores, máquinas de soldagem, ou produtos semelhantes, bem como seus componentes. Para isso foram definidas as seguintes limitações do trabalho:

- Não haverá ajuste de altura automática;
- Não haverá correções de trajetória automaticamente;
- Não haverá programação eletrônica para controle de eixos;
- Não será elaborado dispositivo para alimentação a frio da tocha de soldagem;
- Não será desenvolvido um alimentador de arame;

- A soldagem será efetuada somente na posição plana.

### 3.2 Projeto informacional

O início desta etapa segundo Rozenfend *et al.*, (2006), é buscar as informações das necessidades dos clientes, estas necessidades podem ser buscadas com pesquisas de campo e questões a serem respondidas com a finalidade de obter dados técnicos e operacionais sobre o manipulador.

Seguindo a metodologia do PDP a primeira parte do projeto informacional neste trabalho consistiu em um questionário. Que serviu para a obtenção de dados sobre desenvolvimento do manipulador de soldagem linear TIG alimentado. As respostas foram obtidas pesquisando em fóruns de soldagem online, livros e catálogos, o questionário é mostrado no Apêndice A.

Requisitos do produto são necessidades dos clientes escritas em linguagem de engenharia, em que essas possam ser compreendidas claramente por seus desenvolvedores. Os requisitos do produto obtidos neste trabalho são desenvolvidos a partir do questionário (Apêndice A) e mostrados no quadro 1:

Quadro 1 - Requisitos do manipulador.

Requisitos do produto				
Requisitos do usuário	Geométricos	Peso	Força	Sinais
Ter comando a distância	Ter controle remoto	Ter baixo peso	Energia elétrica	Eletricidade
Ter fácil comando	Ter poucos botões			Eletricidade
Ter controle manual de velocidade de soldagem	Ter potenciômetro			Eletricidade
Ajustar altura do suporte da tocha	Por cremalheira			
Ajustar ângulo do suporte da tocha	Por parafuso			
Fazer soldagem em X automaticamente	Ter guia		Energia elétrica	Eletricidade
Fazer soldagem em Y automaticamente	Ter "alcance linear em y"		Energia elétrica	Eletricidade
Ter velocidade de soldagem uniforme	Ter conversor de energia elétrica em energia mecânica		Energia elétrica	Eletricidade
Ter fácil montagem e desmontagem	Ter poucos componentes	Ter baixo peso		
Ter fácil transporte	Ter alça	Ter baixo peso		
Ter proteção contra respingos	Ter placa protetora de trilhos			

Fonte: O Autor, (2018).

Para auxiliar a conversão de necessidades dos clientes em requisitos do produto foi utilizado primeiramente uma frase composta por um dos verbos ser, estar ou ter, seguido de um ou mais substantivos, e frase composta por um outro verbo, da mesma forma, seguido de um ou mais substantivos, exibindo uma possível função do produto.

Com a obtenção dos dados, a próxima atividade do Projeto informacional é de obter as características de qualidade. Características de qualidade são informações técnico-físicas mensuráveis, que o produto deve ter para satisfazer os requisitos do produto. Foram utilizados os seguintes procedimentos para obtê-los:

- Confrontar as necessidades dos clientes com a classificação de requisitos do produto, na tabela QFD deste trabalho, apresentada no Apêndice B.
- Verificar se os requisitos de projeto que foram obtidos apresentam propriedades consideradas desejáveis, conforme os critérios de validade, completeza, operacionalidade, não redundância, concisão e praticidade.

Aplicando este método resultou numa lista de 16 características, apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - Características de qualidade para o manipulador

<b>Características de qualidade</b>		
Características relacionadas ao software	Características relacionadas com a capacidade	Características relacionadas ao formato
Quantidade de etapas	Altura do suporte	Número de componentes
	Ângulo de suporte da tocha	Peso do manipulador
Precisão de coordenadas	Tempo de execução de revestimento	Altura do manipulador
	Tempo de transição em movimentos perpendiculares	Largura do manipulador
Velocidade de soldagem	Comprimento efetivo de soldagem no eixo X	Comprimento do manipulador
	Comprimento efetivo de soldagem no eixo Y	Área protegida na execução da soldagem

Fonte: O Autor, (2018).

Os requisitos do produto conforme Cheng e Melo Filho (2010), devem ser estruturados, de forma que o produto atenda às necessidades dos clientes,

priorizando os que eles consideram mais importante. Para essa estruturação, os requisitos do produto foram inseridos no QFD, e por meio deste, foram transformados para serem avaliados utilizando o QFD. A tabela do QFD é apresentada no Apêndice B.

As especificações do projeto são constituídas pelos requisitos de projeto e estruturados com seus valores metas, formas de avaliação destes valores e aspectos indesejáveis. O quadro de especificações do projeto é a parte final da fase do projeto informacional e o resultado do primeiro desdobramento do QFD, e serve como referencial para as fases seguintes do projeto. O quadro 3 mostra as especificações-meta do manipulador.

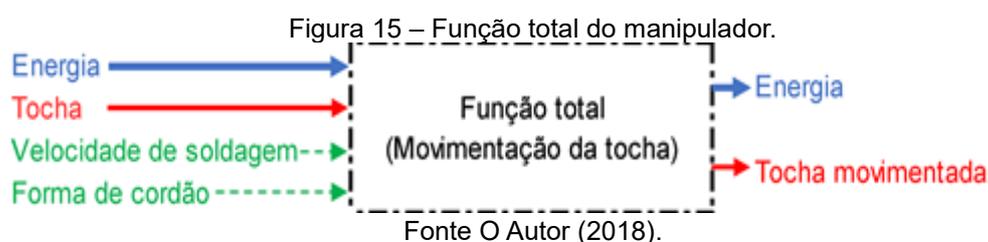
Quadro 3 - Especificações do manipulador.

Especificação do projeto				
Requisito	Objetivos	Sensor	Saídas indesejáveis	Observações
Quantidade de etapas no software	Máx. 6	Visual	Programação errada	Campo de inserção de dados manual
Precisão de coordenadas	100%	Visual	Soldagem fora de campo	Necessitará de compensação/correção de trajetória manual
Velocidade de soldagem	Máxima de 600mm por min	Cronômetro	Não atender a velocidade exigida	-
Altura do suporte da tocha	Ter faixa de ajuste de 100mm (mín.)	Paquímetro	Soldagem não conforme a especificada	Terá que fazer o ajuste manual
Ângulo de suporte da tocha	Ter faixa de ajuste de 60° (mín.)	Esquadro	Não soldar em pontos extremos	Terá que fazer o ajuste manual
Tempo de transição em movimentos perpendiculares	~1s	Cronômetro	Atraso na operação	-
Comprimento no eixo X para soldagem	500mm	Régua	Espaço de soldagem insuficiente	-
Comprimento no eixo Y para soldagem	250mm	Régua	Espaço de soldagem insuficiente	-
Componentes montáveis	Quantidade máxima de 20	Visual	Dificuldade na montagem	Transporte manual
Peso do manipulador	Máximo 500kgf	Balança	Dificuldade no posicionamento	Transporte manual
Volume do manipulador	3375cm <sup>3</sup>	Régua	Dificuldade de alocação de componentes	-
Área protegida na execução da soldagem	90%	Visual	Respingo na peça e guia	-

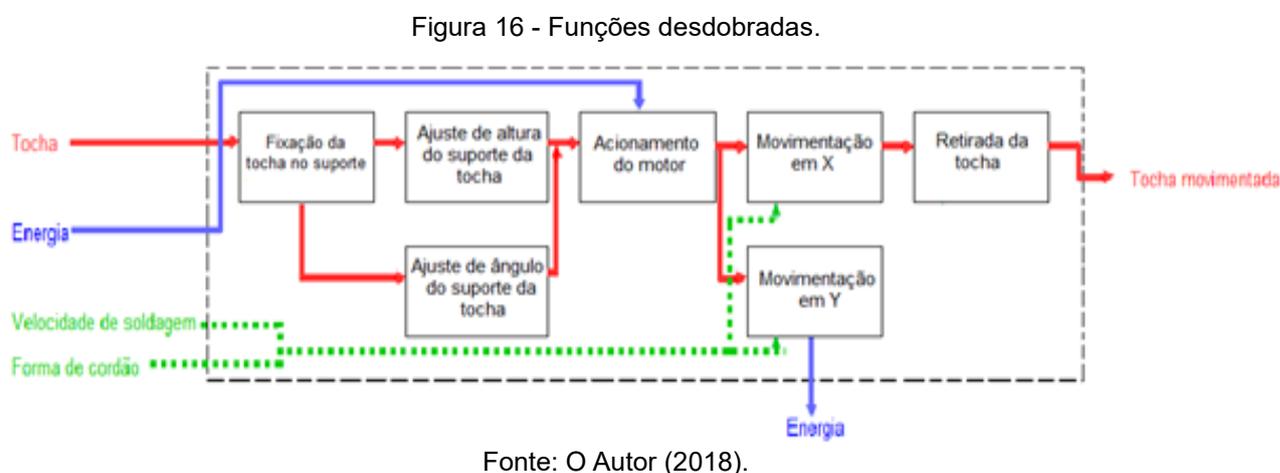
Fonte: O Autor, (2018).

### 3.3 Projeto conceitual

Na etapa seguinte deve-se determinar a função total do produto a partir da análise criteriosa das especificações do projeto. Sua representação gráfica foi feita por meio de um bloco sujeito a fluxos de energia, material e sinal, que são as entradas e saídas do sistema, conforme mostrado na figura 15:

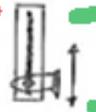
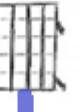
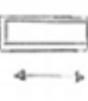


A função total segundo Rozenfeld *et al.*, (2006) deve ser então desdobrada o máximo possível até serem obtidas as funções complementares, que serão usadas logo após na matriz morfológica, facilitando, assim, a próxima etapa do projeto. As funções desdobradas são mostradas na figura 16.



A matriz morfológica permite que as soluções sejam geradas a partir de desenhos para cada função listada. Assim fornecendo uma estrutura para a obtenção de variadas alternativas para o manipulador de soldagem. As estruturas são montadas seguindo princípios de soluções que estão representadas conforme a cor da linha são representados (1, Vermelho, 2 Verde, e 3 Azul), como mostrado no quadro 4.

Quadro 4 - Matriz morfológica.

Fixação da tocha no suporte						
Ajuste de Altura No suporte						
Ajuste de Ângulo No suporte						
Movimentação Em X						
Base de Movimentação Em X						
Movimentação Em Y						
Base de Movimentação Em Y						

Fonte: O Autor, (2018).

No campo de fixação da tocha no suporte, as ideias utilizadas e apresentadas na matriz morfológica, foram olhais, abraçadeiras, abraçadeiras de bicicleta, suportes de telas, ganchos e conceitos desenhados pelo o autor.

Em ajuste de altura no suporte, os conceitos gerados são ajustes em chapas através de pinos, oblongos e fuso. No Ajuste de ângulo, os conceitos representados na matriz foram ajuste por pinos, engrenagens, parafusos, presilhas e também conceitos elaborados pelo o autor.

As movimentações e base de movimentações mostra a respeito de como será transmitido o movimento e de como será sustentado.

A partir destes princípios de solução de cada alternativa gerada, buscou-se soluções físicas possíveis de serem construídas. Porém a combinação de todos os

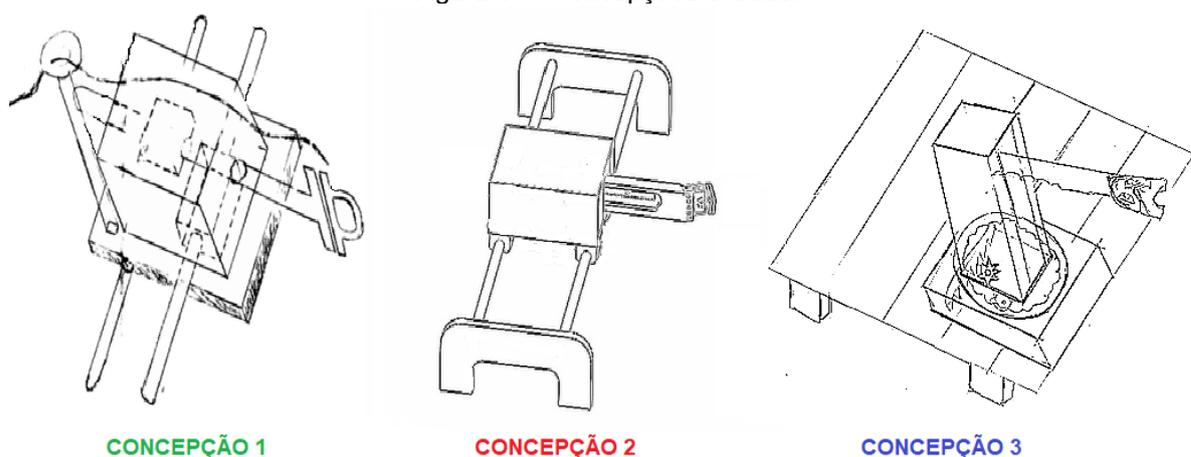
princípios de solução levaria a criação de muitos modelos o que tornaria esta etapa do trabalho exaustiva. Além disso, nem todas as combinações seriam realizáveis ou viáveis técnica e economicamente.

Assim foram determinadas as possíveis configurações do produto em sistemas, subsistemas e componentes. Estas configurações consistem na combinação dos princípios de solução individuais gerados na matriz morfológica, e foram agrupados para formar os princípios de solução totais para o projeto do manipulador. Os critérios utilizados para a obtenção das concepções foram:

- Combinação de subfunções com princípios de solução compatíveis;
- Soluções que atendam a especificação de projeto e às restrições de orçamento;
- Estabelecer as razões de tal preferência para determinada combinação;
- Basear-se na estrutura de funções;
- Bom senso;

Seguindo os critérios apresentado quanto ao número de combinações a serem geradas foram criados três modelos de princípios de solução, conforme a figura 17.

Figura 17 - Concepções criadas.



Fonte: O Autor, (2018).

O primeiro modelo, consiste em uma movimentação executada por patins e guias lineares tanto em X como em Y, para a fixação da tocha, é usado uma espécie de olhal, para o ajuste de altura em Z é utilizado uma peça com rasgo e sua fixação é feita por parafusos.

A segunda solução consiste em uma movimentação por cremalheira, utilizando cremalheiras de perfil redondo como guia através de mancais e que também são a base para a movimentação do “carro”. A movimentação em Y também se utiliza uma cremalheira que é fixa em um braço que pode ser deslizado por mancais. O ajuste de altura, ajuste de ângulo e fixação da tocha são feitos através de pinos/parafusos.

A concepção três consiste em uma plataforma, tanto as movimentações em X e em Y seriam por fuso, o ajuste de ângulo seria efetuado utilizando uma interação com engrenagens.

Após as gerações das concepções, estas foram avaliadas por meio das especificações-meta, quanto ao peso, é definido seguindo a linha de raciocínio da tabela QFD onde é mostrado no campo “Grau de Importância”. As notas dadas são o quanto cada concepção tende a atender as especificações-meta. O quadro 5 mostra a avaliação das concepções.

Quadro 5 - Avaliação das concepções.

Especificação meta	Peso	Concepção 1		Concepção 2		Concepção 3	
		Avaliação	Peso x Avaliação	Avaliação	Peso x Avaliação	Avaliação	Peso x Avaliação
Ter faixa de ajuste de altura de 100mm (mín.)	5	6	30	10	50	10	50
Ter faixa de ajuste de ângulo de 30° (mín.)	4	10	40	9	36	10	40
Tempo de execução para revestimento 100x100.	4	6	24	9	36	8	32
Transição de movimentos transversais de 0s	5	7	35	8	40	5	25
Comprimento em X de 500mm para soldagem	5	10	50	10	50	8	40
Comprimento em Y de 250mm para soldagem	5	8	40	10	50	10	50
Ter no máximo de 30 componentes para montagem	3	7	21	7	21	8	24
Peso máximo 500kgf	4	7	28	8	32	7	28
Máximo volume 3375cm <sup>3</sup>	3	6	18	7	21	6	18
Área protegida na execução da soldagem 100%	3	10	30	9	27	9	27
Área aquecida. (Somente suporte da tocha).	3	10	30	10	30	10	30
Total			346		393		364

Fonte: O Autor, (2018).

A concepção 2 foi vencedora por atender as especificações-meta com maior eficácia considerando as melhores opções que possuem o menor custo. O seu maior diferencial é o seu funcionamento mecânico que consistem:

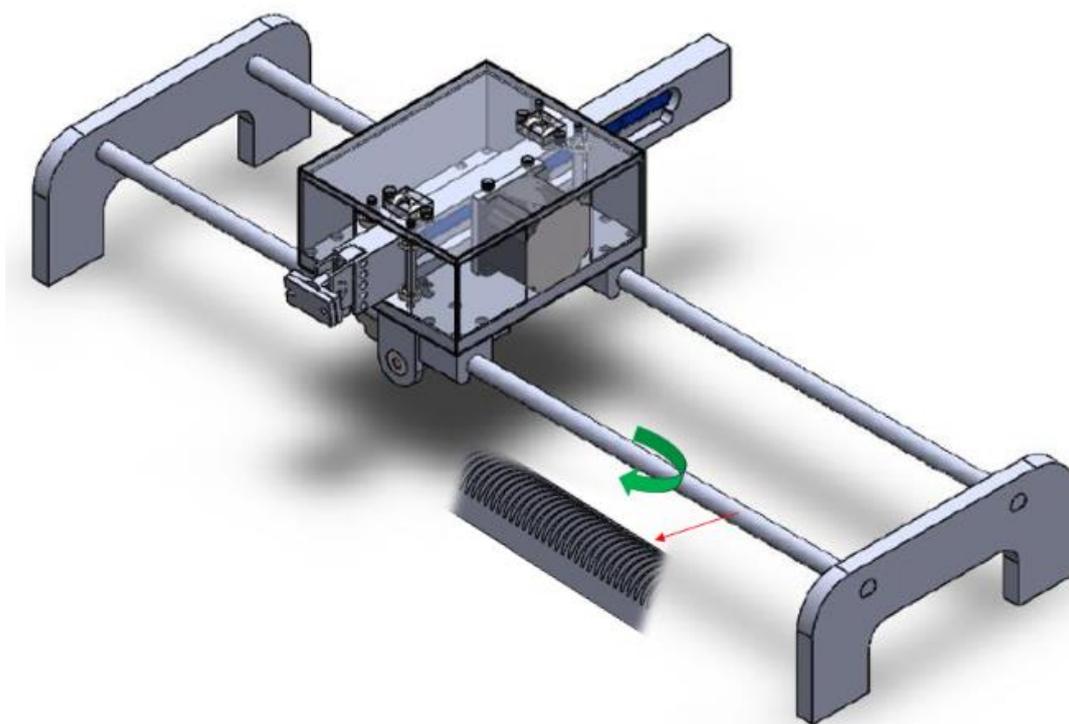
Movimentação em X e Y por cremalheira, sendo em X utilizando cremalheira de perfil redondo, evitando custos adicionais com patins e guias lineares e utilizando mancais como opção de baixo custo. Os atuadores escolhidos foram motores de passo para os dois eixos.

O desenvolvimento do suporte possui dois controles. O ajuste de altura e de ângulo, ambos os ajustes são feitos por pinos/parafuso.

### 3.4 Projeto detalhado

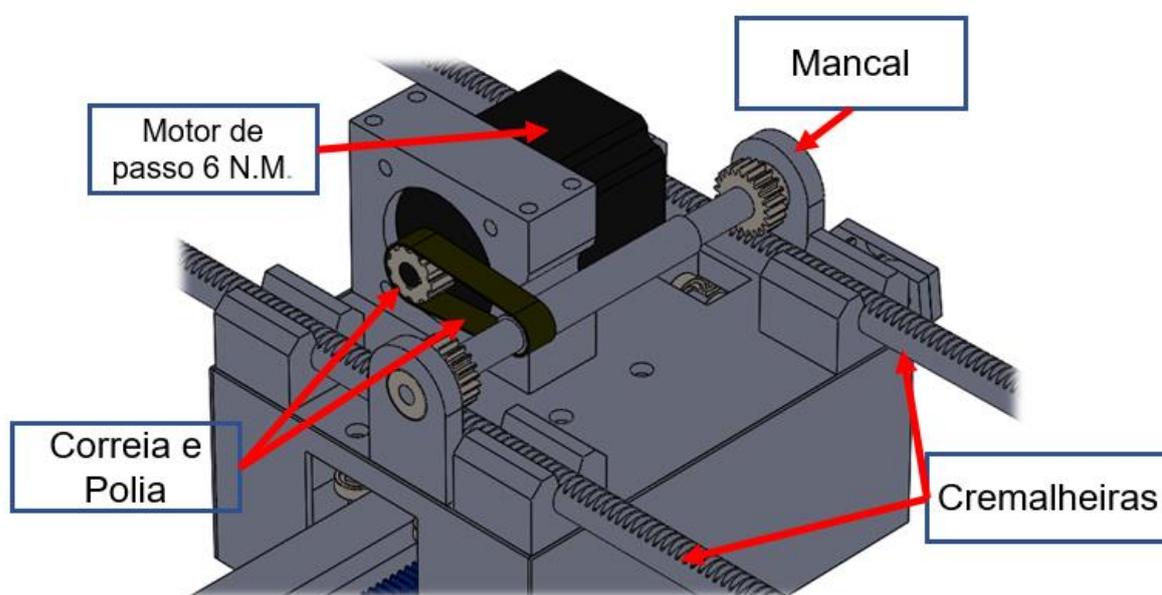
A última etapa do PDP nesse projeto consistiu na transformação gráfica da concepção vencedora. Para essa representação gráfica foi utilizado um *software* CAD (*Computer Aided Design*), onde cada um dos sistemas, subsistemas e componentes foi representado como mostrado na Figura 18. Os desenhos referentes as dimensões estão no Apêndice C.

Figura 18 - Concepção final em CAD.



O eixo X, consiste em duas cremalheiras em perfil redondo para a sustentação do equipamento. O torque é obtido por um motor de passo de 6 N.M. acoplado, por polias e correia sincronizada, a um eixo paralelo ao motor montado perpendicularmente ao eixo X. Na extremidade do eixo de ligação entre o motor e o eixo X estão ligados, por chaveta e interferência, duas engrenagens com módulo 1,5 e 22 dentes. Por sua vez estas engrenagens estão acopladas a cremalheira possibilitando o deslocamento do manipulador conforme mostrado na figura 19.

Figura 19 - Visão inferior do manipulador.

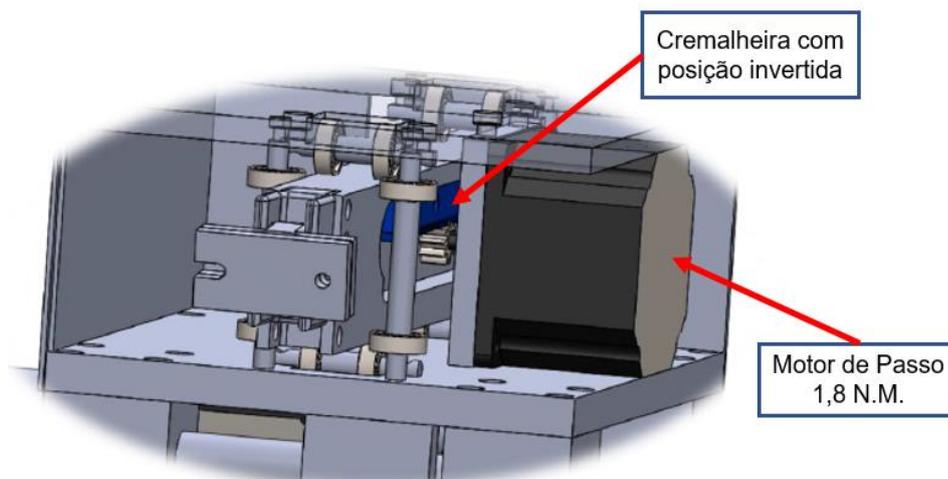


Fonte: O Autor, (2018).

Pode-se observar, ainda na figura 19, que o tipo do mancal utilizado permite a aplicação da cremalheira empregada sem prejudicar a estabilidade ou qualquer característica do manipulador. As dimensões da cremalheira são mostradas no Apêndice C: 2. Cremalheira eixo X.

Para o deslocamento no eixo Y foi utilizado um motor de passo de 1,8 N.M. acoplado a uma engrenagem de 14 dentes. Por sua vez esta engrenagem faz o deslocamento do eixo Y através da cremalheira como pode ser visto na figura 20.

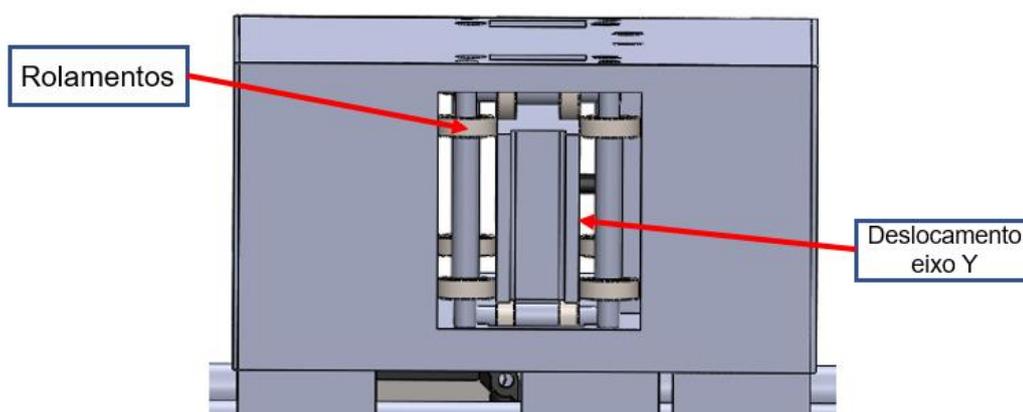
Figura 20 - Deslocamento eixo Y.



Fonte: O Autor, (2018).

A cremalheira do eixo Y é fixada por meio de parafusos na posição invertida dentro de um canal próprio, as dimensões do braço onde é fixada essa cremalheira é mostrada no Apêndice C: 1. Suporte para cremalheira, eixo Y. A montagem da cremalheira neste canal teve como objetivo evitar o acúmulo de respingos de solda durante a tração. O braço de deslocamento do eixo Y foi montado entre rolamentos como mancal conforme mostra a Figura 21

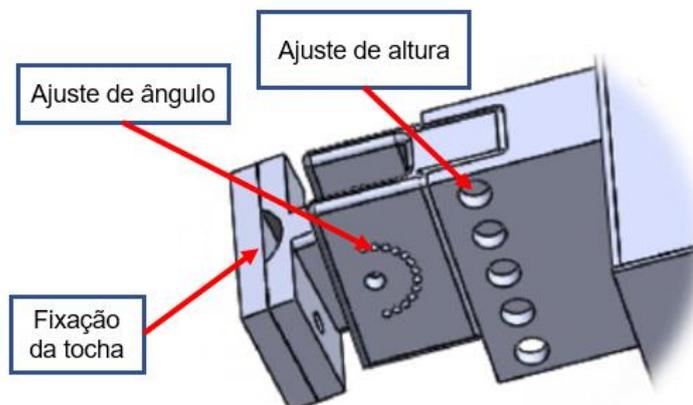
Figura 21 – Mancalização eixo Y.



Fonte: O Autor, (2018).

A Figura 22 mostra um dispositivo simples para a regulagem do eixo “Z”, este suporte faz o ajuste de altura e de ângulo da tocha de soldagem. Nessa figura pode ser visto vários furos que serão fixados por parafusos/pinos, a faixa de ajuste da altura de até 100 mm. O suporte da tocha de soldagem consiste em uma orelha, com furo de diâmetro nas dimensões próximas das tochas utilizadas.

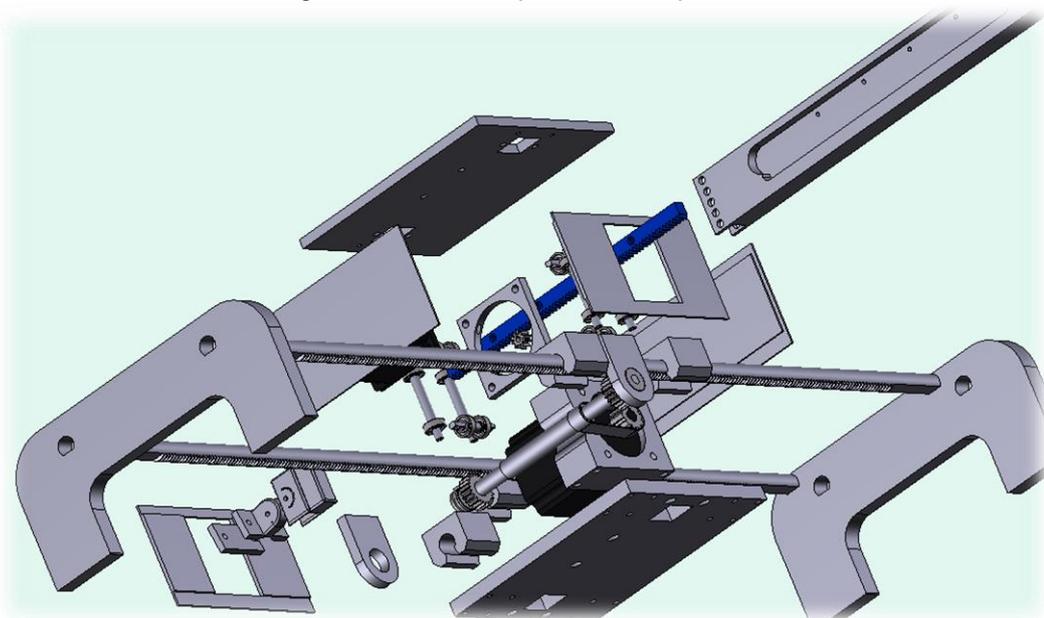
Figura 22 – Sistema em Z.



Fonte: O Autor, (2018).

Com relação a automação do manipulador, a movimentação dos eixos ocorre através de motores de passo, estes motores serão acionados através de drives específicos que geram pulsos para controle de velocidade e sentido de rotação dos mesmos. O controle pode ser feito através de potenciômetros. A figura 23, mostra a vista explodida do projeto final

Figura 23 – Vista Explodida, manipulador.



Fonte: O Autor, (2018).

Os dimensionamentos do manipulador são mostrados em todo o Apêndice

C.

#### 4. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi demonstrar a geração de concepções de manipuladores dedicado a soldagem de revestimento com arame contínuo. O processo de desenvolvimento de produto ajudou a alcançar o objetivo, mostrando de forma segmentada, por meio das etapas de, planejamento do projeto, projeto informacional do produto, projeto conceitual e projeto detalhado. O processo de desenvolvimento foi começado pela busca teórica de requisitos que um manipulador deveria ter, até o desenvolvimento do desenho final

No seu início foram adquiridos, por meio de questionário, as respostas necessárias para o desenvolvimento do que um manipulador deveria ter, isso foi importante pois serviu como base de todo o trabalho. Aplicando as limitações do que poderia ou não ser feito pelo manipulador. Ficou definido que o manipulador de soldagem deveria ter dois graus de liberdade e ajuste de altura, para a aplicação em revestimentos.

A utilização da matriz QFD foi determinante para a obtenção dos requisitos do que um manipulador deve ter. Por meio desta matriz foram obtidos dados quantitativos importantes, as especificações-meta, que foram a base de avaliação para definir a melhor concepção.

As funcionalidades do manipulador dentro da concepção julgada vencedora se mostraram possíveis, sendo elas, dedicadas integralmente para a execução dos movimentos necessários para fazer o revestimento de soldagem.

Para sugestão de trabalhos futuros, poderá ser desenvolvida a automação completa do manipulador. Utilizando plataformas de prototipagem eletrônica, como o Arduino. Para acionar o motor a distância, podem ser utilizados módulos de comunicação que enviam sinal eletromagnético (infravermelho, rádio, entre outros) para o motor. A visualização e entrada de dados poderão ser feitas com telas *touchscreen*, ou outras opções que além de telas podem ser usados para entrada de dados, *joysticks* e teclados matriciais. Também podem ser desenvolvidos um alimentador de arame e uma tocha de soldagem específica para o manipulador

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN WELDING SOCIETY. **Standard welding terms and definitions**. Miami: AWS, 2009 3.0. 162 p.
- BACK, Nelson; OGLIARI, André; DIAS, Acires; DA SILVA, Jonny Carlos. **PROJETO INTEGRADO DE PRODUTOS: PLANEJAMENTO, CONCEPÇÃO E MODELAGEM**. Barueri, SP: Manole, 2008. 601 p.
- BARRA, Sérgio Rodrigues; DUTRA, Jair Carlos; RIBAS, Fernando A. C. **AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS/PROCEDIMENTOS DE SOLDAGEM E AUTOMAÇÃO SOBRE A PLANICIDADE E ASPECTO SUPERFICIAL DOS REVESTIMENTOS EMPREGADOS EM TURBINAS HIDRÁULICAS**. **Congresso Nacional de Soldagem**, Fortaleza, CE, set. 1998.
- BAXTER, Mike. **PROJETO DE PRODUTO** Guia prático para o design de novos produtos. 2. ed. São Paulo, SP: Blucher, 1998. 260 p.
- BUG-O SYSTEMS. **All Position Overlay System**. Disponível em: <http://www.bugo.com>, Acesso em: 04 de maio de 2018.
- CARVALHO, James Cidney Freitas de. **Controle Adaptativo de um Robô Manipulador de dois Graus de liberdade Planar**. 2009. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2009.
- CHENG, Lin Chih; MELO FILHO, Leonel del Rey de. **QFD: DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE NA GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**. 2. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2010. 539 p.
- COLAÇO, Fernando Henrique Gruber. **AVALIAÇÃO DA PERDA DE MASSA DE REVESTIMENTO DURO DEPOSITADO POR SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR DE LIGA FeCrC-Ti**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.
- CONDE, R.H. Recubrimientos Resistentes al Desgaste, **Boletim Técnico Conarco**, Buenos Aires, Argentina, n 85, 40 p., Dezembro, 1986

CORRÊA, C. A.; Trevisan, R. E., Influência dos Parâmetros da Soldagem MIG Pulsada e Convencional na Morfologia do Cordão e na Microestrutura. In: **Primeiro Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF**, Curitiba-PR, 2001.

CUNHA, Lelis José G. dá. **Solda**. 1. ed. São Paulo, SP, 1988.

OLIVEIRA, Moisés Alves de. **Estudo da Soldagem Plasma com Alimentação Automática de Arame para Aplicação em Revestimentos Metálicos**. 2001. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

DELGADO, Luiz Carlos. **ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO TIG COM ALIMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DE ARAME**. 2000. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2000.

DYNA TORQUE. **Automatic Welding System**. Disponível em: <http://www.dyna-torque.com>, Acesso em: 05 de maio de 2018

FELIZARDO, Ivanilza; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Método de Aplicação da Soldagem: Manual, Mecanizado ou Automatizado. **Congresso Nacional de Soldagem**, Belo Horizonte, MG. 5 out. 2006.

FERREIRA, Marcelo Gitirana Gomes. **UTILIZAÇÃO DE MODELOS PARA A REPRESENTAÇÃO DE PRODUTOS NO PROJETO CONCEITUAL**. 1997. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1997.

GANDELMAN, Ariel Dov Ber. **DUREZA AO RISCAMENTO E COEFICIENTE DE ATRITO DE REVESTIMENTOS DE INCONEL 625 DEPOSITADOS PELO PROCESSO TIG ALIMENTADO COM DUPLO ARAME AQUECIDO**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2017.

HOBOLD, Eduardo; FONTANIVE, Marlon Vito; COLAÇO, Fernando Henrique Gruber. Desenvolvimento de um Manipulador Linear para Soldagem a Arco Elétrico com Alimentação de Arame para Revestimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLDAGEM, XLI., **CONSOLDA**. Salvador, BA, 2015.

HUBERT, Ivan Luiz. **DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DE UM MANIPULADOR PARA EXECUÇÃO DE PROCEDIMENTOS AUTOMÁTICOS DE SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Mecatrônica, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014.

INFOSOLDA. **Processo TIG – Parâmetros**. 2015. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/169-processo-tig-parametros.html>>. Acesso em: 28 de maio de 2015.

LIMA, Aldemir Coelho; FERRARESI, Valtair Antônio. Análise da microestrutura e da resistência ao desgaste de revestimento duro utilizado pela indústria sucroalcooleira. **Soldagem e Inspeção**. São Paulo, SP, v. 14, n. 2, Junho 2009.

LIMA, Aldemir Coelho e FERRARESI, Valtair Antônio. Análise da Resistência ao Desgaste de Revestimento Duro Aplicado por Soldagem em Facas Picadoras de Cana-de-Açúcar. **Soldagem e Inspeção**. São Paulo v. 15, p. 94-102, 2010.

LUCAS, Rafael Polezi. **SISTEMA DE GERAÇÃO DE TRAJETÓRIAS EM MANIPULADOR CARTESIANO PARA APLICAÇÕES EM SOLDAGEM NAVAL**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2011.

MACHADO, I.G. **Soldagem e técnicas conexas: Processos, Laboratório de Soldagem e Técnicas Conexas**, UFRGS, Porto Alegre, RS, 1996, 477p.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **SOLDAGEM: FUNDAMENTOS E TECNOLOGIA**. 3. ed. Belo Horizonte, MG: Editora Ufmg, 2005. 362 p.

MASCARENHAS, Luis Alberto Brêda. **ESTUDO DA APLICAÇÃO DO PROCESSO TIG ALIMENTADO PARA A SOLDAGEM EM OPERAÇÃO**. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

MENON, R. New Developments in hardfacing alloys. **Welding Journal**, v.75, n2, Feb.1996, pp.43-49.

MOREIRA, Marcelo dos Santos. PROCESSOS DE NEGÓCIOS OTIMIZADOS PELAS TECNOLOGIAS ECM. **Revista Sapere: Revista Científica da Faculdade de Tecnologia de Tatuí**, Tatuí, SP, dez. 2010.

MIRANDA, Edvan Cordeiro de. **ESTUDO EXPLORATÓRIO DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM DE REVESTIMENTOS COM LIGAS DE NÍQUEM EMPREGANDO O PROCESSO TIG COM ALIMENTAÇÃO DE ARAME FRIO**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2009.

MIRANDA, Edvan Cordeiro de et al., Análise das características econômicas e dos custos envolvidos na soldagem TIG com a Alimentação de arame frio utilizando a liga INCONEL 625 como metal de adição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 6º, 2011. **COBEF**. Caxias do Sul, RS: ABCM, 2011

PINTO, Rochelly Sirremes; FONTENELLE, Maria Aridenise Macena. DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE – QFD NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: UMA APLICAÇÃO PRÁTICA. **Enegep**, Salvador, BA, out. 2013.

QUITES, Almir Monteiro. **Introdução à Soldagem a Arco Voltaico**. 1. ed. Florianópolis, SC: Soldasoft, 2002. 356 p.

RIBEIRO, Júlio César Bento. **ANÁLISE DE TÉCNICAS PARA A SOLDAGEM TIG AUTOMATIZADA**. 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012.

RODRIGUES, Lucilene de Oliveira. **ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS NA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR**. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, MG, 2005.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo; DE TOLEDO, José Carlos; DA SILVA, Sergio Luis; ALLIPRANDINI, Dário Henrique; SCALICE, Régis Kovacs. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo, SP: Saraiva, 2006. 542 p.

SUMIG. **Máquinas-de-solda**. Disponível em: <https://www.sumig.com>, Acesso em: 04 de maio de 2018.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **SOLDAGEM: Processos e Metalurgia**. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1992. 494 p.

ZEEMANN, A. A Soldagem GTAW (ou TIG). **Revista ABS (Associação Brasileira de Soldagem)**, v. Ano I – nº 6, p. 7-13. 2005.

## APÊNDICE A – Questionário

1. Qual o montante necessário para a aquisição de um manipulador de soldagem TIG?

R: A bolsa oferecida para projetos de pesquisa desse gênero, tem um custo de aquisição de peças e materiais em torno de R\$ 6.000,00. Com isso será feito um manipulador estilo cartesiano de 2 Graus de liberdade de baixo custo

2. Quais são os parâmetros que o manipulador de soldagem deve controlar?

R: Conforme a aplicação do Tártilope V4 um manipulador construído pelo Labsolda UFSC. Os parâmetros que devem se controlar são a velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame, a área de aplicação do revestimento através do comprimento do cordão e do passo dos próximos cordões de solda, além da quantidade de passes (cordões).

3. Qual pode ser o tipo de inserção de dados para a programação do manipulador?

R: Utilização de controladores joystick, são mais baratos que uma transmissão *touchscreen*, e mais robusta para o ambiente de soldagem.

4. Qual a tolerância de tempo para a transição de movimentos perpendiculares?

R: Com base no projeto, como o manipulador vai ser automático necessita que o manipulador faça essa transição com intervalo de tempo baixo.

5. Quanto deve ser o comprimento de trabalho em X do manipulador de soldagem?

R: As empresas Sumig e Bug-o Systems possuem manipuladores e máquinas de corte com o comprimento de trabalho de 0,7 m a 3 m, segundo seus catálogos.

6. Quanto deve ser o comprimento de trabalho em Y do manipulador de soldagem?

R: Segundo catálogo da empresa Sumig o alcance para ser feita a largura do passe é de 1,5 m em uma máquina de corte.

7. Qual deve ser a velocidade de avanço em X e Y sem executar a soldagem?

R: As velocidades de deslocamento linear encontrados em catálogos das empresas Sumig e Bug-o Systems chegam a 4.000 mm/min.

8. Qual a máxima velocidade de soldagem em X e Y de um manipulador de soldagem TIG?

R: A velocidade de soldagem,  $V_s$  máxima recomendada conforme o livro Soldagem Processos e Metalurgia pg. 96, chegam a 40 cm/min, esta pode ser aumentada, dependendo da corrente de soldagem.

9. Qual a tolerância de vibrações e desvios na movimentação do eixo X e Y?

R: Segundo Carvalho, Dutra e Bonacorso (2008), os tipos de motores utilizados em manipuladores de soldagem são os motores de passo e o servo motor C.C. (corrente contínua). Os servos motores C.C. possuem menores vibrações mas também são mais caros.

10. O manipulador deverá ter outros processos que podem ser aplicados no mesmo manipulador?

R: É possível a sua adaptação em outros processos de soldagem se possuir um suporte de tocha adequado que engloba o processo requerido.

11. Qual são as DEP e DBCP usuais?

As distâncias usuais em DEP são de 1 mm a 10 mm na soldagem TIG. Scotti e Ponomarev (2008).

12. O ajuste em Z deve ser controlado pelo manipulador?

R: O ajuste de altura pode ser feito pelo manipulador, mas exigirá peças e programação mais complexa, porém pode ser realizado manualmente.

13. Qual o ângulo mínimo e máximo para o ajuste da posição da tocha no plano XY?

R: Conforme o livro, Introdução à Soldagem a Arco Voltaico pg 216 o ângulo recomendado dependem do eletrodo não consumível utilizado, a faixa do ângulo é de 15° à 90°.

14. Qual deve ser o diâmetro mínimo e máximo do arame e vareta para trabalho?

R: Conforme o artigo do infosolda o diâmetro dos arames e varetas podem ser de 0,5 mm a 5 mm de diâmetro.

15. O manipulador deve ser portátil ou fixo?

R: Serão feitas aplicações em peças grandes, onde deverá ser feita a deslocação desse manipulador até essas peças, portando ele deverá ter facilidade em seu transporte.

16. Quais as dimensões de tocha TIG?

R: Diâmetro do Bocal: Segundo os catálogos das empresas Sumig, Vonder e Oximig o diâmetro do bocal pode variar de Ø 6 mm até Ø 19 mm. Estes variam dependendo do serviço aplicado, como tipo e quantidade de corrente, e respectivamente conforme o eletrodo. O comprimento do cabo é padronizado com 3,5 m.

17. Qual o peso da tocha?

R: Segundo os catálogos das empresas Sumig, Vonder e Oximig os pesos usuais das tochas podem ser de 0,250 kg até 1,5 kg.

18. Qual o valor mínimo e máximo de corrente de soldagem utilizada no processo TIG?

R: Segundo o livro Soldagem Processos e Metalurgia pg. 71 e o livro Soldagem os parâmetros relacionados ao tipo de corrente (CA, CC entre outras), ao ângulo de soldagem, ao tipo de material e ao diâmetro do eletrodo, a corrente usual no processo TIG estão na faixa de 20A até a 500A dependendo também da fonte de soldagem e do tipo de refrigeração da tocha.

19. Qual a espessura mínima da peça para a deposição com o processo TIG?

R: De acordo com o livro, Soldagem Processos e Metalurgia pg. 61 a espessura de junta é de 0,1 mm até a 50 mm.

20. Qual a diluição para o revestimento com TIG nas peças trabalhadas?

R: Conforme o livro, Soldagem Processos e Metalurgia pg. 61 a diluição é de 2% a 20% com material de adição, e de 100% sem material de adição.

21. Qual deve ser a forma do cordão de soldagem?

R: Retilíneas, pois será aplicada em revestimentos, mas deverá ocorrer deslocamento lateral.

22. Qual o peso do carretel de arame no mercado?

R: De acordo com o catálogo da empresa Inovalnox os carretéis metálicos ou de plásticos pesam usualmente de 15 kg ou 18 kg sem depender do diâmetro.

23. Qual a máxima velocidade de alimentação do arame?

R: Os alimentadores de arame pesquisados nos catálogos das empresas Sumig e ESAB, podem atingir uma velocidade de alimentação de 25 m/min.

24. Qual a posição de alimentação de arame?

R: Conforme Pigozzo (2015), na soldagem TIG orbital a alimentação do arame deve ser regulável em seus dois ajustes de ângulo de  $15^\circ$  à  $75^\circ$ , para a não obstrução da tocha em sentidos diferentes.

25. Quais as dimensões e peso de peças para serem trabalhados com revestimento?

R: Conforme um artigo escrito no infosolda, o tamanho, a forma e o peso das peças exercem forte influência na seleção do processo. Peças pesadas, de grandes dimensões e de difícil transporte são convenientemente revestidas.

26. Qual a taxa de deposição necessária para utilizar o processo TIG alimentado com manipulador em substituição ao processo TIG manual?

R: Segundo o livro, Soldagem Processos e Metalurgia pg. 61 a taxa de deposição fica entre 0,2 a 1,3 kg/h

27. Qual o objetivo da automação no processo?

R: Melhorar a qualidade do revestimento, aumentar a produtividade e manter o aporte térmico.

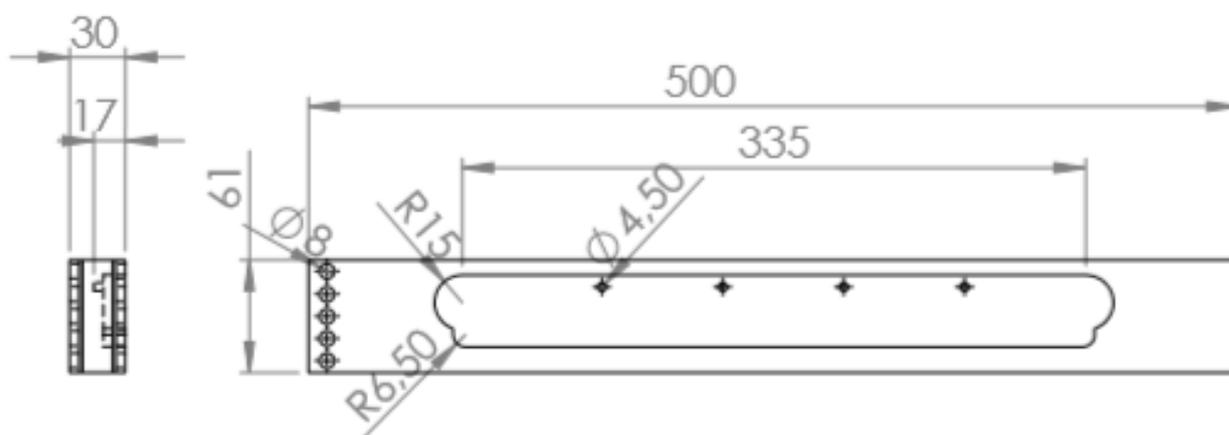
## APÊNDICE B – Casa da Qualidade

QFD	Requisitos de qualidade														Tabela de Referência										
	Quantidade de etapas	Precisão de coordenadas	Ajuste de velocidade de soldagem	Ajuste de altura do posicionador	Ajuste de ângulo	Tempo de transição em movimentos perpendiculares	Compromisso no eixo X para soldagem	Compromisso no eixo Y para soldagem	Número de componentes	Peso do manipulador	Altura do manipulador	Largura do manipulador	Comprimento do manipulador	Area protegida na execução da soldagem	Areas aquecidas	Grav de importância	Tartilope V4 (LabSolda)	Máquina para automação Autotrack 50 (Sumig)	Manipulador TIG soldagem orbital (Dyna Torque)	Manipulador de soldagem cartesiano (Bug O Systems)	Qualidade planejada (Q.P.)	Taxa de melhoria	Peso absoluto	Peso relativo	
Ter fácil configuração de software	•	▲														3	4	3	2	4	4	4	1,00	3,00	6%
Fazer automaticamente a trajetória de soldagem		•														4	4	4	4	5	4	4	0,80	3,20	6%
Ter regulagem de velocidade de soldagem			•													3	5	3	2	4	4	4	0,80	2,40	5%
Ter ajuste na altura do posicionador da tocha				•	▲											5	5	4	4	5	5	1	5,00	9%	
Ter ajuste no ângulo do posicionador da tocha				▲	•											2	3	2	1	3	3	1	2,00	4%	
Fazer soldagem em X automaticamente					○		▲									5	5	5	4	5	5	1	5,00	9%	
Fazer soldagem em Y automaticamente					○		▲									5	3	3	3	3	5	5	1,67	8,33	16%
Ter velocidade de soldagem uniforme					•											4	5	5	5	5	5	1	4,00	8%	
Ter espaço na execução de soldagem							•									3	3	3	3	5	4	1,33	4,00	8%	
Ter fácil montagem								•	○	▲			▲			5	5	3	2	1	4	0,8	4,00	8%	
Ter fácil transporte								•	•	○	○		○			5	5	4	1	1	5	1	5,00	9%	
Ter proteção contra respingos														•		2	3	5	3	3	5	1,67	3,33	6%	
Ter controle de temperatura																3	3	4	2	3	4	1,33	4,00	8%	
Peso absoluto	0,51	0,60	0,41	0,88	0,43	1,43	0,77	0,83	1,52	1,07	0,36	0,36	0,36	0,56	0,68	10,75							53,27	100%	
Peso relativo	5%	6%	4%	8%	4%	13%	7%	8%	14%	10%	3%	3%	3%	5%	6%	100%									
Tartilope V4 (LabSolda)	25+	100	5000	100	s/i	0	∞	30	s/i	50	200	200	400	90	1										
Máquina para automação Autotrack 50 (Sumig)	s/i	100	750	80	120	1	1800	30	s/i	70	200	250	550	100	1										
Manipulador TIG soldagem orbital (Dyna Torque)	50+	100	s/i	60	s/i	0	600	∞	s/i	50	600	600	500	60	1										
Manipulador de soldagem cartesiano (Bug O Systems)	s/i	100	4000	120	s/i	0	∞	500	s/i	50	3000	350	2000	0	1										
Qualidade projetada	6	100	1000	100	120	1	500	250	20	50	150	300	400	100	1										
Unidade de medida	etapas	%	mm/mir	mm	grau	s	mm	mm	quant	kg	mm	mm	mm	%	pontos										

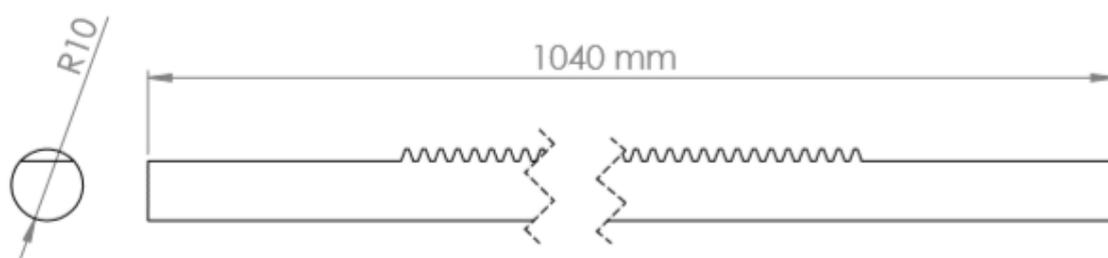
Índice				
Pior	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Interação		
•	Forte	9
○	Moderada	3
▲	Fraca	1

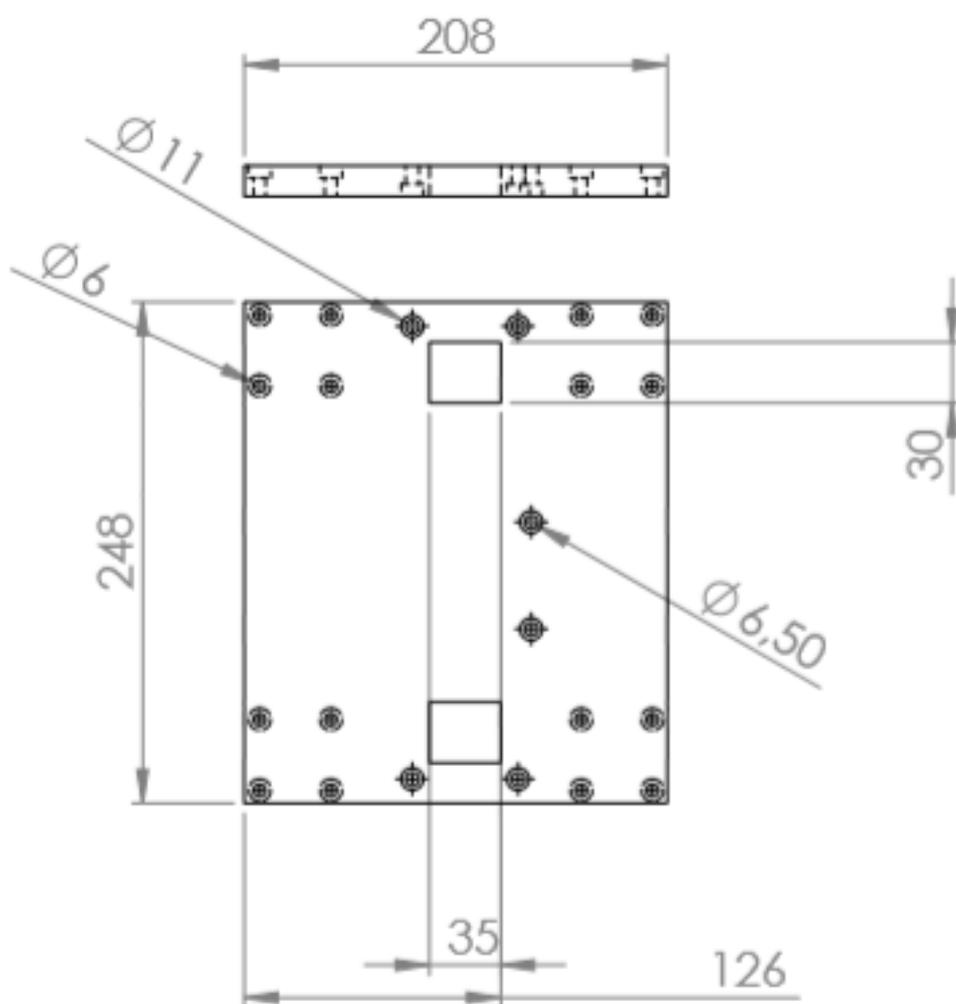
Qualidade planejada
Qualidade projetada
Requisitos de produtos e características de qualidade relacionado ao software.
Requisitos de produtos e características de qualidade relacionado as capacidades do manipulador
Requisitos de produtos e características de qualidade relacionado ao design do manipulador
Benchmarking

**APÊNDICE C – Detalhamento de componentes:****1. Suporte para Cremalheira, Eixo Y**

## 2. Cremalheira, Eixo X



### 3. Base da Estrutura



#### 4. Manipulador, Macro medidas

