

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

VOLNEI RESENA JUNIOR

**Sistema de Alimentação Oscilatória
do Arame para o Aumento do
Desempenho dos
Processos de Soldagem a Arco**

Florianópolis – SC
2019

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

VOLNEI RESENA JUNIOR

**SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO OSCILATÓRIA DO ARAME PARA O AUMENTO
DO DESEMPENHO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO**

Trabalho de Conclusão de
Curso submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Professor Orientador: Nelso
Gauze Bonacorso, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, JULHO DE 2019

Ficha de identificação de obra elaborada pelo autor.

Resena Junior, Volnei

Sistema de alimentação oscilatória do arame para o aumento do desempenho dos processos de soldagem a arco/ Volnei Resena Junior; orientação de Nelso Gauze Bonacorso – Florianópolis, SC, 2019

60p

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.

Inclui Referências.

1. Alimentação Oscilatória. 2.Projeto Mecânico. 3. Integração eletromecânica. 4. Soldagem. 5. GMAW. 6.GTAW I. Bonacorso, Nelso Gauze. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Sistema de alimentação oscilatória do arame para o aumento do desempenho dos processos de soldagem a arco.

SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO OSCILATÓRIA DO ARAME PARA O AUMENTO DO DESEMPENHO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO

VOLNEI RESENA JUNIOR

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 04 de julho de 2019

Banca Examinadora:

Nelso Gauze Bonacorso, Dr. Eng.

Erwin Werner Teichmann, Dr. Eng.

Raimundo Ricardo Matos Da Cunha, Dr. Eng.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS.

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **VOLNEI RESENA JUNIOR**, matrícula nº **132002929-9**, do curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO OSCILATÓRIA DO ARAME PARA AUMENTO DE DESEMPENHO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis.

Florianópolis, **04 de julho de 2019**.



Prof. Orientador do TCC: Nelson Gauze Bonacorso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre esteve à frente em todas as decisões, projetos e realizações da minha vida, inclusive neste trabalho.

Aos meus pais, palavras não são suficientes para agradecer toda dedicação, suporte e ensinamentos que moldaram meu caráter e personalidade, eu amo vocês.

Ao professor Nelso, por sua orientação e apoio durante o desenvolvimento do trabalho e por compartilhar todo seu conhecimento ao longo da graduação e projetos de pesquisa que participei.

Aos técnicos e professores do laboratório de máquinas operatrizes que sempre estavam dispostos a contribuir para realização deste trabalho: sem a contribuição de vocês não teria sido possível a realização deste.

Aos meus amigos que de alguma forma participaram da minha vida nesse tempo de graduação, em especial a Julia Macedo Rosa que me ajudou não somente na graduação, mas em todo meu percurso em Florianópolis, muito obrigado.

Aos meus professores (as) que compartilharam seu conhecimento e me instruíram para alcançar esse objetivo.

*“Coisas que nos parecem
impossíveis, só podem ser conseguidas com
uma teimosia pacífica.”*

Mahatma Gandhi

RESUMO

Pesquisas numa escala global na área de soldagem estão ganhando cada vez mais investimento. Consequentemente, tais pesquisas, proporcionam por sua vez o crescimento da produtividade e da qualidade dos processos de soldagem. Com intuito de facilitar o destacamento da gota de solda por tensão superficial, foi adicionado o movimento de recuo do arame em variações de processos de soldagem a arco. A estratégia de oscilar o arame em relação a direção do processo de soldagem (método conhecido também como alimentação dinâmica) torna o processo de soldagem mais estável como um todo, além de incrementar a taxa de fusão do material de adição. Diante do exposto, o presente trabalho propõe o uso de uma transmissão diferencial de velocidades, baseado no princípio de funcionamento do redutor planetário. O método para realizar a alimentação oscilatória do arame, consiste em acionar o sistema por dois motores de corrente contínua com escovas. A vantagem deste mecanismo dá-se na inversão do sentido de rotação de saída, ou seja, o sentido de deslocamento do arame, sem a necessidade de inversão da rotação dos motores elétricos das respectivas entradas. Isso reduz os tempos de aceleração e desaceleração do arame, proporcionando o aumento da frequência de destacamento das gotas e, com isso, aumento da produtividade, qualidade do processo, entre outras vantagens. Embora o acionamento dos motores de corrente contínua com escovas, tenha sido por um *driver* de motor de passo em modo torque e utilizando imposição de corrente, o desempenho do alimentador de arame superou a frequência de oscilação de 22 Hz, com uma amplitude de 4,5 mm pico a pico, o que é perfeitamente aplicável para o processo GTAW. Além disso, vale ressaltar que utilizando o modo torque de operação, com corrente de referência igual a nominal evita a queima dos motores.

Palavras-chave: Acionamento diferencial, Alimentação dinâmica, Alimentação de arame, GTAW, TIG.

ABSTRACT

Researches about welding are increasingly gaining more investments on a global scale that provide this way, growth in the quality of the welding processes and productivity. On the purpose to make an easier task the releasing process of the melted material drop caused by the superficial tension, the retreat movement of the wire has been added to variations of arc welding processes. This wire oscillating technique, which is also known as dynamic wire feed, besides of increasing the melting rate of the addition material, also turns the welding procedure more stable. At the fact, the present project offers use of a differential transmission speed system, which was based on the planetary reducer functioning main idea and its several activating methods that are produced by two brushed direct current motors to perform the welding wire oscillatory feeding. This mechanism's benefit is expressed by the inversion either of the way that the output rotation is operating or the way the wire is shifting its positions back and forward without the needing to reverse rotation way of the electrical motors in its several input plugs. Herewith, the time required for the wire to lose or gain speed is reduced, providing increase of the frequency between one and another drop of melted material, which results in production increase. This project shows that, although the activation of the direct brushed current motors had been done by imposition of the current in both ways when on torque mode by only one step motor driver, the wire feeder performance beat the oscillation frequency of 22 Hz by a 4,5 mm stress range peak to peak, which is perfectly applicable to the process GTAW. In addition, it is worth noting that using the torque mode of operation, with reference current equal to nominal avoids the burning of the motors.

Keywords: Differential activation, Dynamic feed, Wire feed, GTAW, TIG.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	<i>17</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>17</i>
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	PROCESSOS DE SOLDAGEM	19
2.2	PROCESSO GMAW	19
2.3	PROCESSO GTAW	20
2.4	INFLUÊNCIA DA OSCILAÇÃO DINÂMICA DO ARAME	21
2.5	MECANISMOS DE REFERÊNCIA	23
2.5.1	<i>Sistema de Pulmão Ativo</i>	<i>24</i>
2.5.2	<i>Alimentação Diferencial</i>	<i>24</i>
3	DESENVOLVIMENTO	26
3.1	COMPONENTES ESTRUTURAIS	26
3.1.1	<i>Corpo e Flanges</i>	<i>28</i>
3.1.2	<i>Tambor.....</i>	<i>29</i>
3.1.3	<i>Tampas do Tambor.....</i>	<i>30</i>
3.1.4	<i>Tensionador do arame</i>	<i>31</i>
3.1.5	<i>Engrenagens.....</i>	<i>32</i>
3.2	A TRANSMISSÃO DIFERENCIAL	33
3.3	ACIONAMENTO	36
3.3.1	<i>Motor de Corrente contínua com escovas.</i>	<i>37</i>
3.3.2	<i>Driver.</i>	<i>38</i>
3.3.3	<i>Métodos de acionamento.....</i>	<i>39</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	MODELAGEM MECÂNICA E FABRICAÇÃO	41
4.2	ACIONAMENTO	43
4.3	TESTES FUNCIONAIS	46
5	CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
6	REFERÊNCIAS	49

APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO PROJETO MECÂNICO52

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 : Processo GMAW CMT: em (a) Sistema de alimentação oscilatória do arame e em (b) Etapas do ciclo de transferência metálica.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2: Mecanismo de Oscilação TIP TIG.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3: Processo básico de soldagem a MIG/MAG.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4: Processo de Soldagem TIG</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5: Modos de transferência metálica na soldagem MIG/MAG. (a) Curto-circuito, (b) Pulsado, (c) Globular e (d) Goticular (“Spray”).....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6: Ciclo completo da transferência por curto-circuito</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7: Curva característica do processo CMT</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8:Dispositivos para pulsação da alimentação de arame: (a) por ação eletromecânica; (b) por ação eletromagnética</i>	<i>24</i>
<i>Figura 9:(a) Sistema de transmissão diferencial de velocidades para alimentação oscilatória do material de adição na soldagem, em (b) funcionamento interno do sistema.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10: Diagrama de blocos macro do sistema.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 11: Inovador alimentador oscilatório de arame</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12: Sistema de alimentação dinâmica.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13: Proposta de alimentador dinâmico visando uma maior frequência.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 14: CAD dos componentes estruturais do projeto.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 15: Flanges e estrutura pós usinagem</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16: Em (a) a roldana do alimentador comercial e em (b) a respectiva ferramenta de usinagem</i>	<i>29</i>
<i>Figura 17: Em (a) Torneamento do tambor e (b) tambor montado no.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 18: Em (a) Modelado em CAD e em (b) a tampa do tambor usinada</i>	<i>30</i>
<i>Figura 19: O tensionador de alimentadores de arame comerciais</i>	<i>31</i>
<i>Figura 20: O tensionador: em (a), a modelagem e em (b) o protótipo fabricado</i>	<i>31</i>
<i>Figura 21: Modelagem e fabricação das engrenagens</i>	<i>32</i>
<i>Figura 22: Vista explodida do sistema diferencial</i>	<i>33</i>
<i>Figura 23: Detalhes internos dos mecanismos de transmissão diferencial de velocidade</i>	<i>34</i>
<i>Figura 24: Redutor planetário.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 25: Curva Tensão x Velocidade motor CC com escovas</i>	<i>37</i>

<i>Figura 26: Motor de corrente contínua modelo GR42x25</i>	<i>38</i>
<i>Figura 27: Informações do datasheet G42x25</i>	<i>38</i>
<i>Figura 28: Driver de corrente didático para acionamento de motores de passo</i>	<i>39</i>
<i>Figura 29: Método de acionamento por diferencial de velocidades.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 30: Protótipo após montagem</i>	<i>41</i>
<i>Figura 31: Métodos e equipamentos usados.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 32: Casos para validação do Diferencial</i>	<i>43</i>
<i>Figura 33: Driver de motor de passo com chave alavanca que dá o sentido de giro e o potenciômetro que impõe o comando de velocidade via os pulsos de step.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 34: Etapas de funcionamento.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 35: Gráficos descrevendo o comportamento de n_3 em relação n_1, n_2 e suas respectivas correntes</i>	<i>45</i>
<i>Figura 36: Método utilizado para análise de frequência e amplitude.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 37: Relação aproximada entre frequência e amplitude obtida</i>	<i>47</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GMAW - Gas Metal Arc Welding
GTAW – Gas-Shielded Tungsten Arc Welding
MIG - Metal InertGas
MAG - Metal Active Gas
TIG - Tungsten Inert Gas
CAD – Computer-aided design
CAM – Computer-aided manufacturing
IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina
CC – Corrente Contínua
3D – 3 Dimensões
Hz – Hertz
mm – Milímetros
i = relação de Redução
 ω_s = velocidade angular
 ω_c = velocidade angular
 R_{Ring} = número de dentes do anel
 R_{Sol} = número de dentes engrenagem sol
 ω_{s1} = velocidade angular de R_{sol1}
 ω_{s2} = velocidade angular de R_{sol2}
PM = Potência mecânica
T = Torque (N.m)
n = Velocidade (rpm)
P&D = Pesquisa e Desenvolvimento

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem a gás, começou a ser entendido nos meados de 1800, após a descoberta do arco elétrico. Inicialmente utilizava um eletrodo de carbono, que por sua vez, foi substituído pelo eletrodo de metal, inventado por N.G Nobel Slavianoff e C.L Coffin no final do século XIX. Mais tarde a empresa General Electric desenvolveu o processo *Gás Metal Arc Welding* (GMAW). Este método consistia no uso de um eletrodo sem revestimento, utilizando corrente contínua e a partir da tensão do arco regulava a taxa de alimentação, sem utilização de gases de proteção para proteção da solda. Posteriormente, em 1948 foi desenvolvido um novo processo de soldagem, o qual é conhecido como GMAW até os dias de hoje. Concebido pelo *Battelle Memorial Institute*, este processo se baseava basicamente em utilizar um arame de diâmetro menor e uma fonte de energia constante, que proporciona alta taxa de deposição do material, no entanto um alto custo do gás de proteção, que acabava por limitar sua aplicação na época (WEMAN, 2005).

Alguns anos depois, foram desenvolvidos gases de proteção como CO₂ e outras misturas, o que tornou viável à soldagem a arco em escala industrial. Posteriormente a isso, com a criação dos transistores, foi possível a regulação dos parâmetros da soldagem com maior sensibilidade. Mais recentemente, foi introduzido ao processo *Metal Inert Gas & Metal Active Gas* (MIG/MAG) e a corrente pulsada, também chamada de "*pulsed spray-arc*". Esse processo é cada vez mais utilizado, visto que possui altas taxas de deposição, e um baixo custo comparado as outras alternativas de soldagem automática com gás de proteção (WeldGuru, 2019).

Entre os processos tradicionais citados acima, existem diferentes variações, que visam atender as particularidades de cada aplicação. Essas variações aplicadas aos processos, são classificadas como processos derivativos, estes que tem como vantagem sobre os totalmente inovativos (normalmente tem a proposta de substituir todo ou maior parte do equipamento do processo atual), os quais já baseiam-se em uma plataforma conhecida, trazendo maior credibilidade ao consumidor (JORGE et al, 2018). Pertinente a essa necessidade de variações, nos últimos anos muito se tem cada vez mais investido em pesquisas voltadas a essa área, visando maior produtividade e/ou possibilidade de executar procedimentos que antes não eram possíveis (MARQUES, 2017).

Uma dessas variações, é a pulsação dinâmica do arame. Acredita-se que a ideia inicial deste método tenha surgido ao buscar emular a técnica realizada por

soldadores do processo Tungsten Inert gas (TIG), na qual ele avança e recua a vareta de forma consistente e ponderada durante a execução da solda. No qual quando aplicado a MIG/MAG, se tem maior produtividade, qualidade, e praticamente sem respingos e salpicos (JORGE et al, 2018).

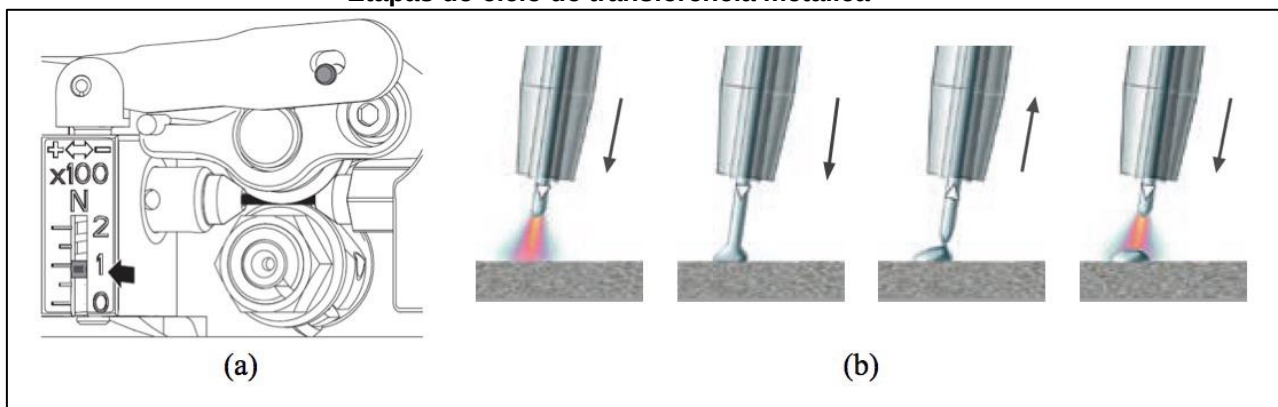
1.1 Definição do Problema

Normalmente os sistemas comercializados na atualidade possuem uma solução integral, e geralmente dependem da troca de todo o mecanismo de processo de soldagem, e não apenas um upgrade do mecanismo existente, o que torna mais caro a implementação. Além de serem importados, o que também eleva o custo, torna-se evidente que uma tecnologia adaptativa seria mais barata e mais conveniente para a indústria.

Algumas empresas como a Fronius e a TipTig USA desenvolveram produtos com alimentação oscilatória do arame, rebatizando tradicionais processos de soldagem como CMT e TIP TIG respectivamente.

No produto comercializado como *Cold Metal Transfer* (CMT) que é derivado do tradicional *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), o dinamismo do arame se dá na tocha de soldagem, Figura 1a, e tem como função principal o destacamento da gota por tensão superficial, Figura 1b.

Figura 1 : Processo GMAW CMT: em (a) Sistema de alimentação oscilatória do arame e em (b) Etapas do ciclo de transferência metálica



Fonte: Adaptado de Fronius, 2019.

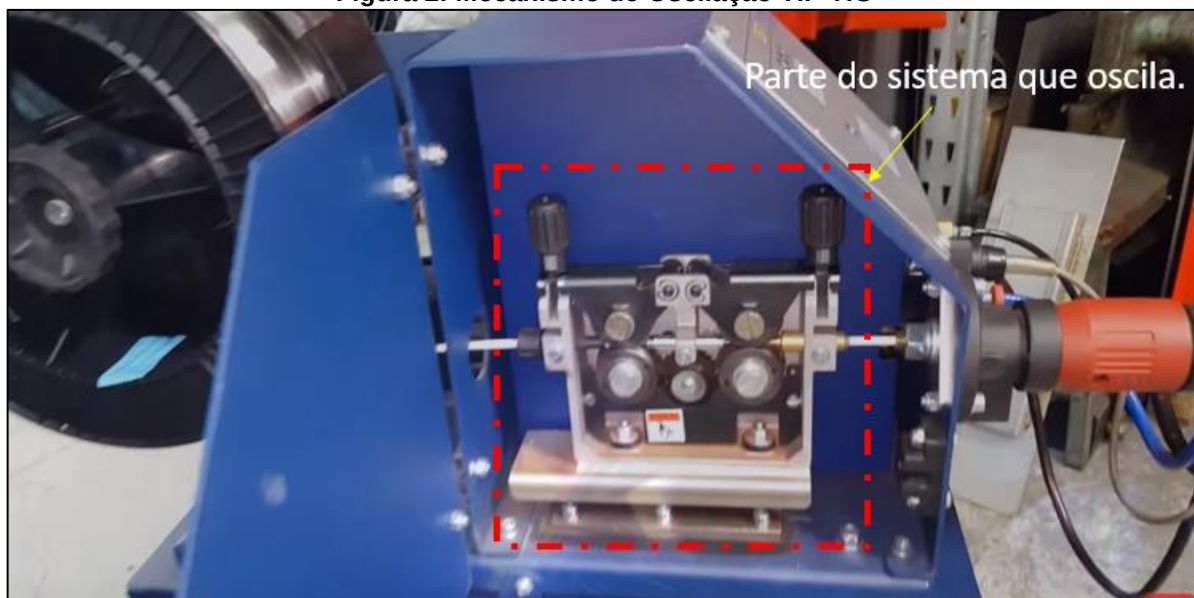
O referido sistema de movimentação do arame da tocha, patenteado por Huismaann, G. et al (2008), é direto por roldana fixa no eixo de um ou dois motores que avança e retorna o arame em função do valor realimentado da tensão do arco elétrico. Esse sistema opera numa faixa de frequência no dinamismo do arame de até

130 Hz o que proporciona a possibilidade de um grande aumento na velocidade de soldagem.

Do ponto de vista funcional, operar próximo ao limite da frequência de destacamento das gotas gera sobreaquecimento do motor ou dos motores, decorrente dos picos de corrente elétrica para prover as acelerações de avanço e de retorno do arame.

Dos equipamentos citados, nota-se que uma das desvantagens é a alta inércia dos sistemas mecânicos. O equipamento TIP TIG, conforme mostra a Figura 2, opera numa faixa de frequência de até 20 Hz e movimenta uma massa considerável para oscilar o arame, visto que, o processo é feito longe do arco elétrico da tocha. Além disso, a amplitude da oscilação da ponta do arame na tocha é afetada em função do efeito mola que acontece no arame em função da flexibilidade do conduíte, necessitando de compensação. Outro problema dos equipamentos comerciais, é que por serem de origem estrangeira, o custo de aquisição e de manutenção é sempre elevado.

Figura 2: Mecanismo de Oscilação TIP TIG



Fonte: Adaptado de TipTig Usa, 2017.

Devido a aplicabilidade em inúmeros setores industriais, fica implícita à necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para o setor nacional, visto que tecnologias desenvolvidas aqui tendem a diminuir o custo, o que torna o setor mais competitivo mundialmente (VOLKER, 2018).

1.2 Objetivos

De todas as formações profissionais principalmente dentro da engenharia, busca-se um aprimoramento de senso crítico, visão sistêmica e caráter de otimização. Tendo esses conceitos em vista, este trabalho tem ênfase em desenvolver um protótipo mecatrônico, a partir de pesquisas de projetos e produtos já existentes, que busca aperfeiçoar a alimentação oscilatória de arame nos processos de soldagem a arco elétrico.

1.2.1 Objetivo Geral

Projetar um sistema automático de alimentação oscilatória do arame com frequência igual ou superior aos comerciais existentes, considerando o requisito fundamental de baixa inércia.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para cumprir integralmente o objetivo principal desta monografia, será necessário realizar todos os seguintes objetivos específicos:

- a) analisar o funcionamento dos sistemas de movimentação de arame comerciais para levantar suas vantagens e desvantagens;
- b) projetar o sistema de movimentação oscilatória do arame com transmissão diferencial de duas entradas em velocidade;
- c) pesquisar e selecionar componentes, materiais e processos para fabricação do sistema;
- d) desenvolver o método de acionamento dos motores elétricos para a correta movimentação do arame nas modalidades de soldagem a gás;
- e) Validar o desenvolvimento do sistema de alimentação oscilatória via ensaios;
- f) Documentar e publicar os resultados obtidos em congressos e revistas da área de soldagem.

1.3 Justificativa e Relevância

Devido sua aplicabilidade em quase todos os setores industriais, a soldagem assume um papel de extrema importância dentro da cadeia produtiva. Necessário a essa demanda, que países desenvolvidos fazem grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) no campo de soldagem, propiciando rápida escalada desenvolvimentista neste setor (SCOTTI, 2008).

No Brasil, a situação é diferente, a maioria das aplicações em soldagem costuma ser realizada nos mesmos moldes tecnológicos de 40 anos atrás. No surgimento de uma necessidade para um processo mais complexo, a procura de tecnologia para suprir, eventualmente vem de origem externa, o que acarreta ao não incentivo do desenvolvimento de tecnologia nacional voltada a área.

Dado este cenário, este trabalho visa contribuir para mudança dessa realidade do setor nacional de soldagem. A presente proposta é relevante porque consiste no desenvolvimento de um sistema de alimentação oscilatória do arame para aumentar a estabilidade e a produtividade no processo de soldagem GTAW e, se possível, no GMAW. O aumento da produção proposta se dá pela adição de uma força sobre a gota transferida referente ao efeito da oscilação mecânica do arame (SILVA et al., 2018).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado um breve detalhamento do processo de soldagem a arco, a influência da oscilação dinâmica e o cenário de atual nacional na área.

2.1 Processos de Soldagem

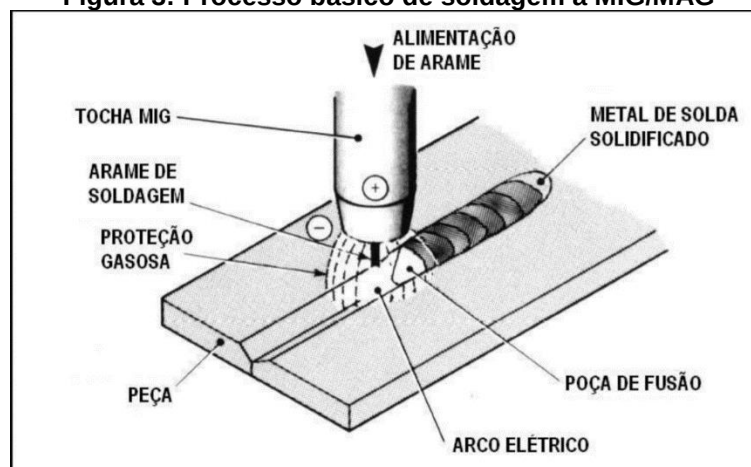
Existem inúmeros processos de união de materiais, divididos em duas categorias com adição de material e sem, devido a alimentação dinâmica ser usada somente para processos com adição, serão detalhados somente os processos GMAW e GTAW.

2.2 Processo GMAW

De acordo com a apostila de soldagem MIG/MAG, do autor Fontes (2005), na soldagem com arco elétrico e gás de proteção *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), igualmente denominado como soldagem *Metal Inert Gas & Metal Active Gas* (MIG/MAG), cria-se um arco elétrico entre a peça e um consumível no formato de arame. Sendo assim, o arco funde de modo contínuo o arame, ao passo que o cordão de solda é formado pelo deslocamento da poça de fusão.

Bem como, em relação ao metal de solda, este recebe proteção da atmosfera através da influência de um gás ou uma mistura de gases, inerte ou ativo. A Figura 3 mostra esse processo e uma parte da tocha de soldagem.

Figura 3: Processo básico de soldagem a MIG/MAG



FONTE: Fontes (2005).

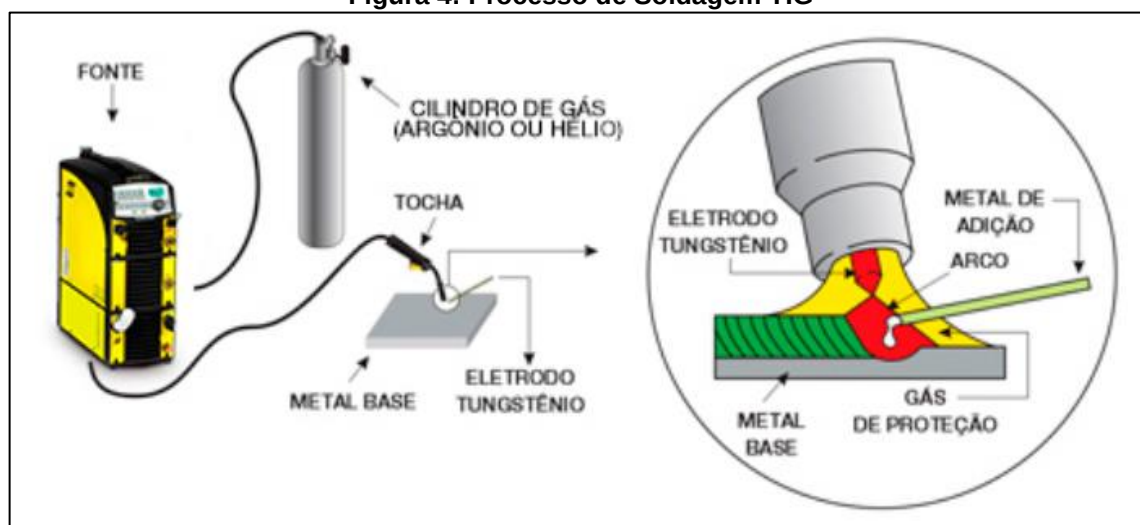
Assim, como todo e qualquer processo de fabricação, existem suas vantagens e desvantagens, o mesmo ocorre com o processo de soldagem MIG/MAG. No entanto, conforme o autor FONTES (2005), é importante sempre ressaltar que o processo de soldagem MIG/MAG proporciona muitas vantagens, na soldagem manual e na automática dos metais, em aplicações de baixa ou alta produção. Estas vantagens quando combinadas e comparadas ao eletrodo revestido, arco submerso e TIG são:

- a soldagem pode ser executada em todas as posições;
- não há necessidade de remoção de escória;
- a alta taxa de deposição do metal de solda;
- o tempo total de execução de soldas de cerca da metade do tempo se comparado ao eletrodo revestido;
- as altas velocidades de soldagem e menor distorção das peças;
- as largas aberturas preenchidas ou amanteigadas facilmente, tornando certos tipos de soldagem de reparo mais eficientes;
- não há perdas de pontas como no eletrodo revestido.

2.3 Processo GTAW

O processo *Gas-Shielded Tungsten Arc Welding* (GTAW) ou comumente chamado de *Tungsten inert gas* (TIG), mostrado na Figura 4, é um processo no qual a poça de fusão é protegida por um gás inerte, argônio ou misturas de argônio com outros gases. O principal diferencial em relação ao GMAW, onde o próprio material consumível gera o arco elétrico na peça, no processo TIG usa-se um eletrodo de tungstênio não consumível. Isso proporciona a possibilidade de uma solda com alimentação ou autógena (com a possibilidade de fazer uniões sem material de adição), o que torna usual para uma ampla gama de materiais e em especial para tubos, chapas finas e alumínio. Devido a sua qualidade, é empregado em juntas de alta responsabilidade, em indústrias nucleares, químicas, aeronáuticas e principalmente as alimentícias, devido ser o processo mais usado para soldagem de aços inoxidáveis.

Figura 4: Processo de Soldagem TIG



Fonte: Processos... (2019).

De acordo com a empresa ESAB (2019), as vantagens do processo TIG em relação aos demais são:

- Melhor acabamento entre os processos;
- Ótima qualidade das propriedades mecânicas de soldagem;
- Estanqueidade e acabamento sanitário;
- Não necessita de metal de adição em determinadas espessuras e preparações;
- Soldável em qualquer posição;
- Permite controlar o aporte de calor na peça a ser soldada.

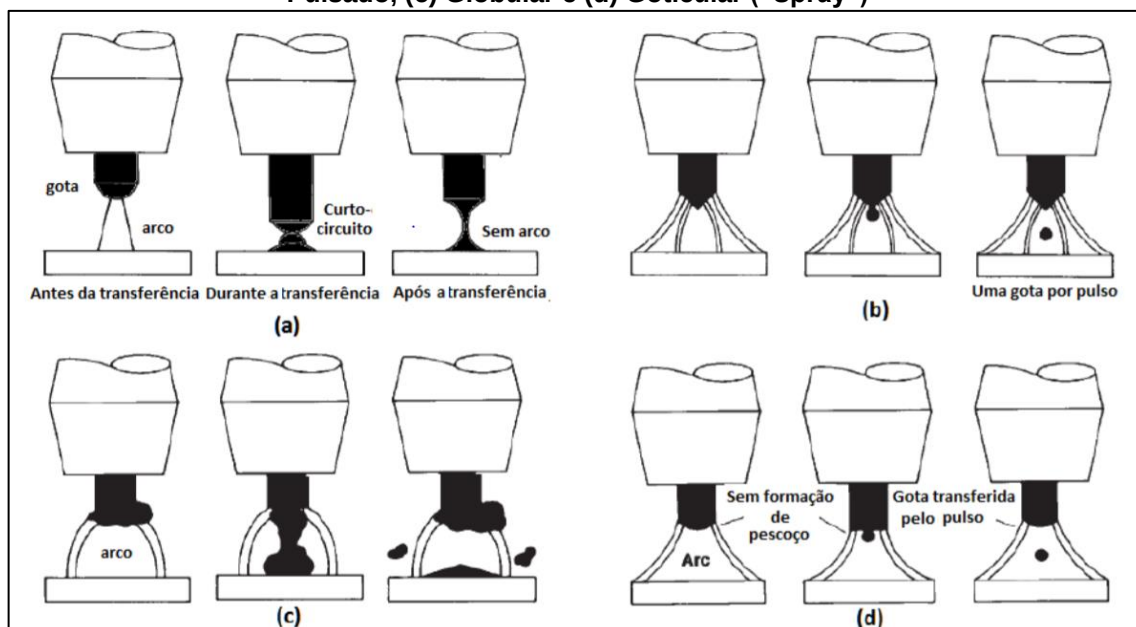
2.4 Influência da Oscilação Dinâmica do Arame

Acredita-se que a derivação do processo de soldagem com dinamismo do arame, tenha sido influenciada pelo processo TIG manual, no qual o operador avança e recua o arame para adicionar material a poça de fusão. Mesmo sendo somente uma teoria de acordo com JORGE et al. (2018), nota-se que o comportamento do destacamento da gota é influenciado quando aplicado esse método.

Conforme Da Silva et al. (2011), apud Scotti (2009), na soldagem MIG/MAG existem quatro tipos de transferência metálica denominadas de curto-circuito, globular, goticular e pulsada. Estes modos são caracterizados pelo tamanho e frequência de destacamento das gotas fundidas. Os tipos de transferência estão associados a diversos fatores, incluindo o nível de corrente, diâmetro do arame, comprimento do arco, nível de tensão, características da fonte de energia e gás de proteção. Os três primeiros tipos citados anteriormente são classificados como modos

de transferência naturais, enquanto que o quarto modo é considerado como controlado, conforme Figura 5:

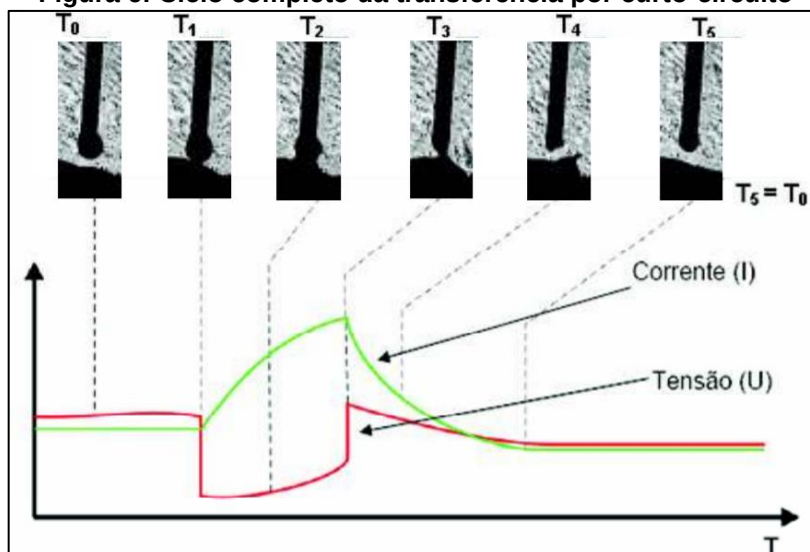
Figura 5: Modos de transferência metálica na soldagem MIG/MAG. (a) Curto-circuito, (b) Pulsado, (c) Globular e (d) Goticular (“Spray”)



Fonte: Da Silva et al., 2011 apud Scotti, 2009.

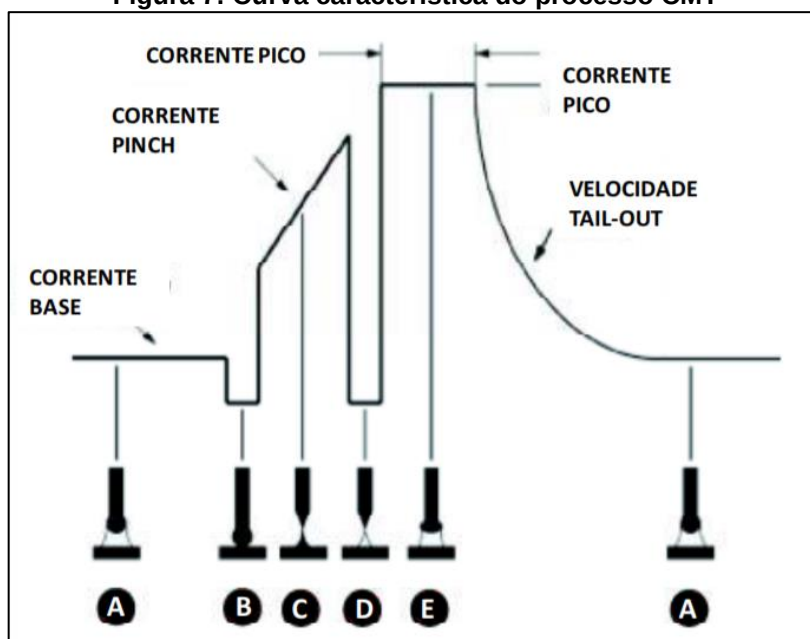
Tendo essas características de transferência, nota-se que o processo de alimentação dinâmica de arame, será similar ao processo curto-circuito da. A gota é destacada por tensão superficial, porém não será somente o curto-circuito atuando no destacamento da gota, mas também a partir do recuo do arame, é gerado um impulso, o qual faz com que gota seja expelida acelerando a etapa de estrangulamento, como mostra a Figura 7. Assim são gerados curtos-circuitos menores e mais contínuos, o que de acordo com SARTORI, et al (2015), melhora a qualidade da solda, além de reduzir a quantidade de respingos.

Figura 6: Ciclo completo da transferência por curto-circuito



Fonte: SOUZA (2010).

Figura 7: Curva característica do processo CMT



Fonte: Adaptado de SOUZA (2010).

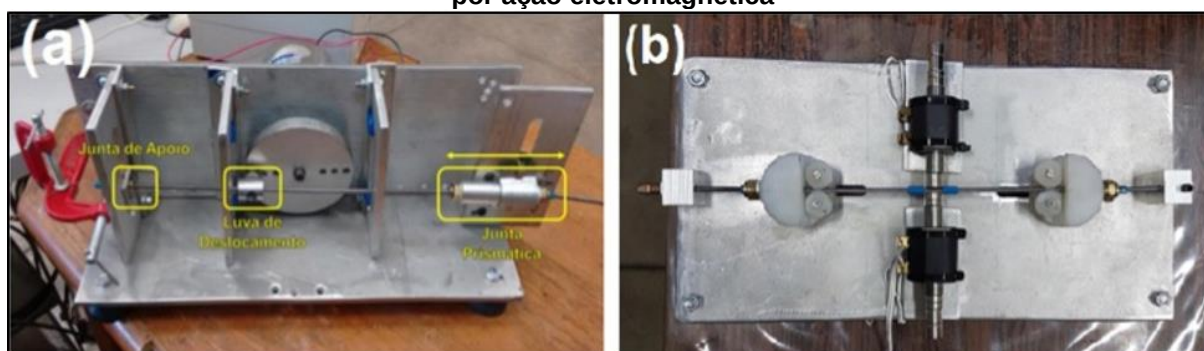
2.5 Mecanismos de Referência

Para a seleção das tecnologias, além da pesquisa de mercado, efetuou-se uma pesquisa em artigos relacionados à área de alimentação dinâmica, os dois mais relevantes foram as invenções de Jorge e colaboradores (2018) e de Volker (2018).

2.5.1 Sistema de Pulmão Ativo

Jorge e colaboradores (2018), utilizando um sistema de pulmão ativo, desenvolveram dois protótipos para oscilar o arame. Um sistema mecânico, Figura 8a, que atingiu a uma frequência de 15 Hz e outro magnético, Figura 8b, que chegou a 25 Hz. Esses limites de frequências se assemelham as do equipamento TIP TIG, Figura 2, comercializado pela empresa TipTig USA.

Figura 8: Dispositivos para pulsação da alimentação de arame: (a) por ação eletromecânica; (b) por ação eletromagnética

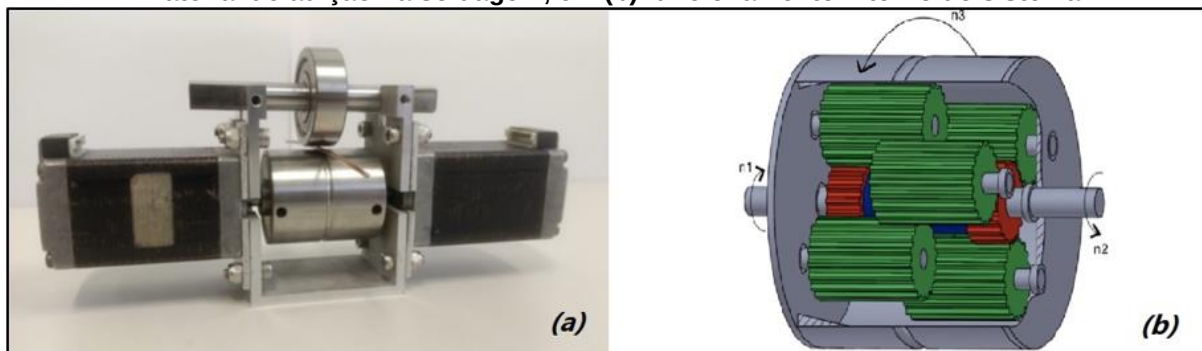


Fonte: JORGE et al, 2018.

2.5.2 Alimentação Diferencial

No protótipo de Volker (2018), Figura 9, o sistema de transmissão diferencial de velocidades baseou-se no princípio de funcionamento do redutor planetário. O acréscimo de mais de uma entrada de velocidade, n_1 e n_2 , e o acoplamento entre as engrenagens satélites das duas entradas para produzir a saída de velocidade n_3 , como mostra a Figura 9b, são os diferenciais deste mecanismo. Uma das limitações do mecanismo, e que usa motores de passo, o que diminuiu a dinâmica limitando a uma frequência de 25 Hz, porém ainda se equipara ao TIP TIG já existente no mercado.

Figura 9:(a) Sistema de transmissão diferencial de velocidades para alimentação oscilatória do material de adição na soldagem, em (b) funcionamento interno do sistema



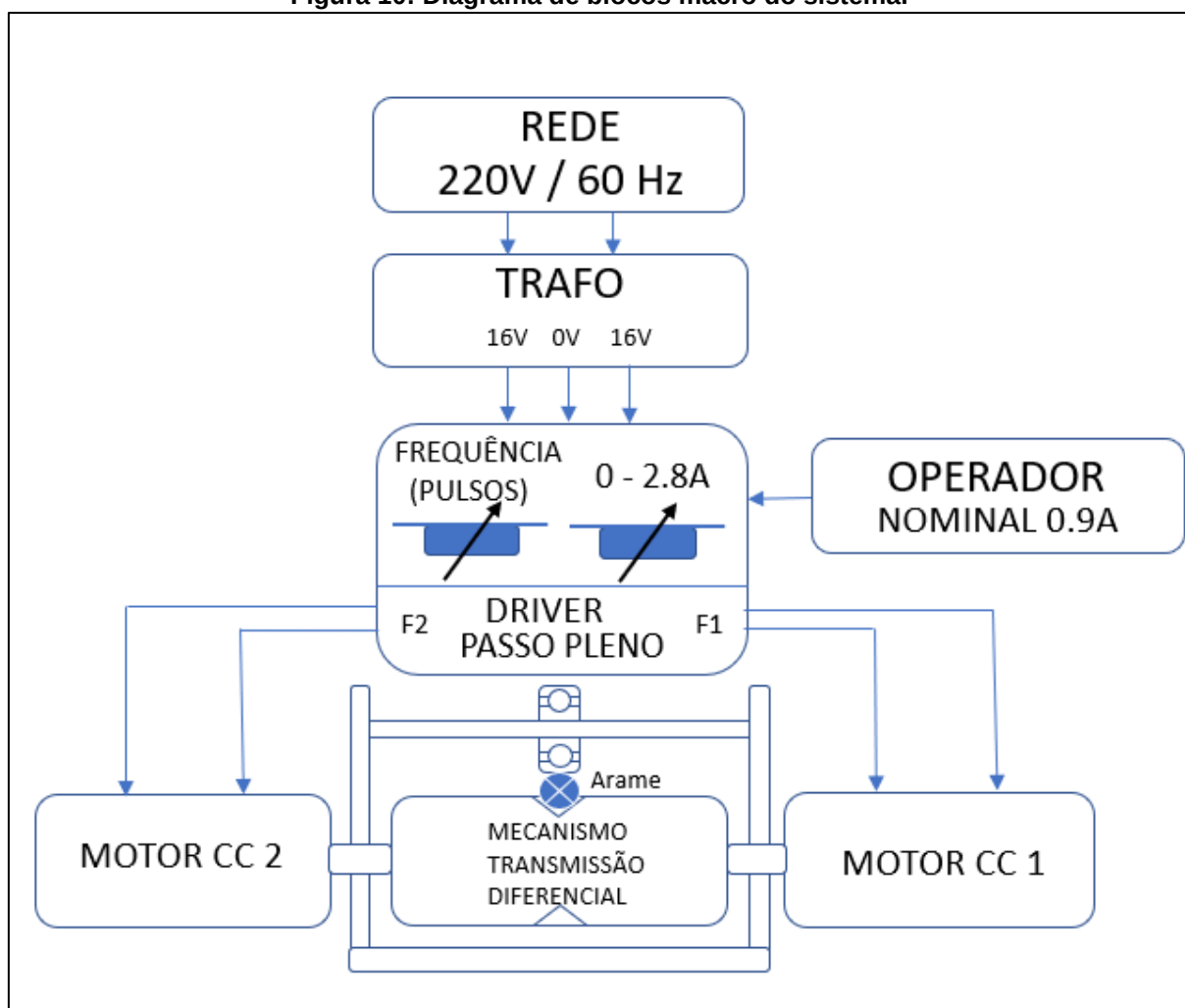
Fonte: Volker, 2018.

Visto as tecnologias já existentes pesquisadas, fica evidente a importância do aumento da frequência de destacamento das gotas por tensão superficial, sendo uma solução para o aumento de produção desta modalidade de soldagem.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, são descritas a pesquisa e o desenvolvimento do projeto do sistema de alimentação oscilatória mostrado no diagrama de blocos da Figura 10. Contendo um breve detalhamento das principais etapas da modelagem e fabricação, tendo um maior enfoque no sistema diferencial, acionamento e controle do sistema.

Figura 10: Diagrama de blocos macro do sistema.

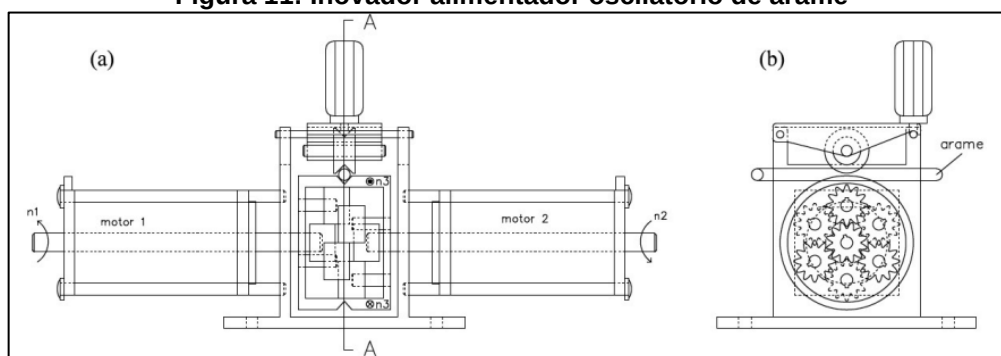


Fonte: Elaboração própria (2019).

3.1 Componentes estruturais

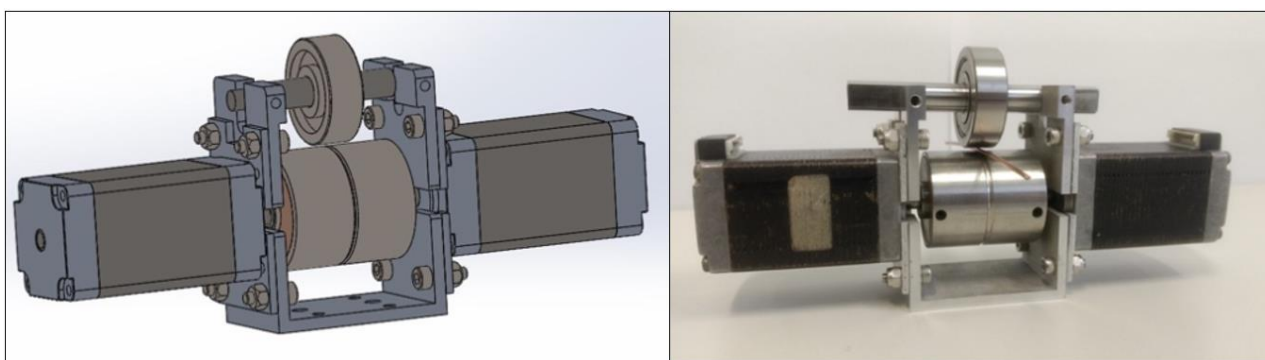
Para o projeto estrutural da transmissão diferencial e seus componentes foram baseados na patente de Bonacorso; Volker; Schiavi, (2015) da Figura 11 e no protótipo de Volker (2018), Figura 12, com algumas alterações.

Figura 11: Inovador alimentador oscilatório de arame



Fonte: Adaptado de Bonacorso; Volker; Schiavi, (2015).

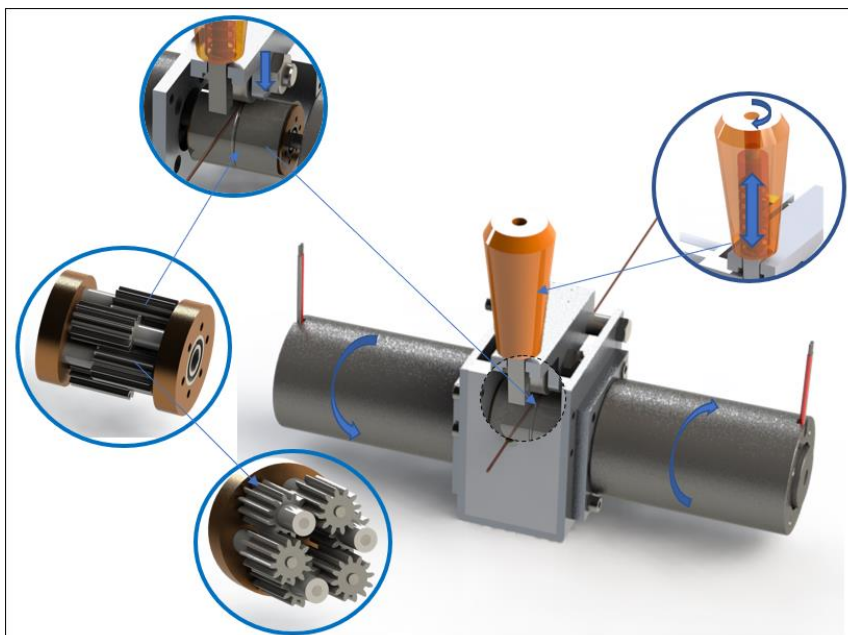
Figura 12: Sistema de alimentação dinâmica



Fonte: Adaptado de Volker (2015).

Durante a modelagem, buscou-se reduzir a inercia para obtenção de uma maior dinâmica. Na fabricação utilizou-se máquinas CNC, com o intuito de ter precisão nos componentes, tornando o sistema mais rígido e com menores folgas. Para a modelagem do projeto utilizou-se o sistema CAD 3D, Solidworks®. A Figura 13 mostra uma visão macro do sistema mecânico a partir de uma renderização.

Figura 13: Proposta de alimentador dinâmico visando uma maior frequência.

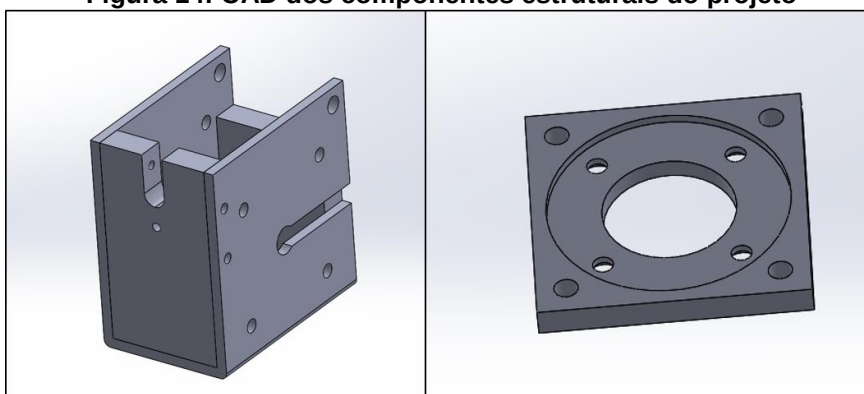


Fonte: Elaboração própria (2019).

3.1.1 Corpo e Flanges

Para fixar os dois motores elétricos e o tensionador do arame os componentes estruturais do projeto, uma peça em formato “U” com suas duas tampas frontais e os dois flanges da Figura 14, foram modelados e dimensionados em alumínio para usinagem a partir do sistema CAD 3D, Solidworks®.

Figura 14: CAD dos componentes estruturais do projeto



Fonte: Elaboração própria (2019).

Com o Software EdgeCam, o código G foi gerado possibilitando a fabricação dos componentes estruturais do projeto em equipamentos CNC, Figura 15. As respectivas peças foram fabricadas utilizando a fresadora ROMI® D600, e o equipamento de eletro-erosão a fio FW1U AgieCharmilles®.

Figura 15: Flanges e estrutura pós usinagem

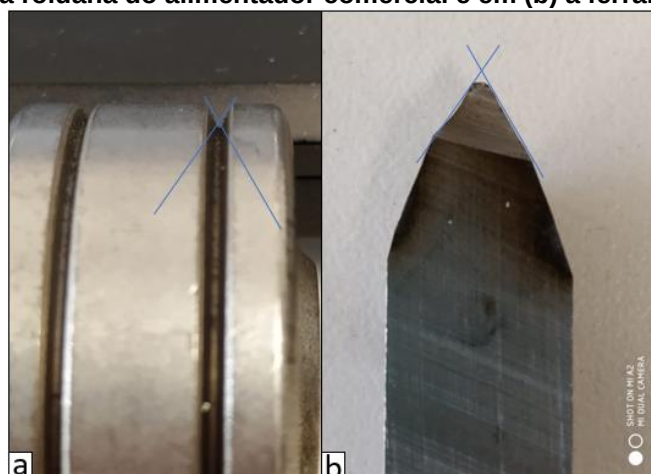


Fonte: Elaboração própria (2019).

3.1.2 Tambor

O tambor tem a função de transmitir o movimento de avanço e recuo para o arame. O projeto do mesmo foi baseado em um alimentador comercial para o arame de 1,2 mm de diâmetro. A partir da sua roldana, Figura 16a, fabricou-se uma ferramenta com ângulo de 40 graus, Figura 16b, com intuito de replicar o perfil do componente no tambor da transmissão diferencial.

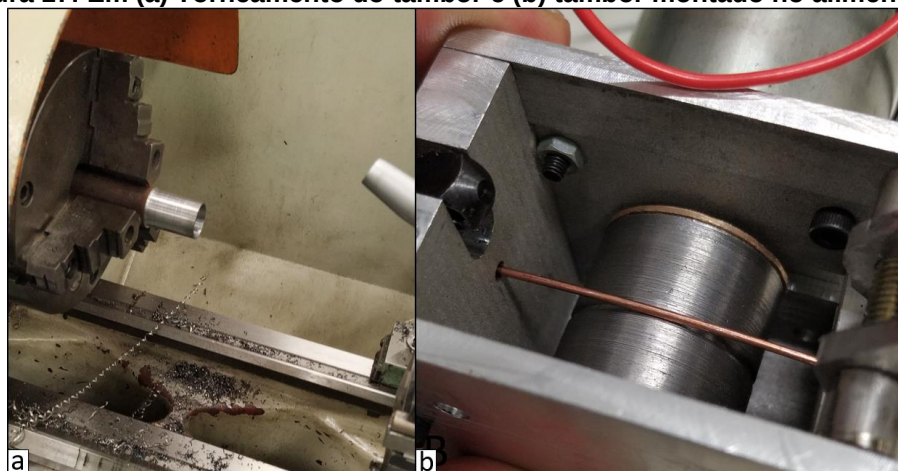
Figura 16: Em (a) a roldana do alimentador comercial e em (b) a ferramenta de usinagem



Fonte: Elaboração própria (2019).

A fabricação do componente tambor deu-se a partir de uma barra de perfil circular de aço 1045 com o objetivo de diminuir o seu desgaste, visto que o tambor fica sempre em atrito com o arame. Para a usinagem do tambor utilizou-se uma máquina de torneamento convencional, Figura 17a. A Figura 17b mostra o detalhe do encaixe do arame no tambor.

Figura 17: Em (a) Torneamento do tambor e (b) tambor montado no alimentador

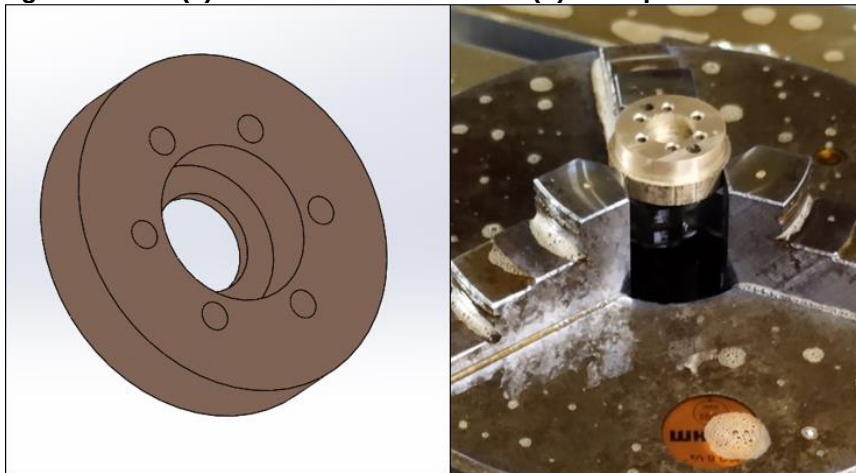


Fonte: Elaboração própria (2019).

3.1.3 Tampas do Tambor

As tampas do tambor têm como função suportar os eixos da transmissão diferencial, os quais precisam de exatidão de posicionamento. Para cumprir esses requisitos de precisão, o componente foi modelado a partir do sistema CAD 3D, Solidworks®, mostrado na Figura 18a. Para isso foi utilizada a tabela de referência furo base para atribuir às interferências e folgas necessárias para a função do componente. Foi usado bronze como material, devido sua disponibilidade e melhor usinabilidade. Após a modelagem, foi utilizado o software de CAM para gerar o código G de usinagem para a fresadora CNC ROMI® D600, garantindo qualidade e precisão no processo. O resultado após usinagem é mostrado na Figura 18b.

Figura 18: Em (a) Modelado em CAD e em (b) a tampa do tambor usinada

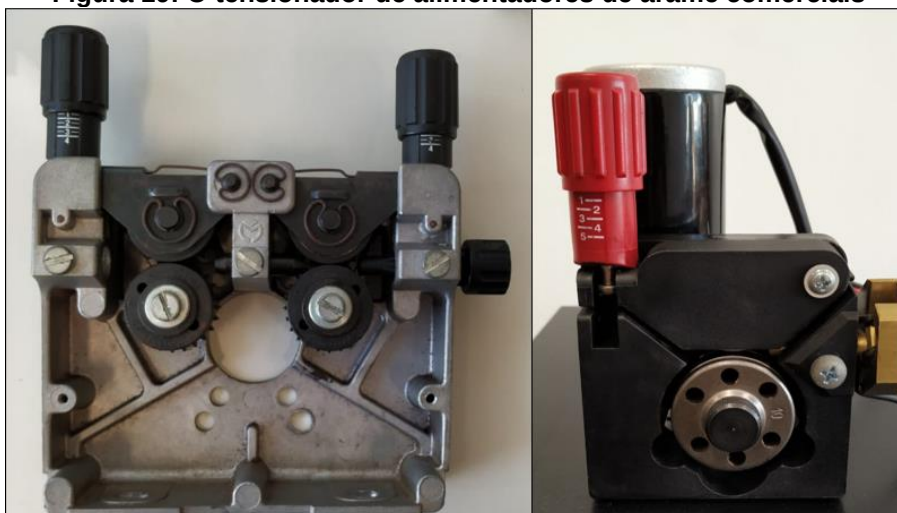


Fonte: Elaboração própria (2019).

3.1.4 Tensionador do arame

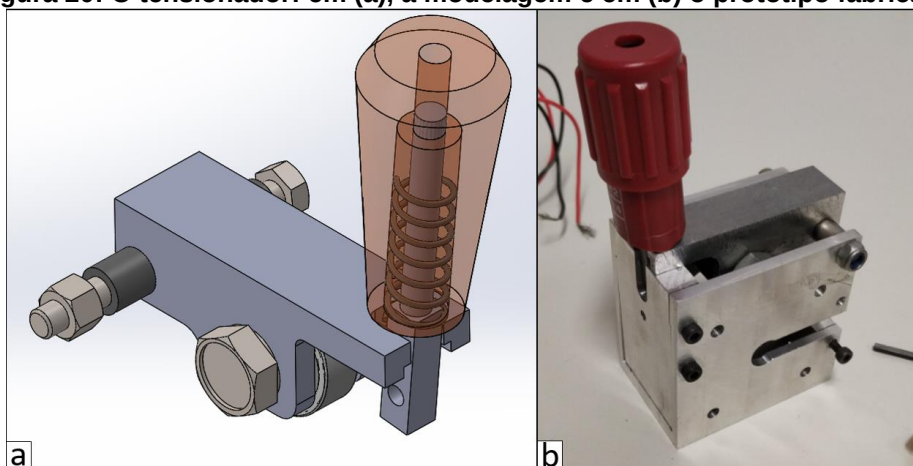
Devido a necessidade de se aplicar uma tensão mecânica sobre o arame para que este possa deslocar-se sem escorregamento de acordo com a rotação do tambor, desenvolveu-se um tensionador do arame baseado em alimentadores de arame comerciais. A Figura 19, mostra dois alimentadores de arame unidirecionais comerciais que utilizam um rolamento e um suporte, que com uma mola que aplica uma tensão sobre o arame a partir do ajuste do manípulo. Na Figura 20a, é mostrado a modelagem do tensionador e na Figura 20b o tensionador do arame fabricado, no contexto da montagem.

Figura 19: O tensionador de alimentadores de arame comerciais



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 20: O tensionador: em (a), a modelagem e em (b) o protótipo fabricado



Fonte: Elaboração própria (2019).

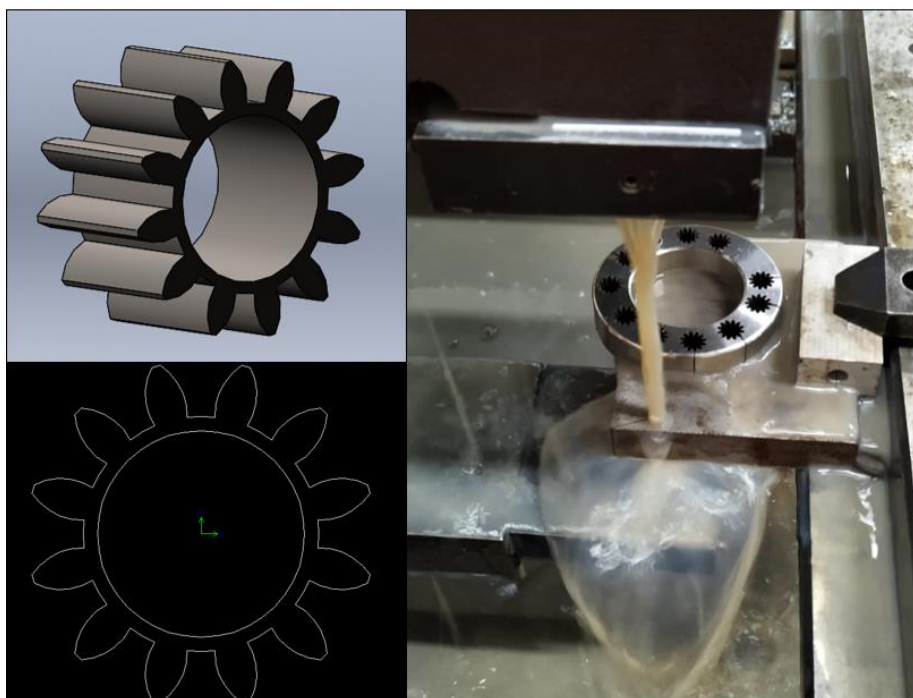
3.1.5 Engrenagens

Cada engrenagem sol transmite movimento de rotação para as suas respectivas engrenagens satélites. Por sua vez, a diferença de rotação entre os dois conjuntos de engrenagens satélites proporciona o giro do tambor para efetuar o avanço ou o retorno do arame.

Com o objetivo de reduzir a inércia da transmissão diferencial, foram dimensionadas, tanto as engrenagens sóis, quanto as engrenagens satélites com o mínimo de dentes (12) e com a menor dimensão possível (módulo 0,6 mm). Em função da dificuldade de aquisição, as referidas engrenagens foram fabricadas em aço inoxidável com dentes retos na própria instituição.

Para dimensionamento do componente, utilizou-se o padrão de engrenagem módulo 0,6 milímetros com 12 dentes do SolidWorks®, a partir do qual foi gerado um arquivo DWG. Posterior a isso, gerou-se um código G e, na sequência usinou-se na máquina de eletro erosão a fio FW1U AgieCharmilles®, como mostrado na Figura 21.

Figura 21: Modelagem e fabricação das engrenagens

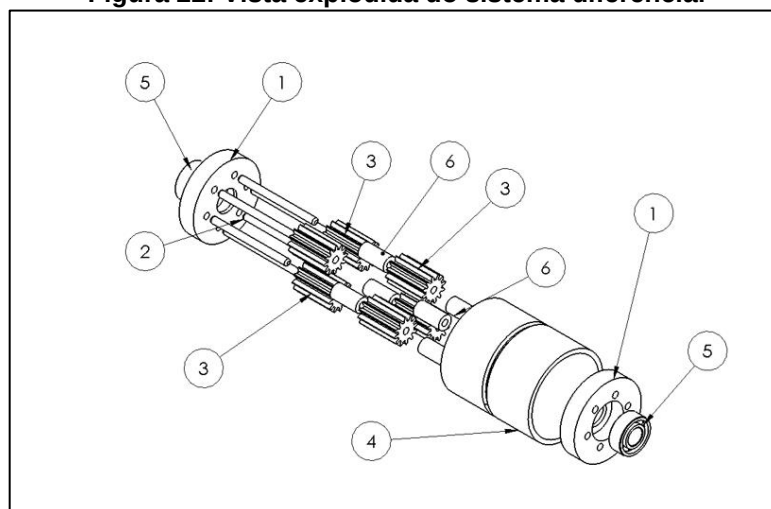


Fonte: Elaboração própria (2019).

3.2 A Transmissão Diferencial

A transmissão diferencial, Figura 22, é a parte mais importante do projeto mecânico. É a partir dela, que se busca um resultado distinto das transmissões habitualmente utilizadas. Essa transmissão diferencial é composta por 21 itens listados na Tabela 1. Alguns dos itens listados não foram detalhados, pois são itens comerciais ou adaptações para o projeto. Além destes itens, mais duas engrenagens sois fazem parte do sistema, as quais foram fixadas com vedante anaeróbico diretamente nos eixos dos motores. Todos estes componentes precisam de uma minuciosa fabricação e montagem devido ao seu tamanho reduzido.

Figura 22: Vista explodida do sistema diferencial



Fonte: Elaboração própria (2019).

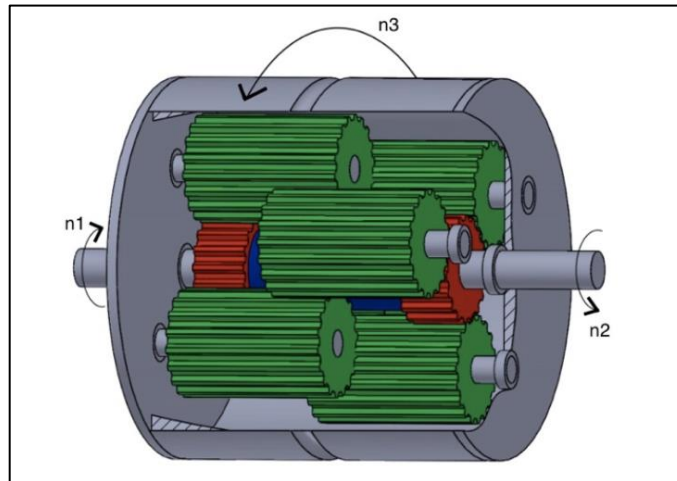
Tabela 1: Lista de componentes sistema diferencial

Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.	MATERIAL
1	TAMPA DO TAMBOR	2	BRONZE
2	EIXO SATÉLITE	6	AÇO INOX
3	ENGRENAGEM M0.6 Z12 12MM	6	AÇO INOX
4	TAMBOR	1	AÇO1045
5	ROLAMENTO 1068	2	AÇO INOX
6	SEPARADOR	6	AÇO 1020

Fonte: Elaboração própria (2019).

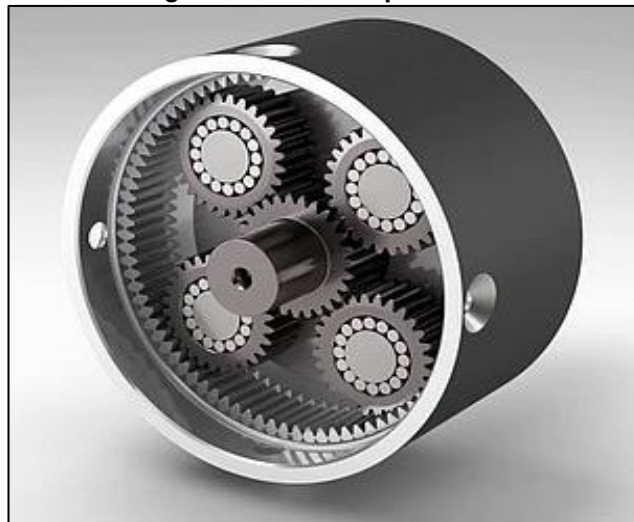
A transmissão diferencial de duas entradas n_1 e n_2 , Figura 24 baseia-se no princípio de funcionamento do redutor planetário, Figura 25. Sendo assim, a transmissão diferencial funciona como redutor de velocidade e consequentemente um amplificador de torque.

Figura 23: Detalhes internos dos mecanismos de transmissão diferencial de velocidade



Fonte: Adaptado de Volker (2018).

Figura 24: Redutor planetário



Fonte: Redutor... (2018).

No redutor planetário, a equação de redução é dada por:

$$i = \frac{\omega_s}{\omega_c} = 1 + \frac{R_{ring}}{R_{sol}} \quad (1)$$

Onde:

i = relação de redução;

ω_s = velocidade angular da engrenagem sol (rad/s);

ω_c = velocidade angular de saída do braço (rad/s);

R_{ring} = número de dentes do anel;

R_{sol} = número de dentes da engrenagem sol.

Porém, no caso da transmissão diferencial da Figura 24, onde todas as engrenagens possuem o mesmo número de dentes, $R_{\text{Ring}} = R_{\text{Sol}}$. Então, a redução é:

$$i = \frac{\omega_s}{\omega_c} = 1 + 1 = 2 \quad (2)$$

Devido a transmissão ser simétrica e diferencial, a velocidade angular de saída n_3 é igual a ω_c o qual é expressa pela equação:

$$\omega_c = \frac{\omega_{s2} - \omega_{s1}}{i} \rightarrow n_3 = \frac{n_2 - n_1}{2} \quad (3)$$

Onde:

ω_{s1} = velocidade angular de $R_{\text{sol}1}$;

ω_{s2} = velocidade angular de $R_{\text{sol}2}$.

Um dos benefícios de utilizar essa transmissão, é que não tem a necessidade de inverter o sentido das rotações dos motores para inverter o sentido de rotação do tambor. Isso é explicado pela equação 3, a qual mostra que a velocidade do tambor é definida pela diferença de velocidade das entradas. Além disso, na transmissão ocorre uma redução, visto que a velocidade do tambor é igual a metade da diferença entre as entradas n_2 e n_1 e, com essa redução, o torque no tambor é amplificado.

Considerando um sistema sem perdas a relação das potências mecânicas das entradas P_{ME1} e P_{ME2} , e de saída P_{MS} é:

$$P_{MS} = P_{ME} = P_{ME1} + P_{ME2} \quad (4)$$

Como a potência mecânica é diretamente proporcional ao produto do torque pela velocidade:

$$PM \propto T \cdot n \quad (5)$$

Onde:

PM = Potência mecânica

T = Torque (N.m);

n = Velocidade (rpm).

Tem-se:

$$T_3 n_3 = T_1 n_1 + T_2 n_2 \quad (6)$$

Substituindo (3) em (6) tem-se o torque de saída T_3 :

$$T_3 = 2 \left(\frac{n_2 T_2 + n_1 T_1}{n_2 - n_1} \right) \quad (7)$$

Estudo de casos:

$$\text{Caso 1: Para } n_1 = 0 \rightarrow n_3 = \frac{n_2}{2} \therefore T_3 = 2T_2$$

$$\text{Caso 2: Para } n_2 = 0 \rightarrow n_3 = \frac{-n_2}{2} \therefore T_3 = -2T_2$$

$$\text{Caso 3: Para } n_1 = n_2 \rightarrow n_3 = 0 \therefore T_3 = \infty$$

$$\text{Caso 4: Para } n_2 = 2n_1 \rightarrow n_3 = \frac{n_2}{4} = \frac{n_1}{2} \therefore T_3 = 2(2T_2 + T_1)$$

$$\text{Caso 5: Para } n_1 = 2n_2 \rightarrow n_3 = \frac{-n_1}{4} = \frac{-n_2}{2} \therefore T_3 = 2(-T_2 - 2T_1) = -2(T_2 + 2T_1)$$

$$\text{Caso 6: Para } n_1 = -n_2 \rightarrow n_3 = n_2 \therefore T_3 = T_2 - T_1$$

Assumindo que $T_1 = T_2$ para os casos 4 ou 5, tem-se o torque máximo da transmissão, que é amplificado seis vezes.

$$\text{Caso 4: } T_3 = 2(2T_2 + T_1) \rightarrow T_3 = 2(2T_1 + T_1) = 6T_1 \quad (8)$$

$$\text{Caso 5: } T_3 = -2(T_2 + 2T_1) \rightarrow T_3 = -2(T_1 + 2T_1) = -6T_1 \quad (9)$$

Assumindo $-T_1 = T_2$ para o caso 6, tem-se o torque da transmissão amplificado duas vezes:

$$\text{Caso 6: } T_3 = T_2 - T_1 \rightarrow T_3 = 2T_2 \quad (10)$$

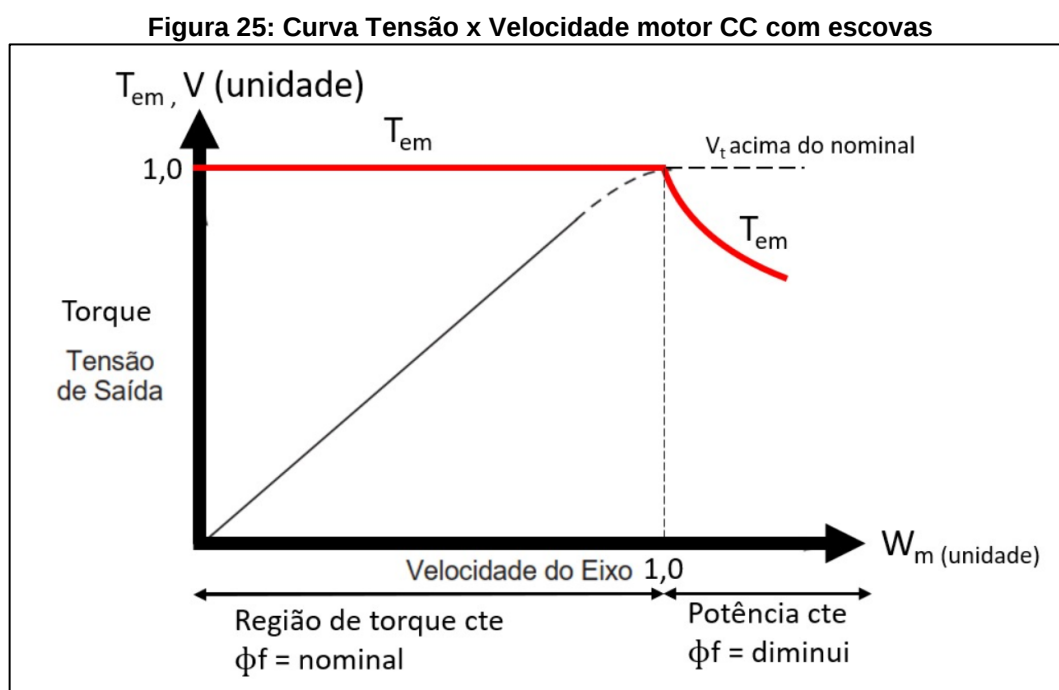
3.3 Acionamento

Dentre as tecnologias de atuadores eletromecânicos disponíveis com o acionamento menos complexo, são os motores de passo com controle em malha aberta no modo posição, utilizado por Volker (2018) em seu protótipo, e os motores de corrente contínua de escovas no modo torque. Como o projeto proposto visa ter

uma maior dinâmica para uma maior frequência da oscilação do arame, optou-se por um motor de corrente contínua de escovas com controle em modo torque, visto que poderia ser acionado por um drive mais simples, e se fosse preciso um controle mais sofisticado poderia ser utilizado um encoder em malha fechada de posição.

3.3.1 Motor de Corrente contínua com escovas.

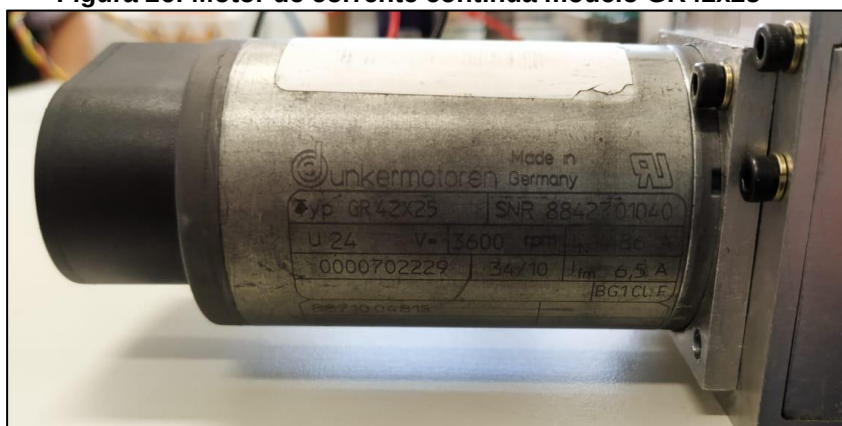
Entre as vantagens do uso do motor de corrente contínua com escovas, se destaca: excelente desempenho torque x velocidade, cultura técnica estabelecida e o controle não sofisticado de torque e de velocidade. Diferente dos motores de passo, o motor de corrente contínua de escovas no modo torque mostra uma relação simples entre velocidade e torque e entre a tensão gerada e velocidade, Figura 25.



Fonte: Adaptado de Parker Automation (2003)

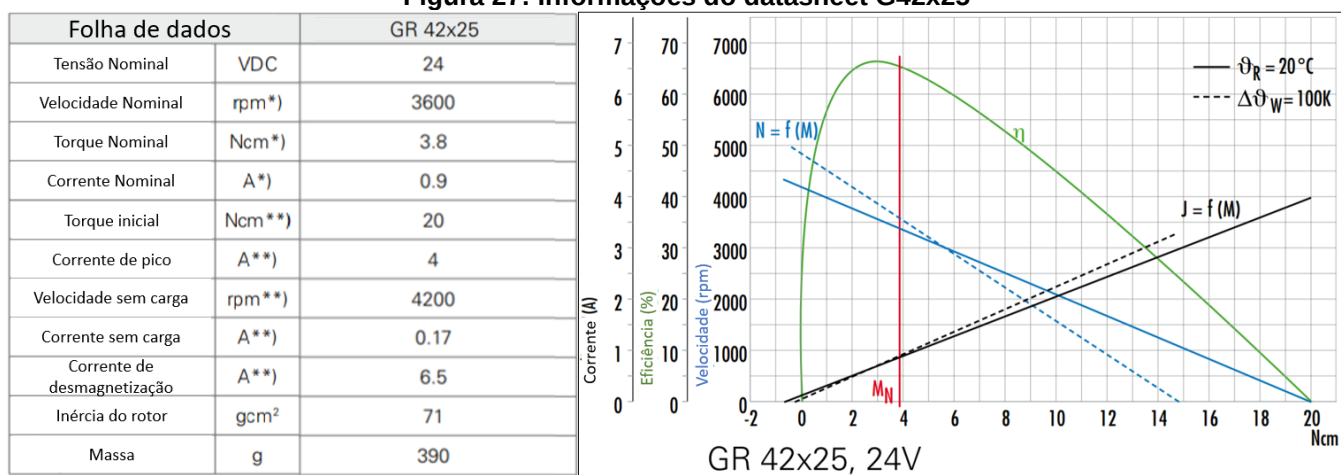
Tendo as características citadas acima, o motor de corrente contínua de escovas e com encoder selecionado foi o modelo G42x25 de 24V da empresa alemã Dukermotoren, mostrado na Figura 26, e suas características retiradas do *datasheet* são mostradas na Figura 27.

Figura 26: Motor de corrente contínua modelo GR42x25



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 27: Informações do datasheet G42x25



*) $\Delta\theta_w = 100\text{ K}$; **) $\theta_R = 20^\circ\text{C}$

Fonte: Adaptado de Dunkermotoren (ca. 2000).

3.3.2 Driver.

Como citado antes, os motores de corrente contínua com escovas têm um simples acionamento, sendo assim, para testes do protótipo, usou-se um *driver* bipolar, com tensão de barramento CC de 48V. Esse driver foi desenvolvido em pesquisa no IFSC a partir de um circuito integrado L6208N. De acordo com Bonacorso (2008), viu-se a necessidade de implementar melhorias com objetivo de tornar flexível, tanto para ensino quanto para aplicações industriais. O driver possui um CI NE555, com o qual é possível variar a frequência de comando (de passos), além de ser possível controlar a corrente de 0 a 2.8A. Com as implementações de Bonacorso (2008), não somente motores de passo podem ser acionados, mas também motores de corrente contínua com escovas e eletroválvulas.

Figura 28: Driver de corrente didático para acionamento de motores de passo

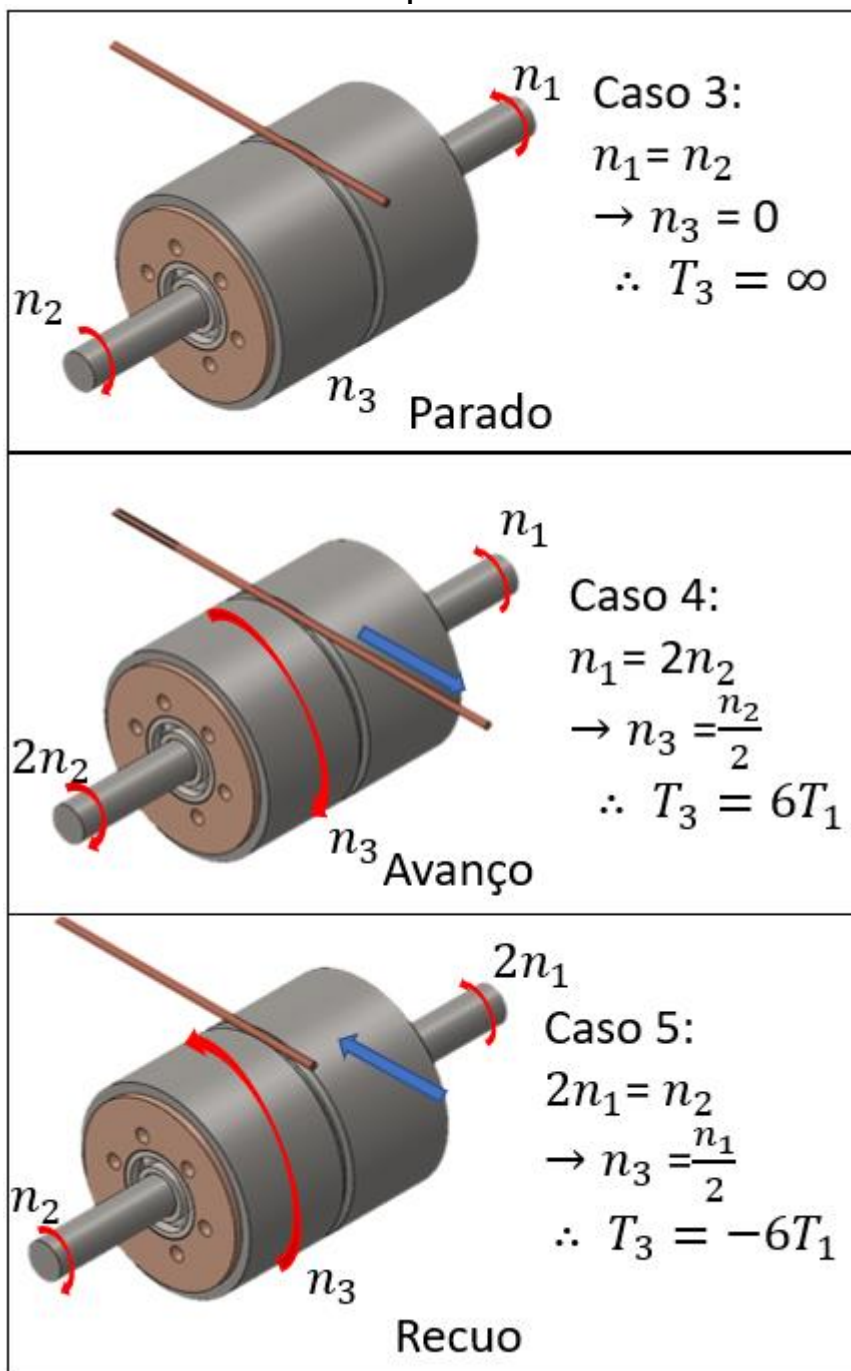


Fonte: Bonacorso (2008).

3.3.3 Métodos de acionamento

O avanço e recuo do arame, se dá pela diferença de velocidades das entradas n_1 e n_2 , conforme a equação 3. Assim, na proposta inicial foi utilizado os motores de corrente contínua em modo corrente, sem a inversão da rotação das entradas n_1 e n_2 . Considerando um torque de carga T_3 constante para deslocar o arame, bastaria incrementar a corrente do motor 2 e decrementar a do motor 1 para avançar o arame, caso 4, e vice-versa para recuar, caso 5, como ilustrado na Figura 29.

Figura 29: Método de acionamento por diferencial de velocidades



Fonte: Elaboração própria (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

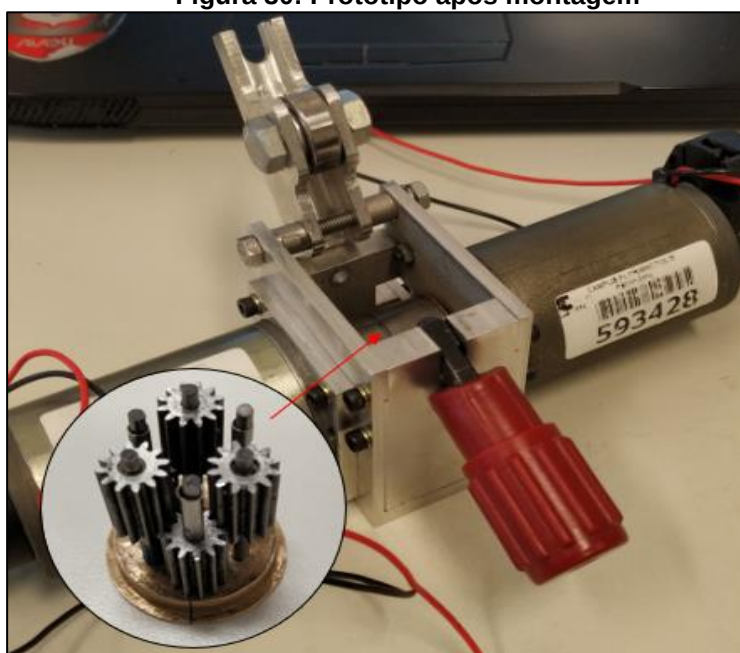
Para apresentação dos resultados foi dividido em 2 etapas: modelagem mecânica, fabricação e testes funcionais e, posterior a isso, integração eletromecânica e testes aplicados.

4.1 Modelagem mecânica e fabricação

Devido a utilização de um sistema mecânico já comprovado funcional, o enfoque se teve apenas em desenvolver uma mecânica mais robusta em relação ao projeto embasado, com intuito de buscar uma melhor dinâmica no novo acionamento. Uma das características que se buscava no sistema era uma menor inercia, porém mesmo que tenha sido reduzido os componentes, não foi possível comparar essa melhoria, por falta dessas informações do projeto de Volker (2018).

Durante os testes mecânicos, notou-se uma menor folga no sistema o que gerou menos ruído, que era um dos problemas visto no projeto de Volker (2018). O protótipo mecânico resultado desse projeto é mostrado na Figura 30, o qual foi todo desenvolvido e fabricado pelo graduando com auxílio dos técnicos e professores do laboratório de máquinas operatrizes do IFSC.

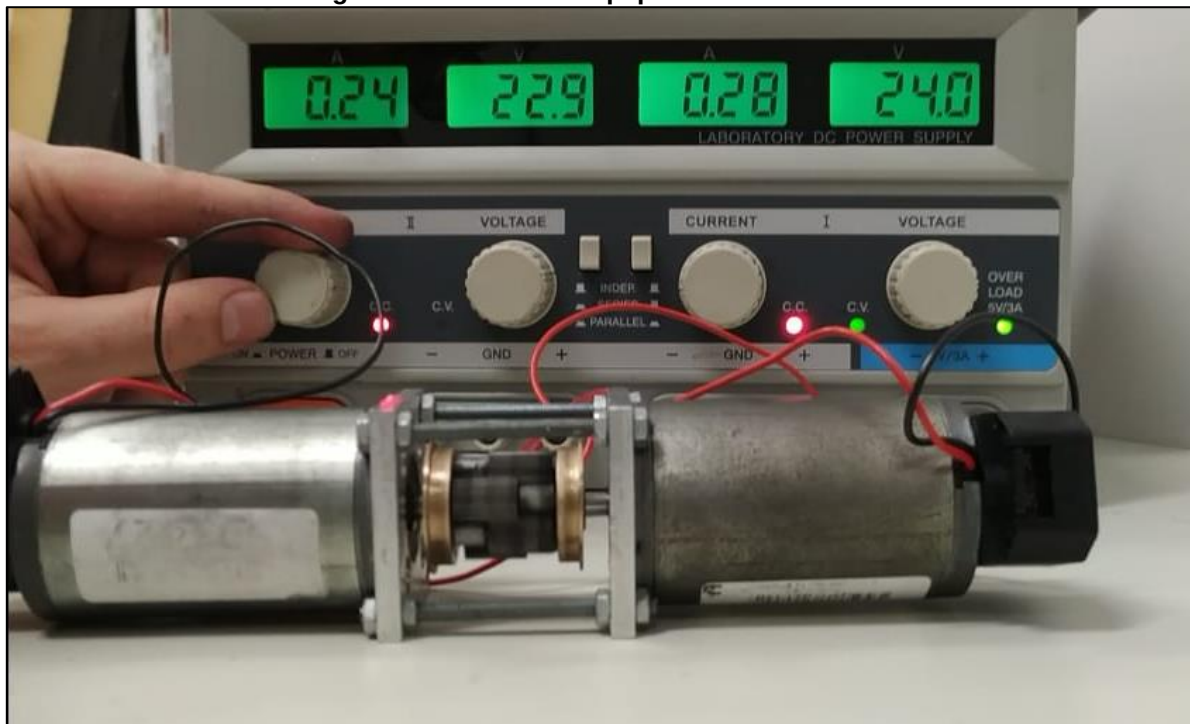
Figura 30: Protótipo após montagem



Fonte: Elaboração própria (2019).

Para os testes de validação da transmissão diferencial, conforme mostra a Figura 31, utilizou-se uma fonte de corrente contínua com dupla saída, ajustável em tensão ou em corrente, para conexão direta aos motores de corrente contínua.

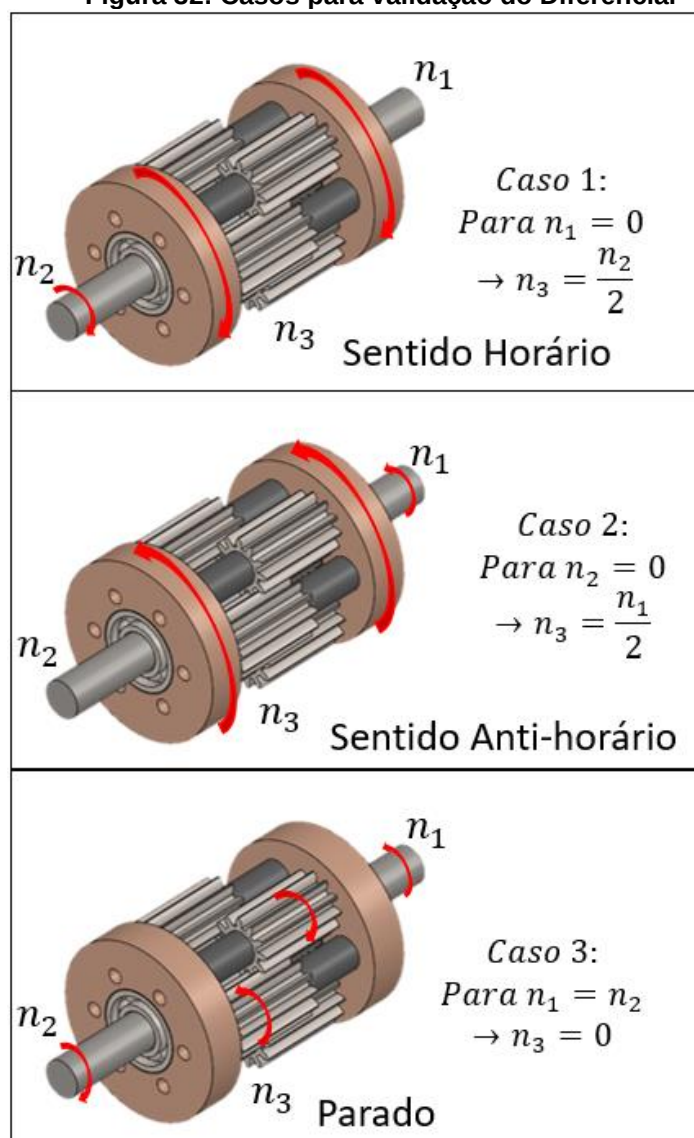
Figura 31: Métodos e equipamentos usados.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Com carga mecânica nula na saída da transmissão diferencial, ou seja, sem o arame, foram ajustadas as saídas da fonte de corrente contínua para os casos 1, 2 e 3, Figura 32. O objetivo deste experimento inicial foi o de validar a relação de velocidade entre as entradas e saída da transmissão diferencial, conforme a Equação 3.

Figura 32: Casos para validação do Diferencial



Fonte: Elaboração própria (2019).

4.2 Acionamento

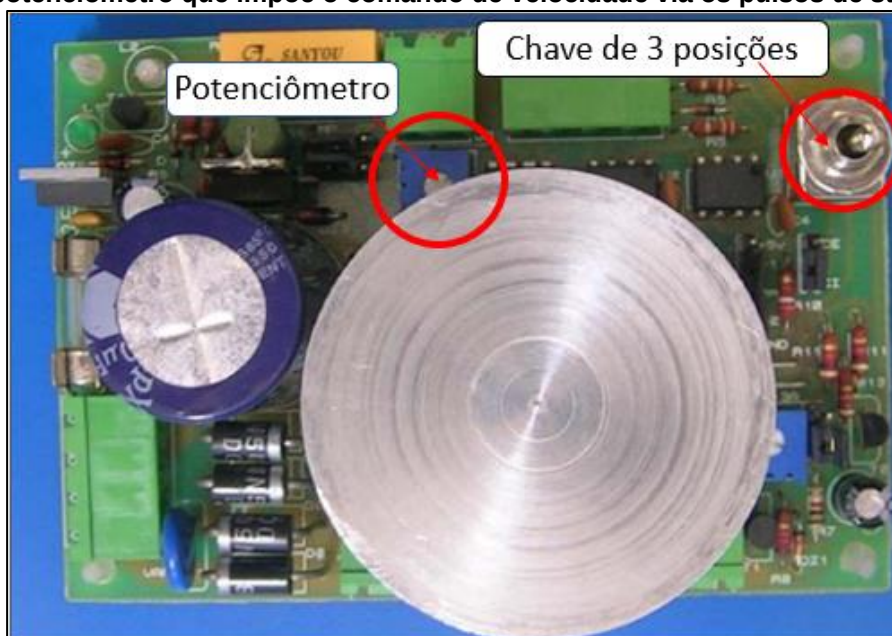
Durante os testes iniciais, o qual propunha-se utilizar a diferença de velocidade para acionar os motores com o drive em corrente, notou-se que devido a entrada n_2 atuar na saída n_3 e também na outra entrada n_1 e vice-versa. ou seja, as entradas não são independentes em função da transmissão por engrenagens ser do tipo bidirecional.

Quando a comutação dos motores é externa, isso não é problema, porque se consegue impor velocidades diferentes nas entradas sem mudar os respectivos sentidos de rotação. Assim, os motores de passo, DC sem escovas e os AC síncronos operam sem problemas na transmissão diferencial. Entretanto, os motores DC com

escovas não conseguem operar porque a comutação da corrente é função da própria posição do rotor, é interna ao motor via seu comutador.

Sendo assim, para funcionar o mecanismo acionou-se os dois motores DC como se fosse um motor de passo. O acionamento foi realizado no modo corrente com o valor setado em 1 A, alternando de a corrente entre +1 A para -1 A e vice-versa em função do comando step. Foi usado o comando interno do *driver* o qual a partir de uma chave alavanca de três posições e o potenciômetro interno do *driver* altera a frequência dos pulsos de step como mostrado na Figura 33.

Figura 33: Driver de motor de passo com chave alavanca que dá o sentido de giro e o potenciômetro que impõe o comando de velocidade via os pulsos de step



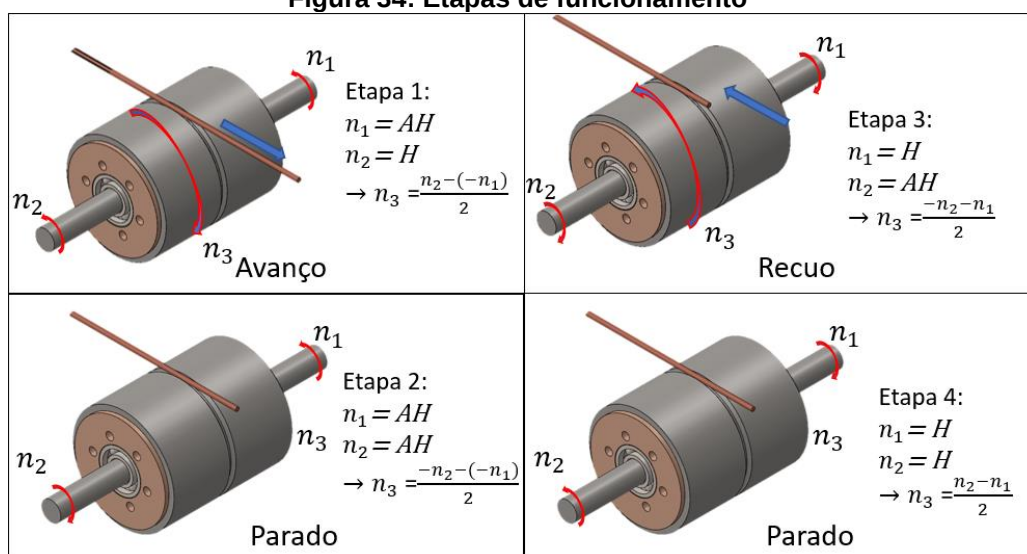
Fonte: Elaboração própria (2019).

Sendo assim, utilizou-se o *driver* com comando tipo passo completo, com a sequência dos acionamentos das bobinas dos motores n_1 e n_2 em 4 etapas de funcionamento:

- Etapa 1: O motor n_1 gira no sentido anti-horário e n_2 no sentido horário, conforme a imagem superior esquerda da Figura 34. Corresponde ao aumento da velocidade n_3 do sentido horário (avanço do arame) até estabilizar no valor máximo de velocidade, com a possibilidade de manter por algum tempo o arame avançando;
- Etapa 2: O motor n_1 e n_2 giram no sentido anti-horário, conforme a imagem inferior esquerda da Figura 34. Correspondendo a redução

- da velocidade n_3 do sentido horário (avanço do arame) até parar com a possibilidade de manter por algum tempo o arame parado ($n_3=0$);
- Etapa 3: O motor n_1 gira no sentido horário e n_2 no sentido anti-horário, conforme a imagem superior direita da Figura 34. Correspondendo ao aumento da velocidade n_3 do sentido anti-horário (recoo do arame) até estabilizar no valor máximo desta velocidade n_3 com a possibilidade de manter por algum tempo o arame recuando;
 - Etapa 4: O motor n_1 e n_2 giram no sentido horário, conforme a imagem inferior direita da Figura 34. Correspondendo a redução da velocidade n_3 do sentido anti-horário (recoo do arame) até parar com a possibilidade de manter por algum tempo o arame parado ($n_3=0$);

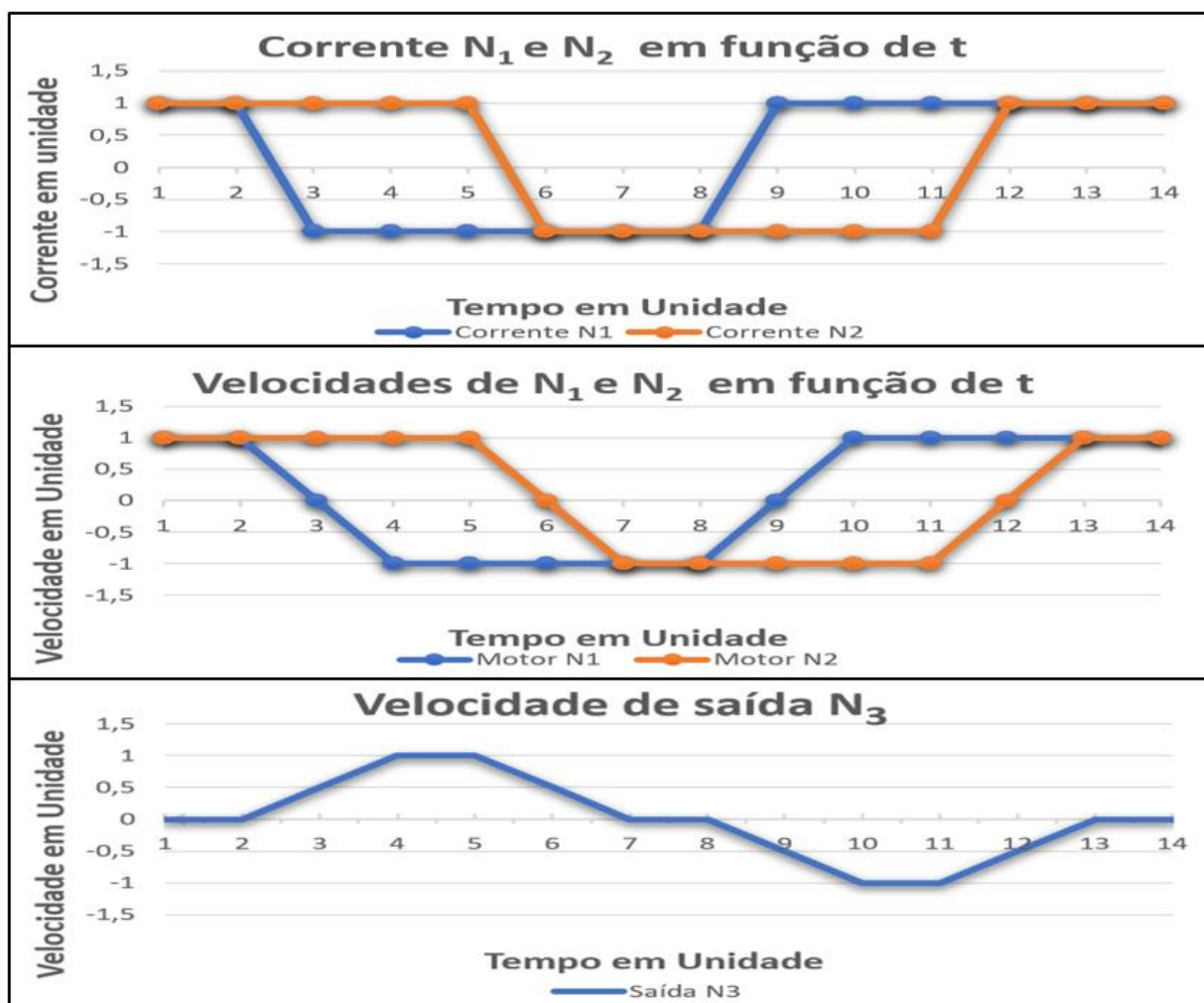
Figura 34: Etapas de funcionamento



Fonte: Elaboração própria (2019).

Sendo assim, para cada etapa o *driver* precisa acionar o sentido da rotação dos motores n_1 e n_2 a partir da corrente imposta, os gráficos de acionamento estão mostrados na Figura 35.

Figura 35: Gráficos descrevendo o comportamento de n_3 em relação n_1 , n_2 e suas respectivas correntes

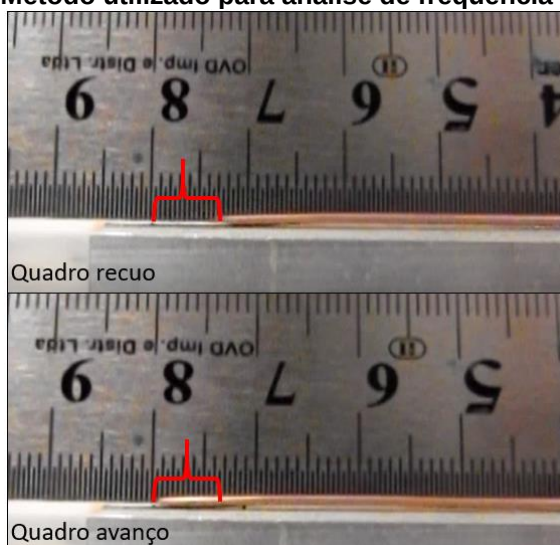


Fonte: Elaboração própria (2019).

4.3 Testes Funcionais

Os testes funcionais tiveram o intuito de verificar as frequências máximas e as amplitudes de oscilação do sistema. O método utilizado para análise foi a utilização de uma câmera com frequência de aquisição de 120 Hz. A partir dos quadros de vídeo calculou-se o tempo de avanço e recuo do arame, e através da escala métrica de 0,5 mm, a amplitude, Figura 37. Para as frequências acima de 45 Hz, com intuito de ter uma melhor precisão, o ideal seria uma câmera com captura maior que 120 Hz, assim tendo uma resolução em quadros maior.

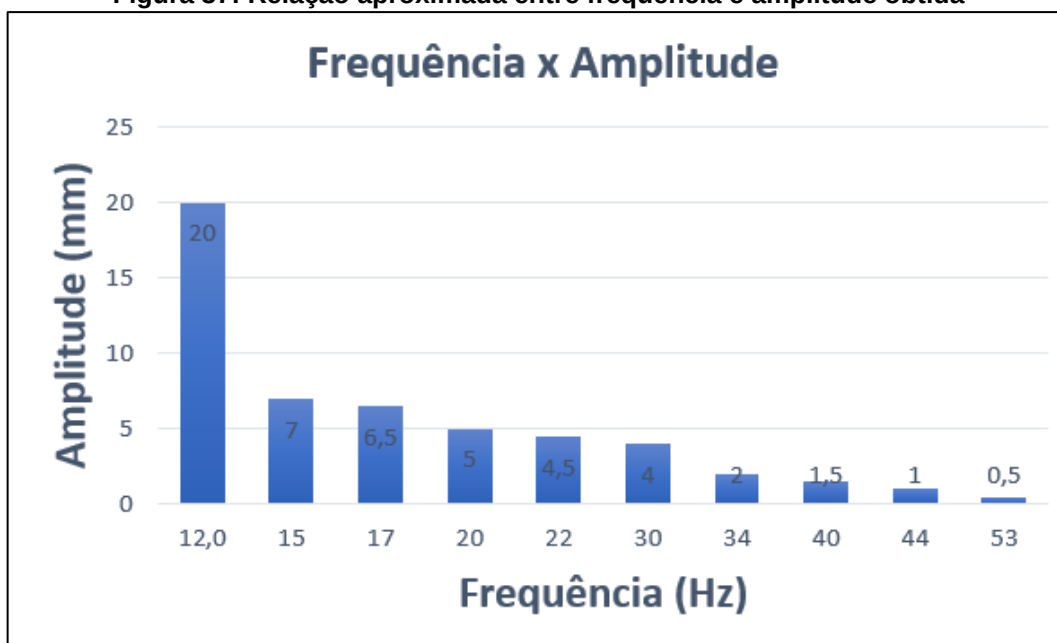
Figura 36: Método utilizado para análise de frequência e amplitude.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Mesmo com esse acionamento não sendo o ideal, por ter que inverter o sentido de rotação de ambos os motores, para inverter o sentido de deslocamento do arame, foi alcançado uma frequência de oscilação próxima aos 55 Hz que é bem superior ao alcançado com motores de passo. Com uma frequência de 22 Hz se tem uma amplitude de aproximadamente 4,5 mm, o que já seria usual para o GTAW. Na Figura 37 mostra a relação aproximada de cada amplitude de oscilação alcançada de acordo com a frequência de oscilação do arame.

Figura 37: Relação aproximada entre frequência e amplitude obtida



Fonte: Elaboração própria (2019).

5 CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi descrito o desenvolvimento de um sistema de alimentação oscilatória do arame para processos de soldagem a arco, tendo como objetivo, obter frequências de alimentação do arame iguais ou superiores aos já desenvolvidos.

A implementação da parte mecânica, como proposto, era tornar o sistema mais rígido e com menores folgas. A partir do uso de softwares para a modelagem e máquinas CNC, obteve-se os resultados esperados, visto que durante o funcionamento, os ruídos e vibrações foram mínimos.

A proposta de acionamento inicial, utilizando o diferencial de velocidades, proporcionaria possivelmente uma frequência maior do que a obtida, porém, devido as características de acionamento do motor de corrente contínua com escovas, não foi possível utilizar. Porém mesmo utilizando um acionamento não ideal, se obteve resultados bastante interessantes e significativos aos quais se assemelham as pesquisas anteriores. Conseguiu-se chegar a uma frequência próxima de 53 Hz, porém com uma amplitude de oscilação próxima de 0,5 mm. Já os resultados a uma frequência de 22 Hz, alcançaram uma amplitude de oscilação de 4,5 mm, o qual, pode-se utilizar para processos de soldagem de GTAW por exemplo.

As vantagens desse projeto além de se ter obtido resultados bastante significativos, é que se pode dar continuidade a pesquisa. Buscando implementar o uso de uma malha fechada de posição para cada motor via encoder, ou utilizando tecnologias de acionamento das quais a comutação dos motores seja externa, como os motores DC sem escova e motores AC. Fazendo essas alterações estima-se que podem chegar a frequências muito além do estabelecido, visto que no modo de acionamento dos motores de corrente contínua com escovas neste projeto, se perdeu muita dinâmica com as inversões de velocidades dos motores de corrente contínua.

6 REFERÊNCIAS

HUISMANN, G.; HENECKE, P. & HUTCHISON, R. M. **Method and apparatus for feeding wire to a welding arc**. Patent US 7165707 B2, 2008.

FRONIUS. **CMT**. Disponível em: <<http://www.fronius.com/en/downloads>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

FRONIUS. **PullMig CMT: Operating instructions**. Disponível em: <<http://www.fronius.com/en/downloads>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

SCOTTI, A. **Soldagem MIG/MAG: Melhor entendimento, melhor desempenho**. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2008.

MARQUES, C. **Análise de técnicas e efeitos físicos da alimentação dinâmica do arame do processo de soldagem MIG/MAG com vistas ao desenvolvimento de um sistema flexível nacional**. 2017. 210 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, DANIEL. PARTE 1. *In*: SOUZA, Daniel. **Levantamento de mapas operacionais de transferência metálica para soldagem MIG/MAG de aço ao carbono na posição plana**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

SAUL, RENATO DA SILVA. **DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE SOLDAGEM PLASMA-KEYHOLE – MAG EM TANDEM**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, CURITIBA, 2012.

JORGE, V. et al. **Desenvolvimento e avaliação de técnicas para pulsação da alimentação de arame em soldagem a arco**. Soldagem e Inspeção, agosto 2018. Uberlândia MG.

TIP TIG USA Commercial. Disponível em:
<<https://video.search.yahoo.com/yhs/search?fr=yhs-btbar-002&hsimp=yhs->

002&hspart=btbar&p=TIP+TIG+USA#id=1&vid=6fcdf89ffad6bb3efd85bb471a082fcf&action=click>. Acesso em: 20 agosto 2018.

VOLKER, S. et al. **Proposta de um sistema de transmissão diferencial de velocidades para alimentação oscilatória do material de adição na soldagem**, XLIVCONSOLDA, Congresso nacional de soldagem, setembro de 2018, Uberlândia MG.

FONTES, Cleber. **Apostila de Soldagem MIG/MAG**. [S. l.], 2005. Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev1_apostilasoldagemmigmag_nova.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SCOTTI, A.; PONOMAREV, V.; NORRISH J.; LUCAS, W. **Metal Transfer Modes in MIG/MAG (GMAW) Welding**: Contributionsto a New IIW Classification. IIW Doc. XII-1960-09, 2009.

Da SILVA, E. F.; MACEDO Jr., J. R.; SCOTTI, A.; De OLIVEIRA, J. C. **Power quality analysis of Gas Metal Arc Welding process operating under different drop transfer modes**. XI Brazilian Power Electronics Conference, setembro de 2011, Natal RN.

SARTORI, Francisco; BARBOSA, Rafael Costa; E SILVA, Régis Henrique Gonçalves. **Análise e comparação de versões do processo mig/mag em transferência curto circuito com controle de corrente para soldagem de raiz em tubos com sistema mecanizado**. In: 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 2015, Curitiba. **anais** [...]. 8 PDPETRO: [s. n.], 2015.

ESAB, Processos de Soldagem - TIG (GTAW). Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm. Acesso em: 14 jun. 2019.

APPLIED MOTION PRODUCTS. **ST5-10 QSi hardware manual 920-0004F: Torque-Speed Curves**. Catalog. 2014. USA: Watsonville 52 p.

BONACORSO, N. G.; VOLKER, S.; SCHIAVI, R. C. M. **Sistema de transmissão de velocidades e método de acionamento**. INPI BR 1020180034219, 2018

BONACORSO, N. G.; NOLL V.; GEVAERD, B. M. **Desenvolvimento de um driver de corrente didático para acionamento de motores de passo aplicados ao ensino de eletrônica de potência e mecatrônica**. Eletrônica de Potência (Impresso), v.1, p.1-7, 2008.

ANDRADE SÓ, Augusto C., **Aumento da Confiabilidade Através de Técnicas Preditivas em Redutores Planetários com Baixa Rotação de Saída**, Araraquara, Power Motion do Brasil Ltda., 2009.

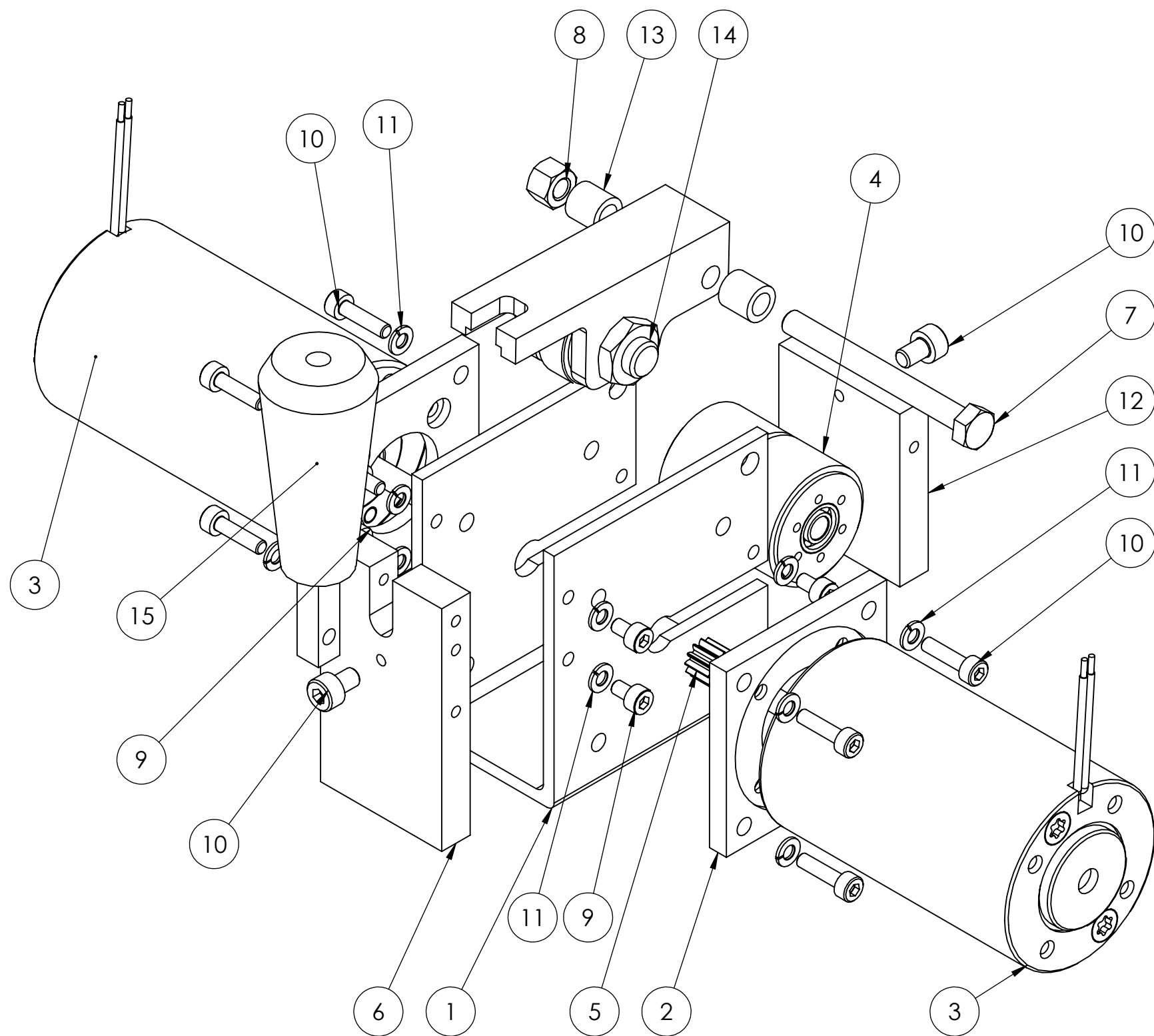
REDUTOR planetário - Neugart do Brasil. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.neugart.com/pt-br/know-how/redutor-planetario/>. Acesso em: 23 jun. 2019.

PARKER AUTOMATION. **TECNOLOGIA ELETROMECHANICA**. Apostila 1600.231.01 BR. Apostila, 2003 Brasil: Jacareí 60p.

WEMAN, K. **Uma História da Soldagem**. Solução. Contagem-MG, v.3, n.1, p.30-33, abr./mai. 2005. WeldGuru. **GMAW - MIG Welding History**. Disponível em: <https://weldguru.com/OLDSITE/mig-welding-history.html>. Acesso em: 16 jul. 2019.

Silva RHG, Paes LES, Okuyama MP, Sousa GL, Viviani AB, Cirino LM, et al. **TIG welding process with dynamic feeding: a characterization approach**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018;96(9-12):4467-4475. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-018-1929-6>. Acesso em: 14 jun. 2019.

APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO PROJETO MECÂNICO



VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA

Nº DO ITEM	QTD.	DESCRIÇÃO	/MATERIAL
1	1	ESTRUTURA	ALUMÍNIO 6010
2	2	SUPORE MOTOR	ALUMÍNIO 6010
3	2	MOTOR DC GR42X25 - 8842701006	DIVERSOS
4	1	PLANETÁRIO	DIVERSOS
5	2	ENGRENAGEM SOL P0.6 Z12 5MM	AÇO INOX 614
6	1	TAMPA FRONTAL	ALUMÍNIO 6010
7	1	PARAFUSO ALLEN M5X50X50 ISO 4762	AÇO 1020
8	1	PORCA M5 ISO 4034	AÇO 1020
9	6	PARAFUSO ALLEN M3X10X10 ISO 4762	AÇO 1020
10	10	PARAFUSO ALLEN M4X25X25 ISO 4762	AÇO 1020
11	14	ARRUELA DE PRESSÃO DIN 128 A3	AÇO 1020
12	1	TAMPA TRASEIRA	ALUMÍNIO 6010
13	2	ACABAMENTO TENSIONADOR	ALUMÍNIO 6010
14	1	SISTEMA TENSIONADOR	DIVERSOS
15	1	MANIPULO	DIVERSOS

Montagem Oscilador

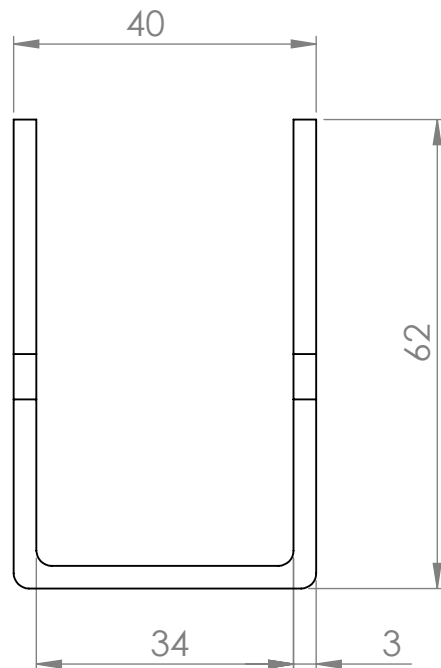


Trabalho de Conclusão de Curso
Aluno: Volnei Resena Junior
Data: 16/06/2019

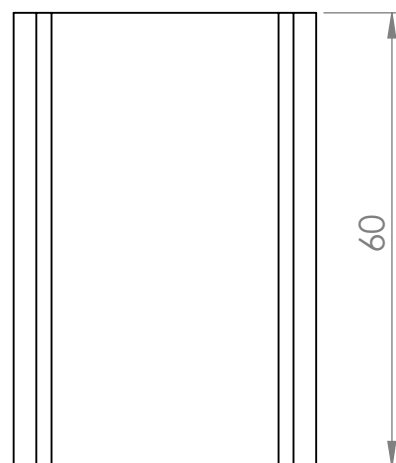
DAMM: Departamento Acadêmico de Metal Mecânica Curso: Engenharia Mecatrônica

Turma: 2013-2

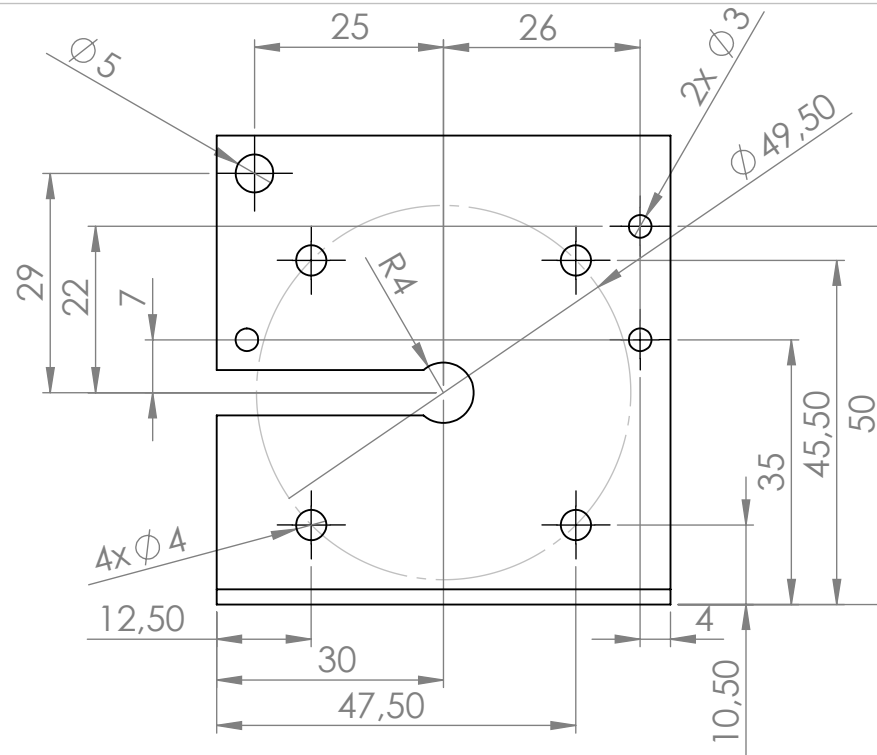
Folha Nº: A3 Esc.: 1:1



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL

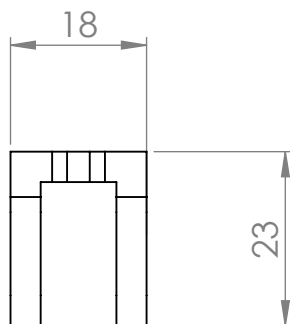
ESTRUTURA



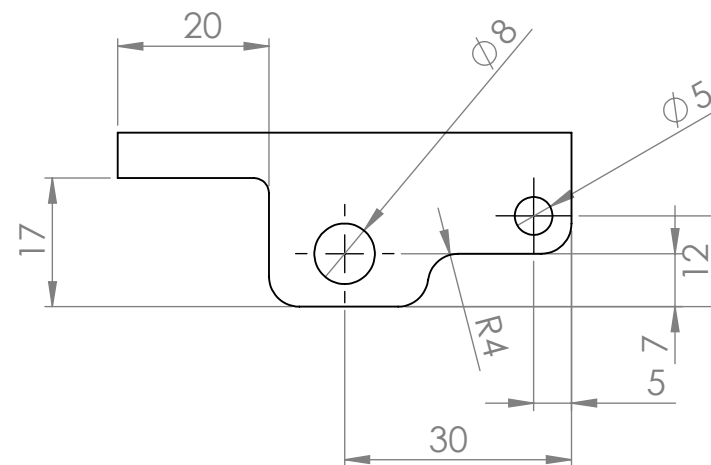
Trabalho de Conclusão de Curso

Aluno: VOLNEI RESENA JUNIOR

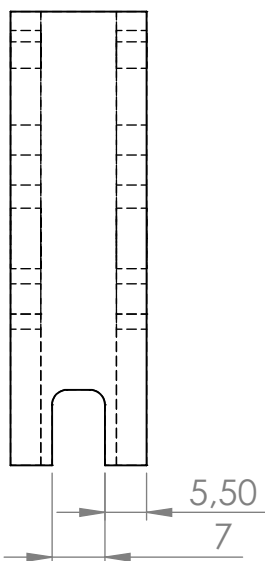
Data: 15/04/2019



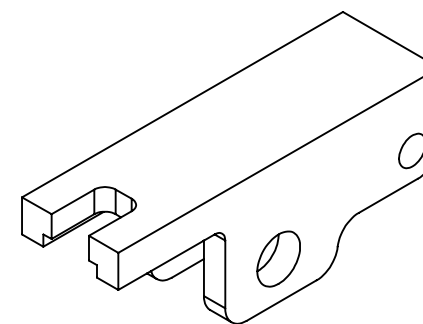
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA

SUORTE ROLAMENTO



Trabalho de Conclusão de Curso

Aluno: Volnei Resena Junior

Data: 29/04/2019

DAMM: Departamento Acadêmico de Metal Mecânica

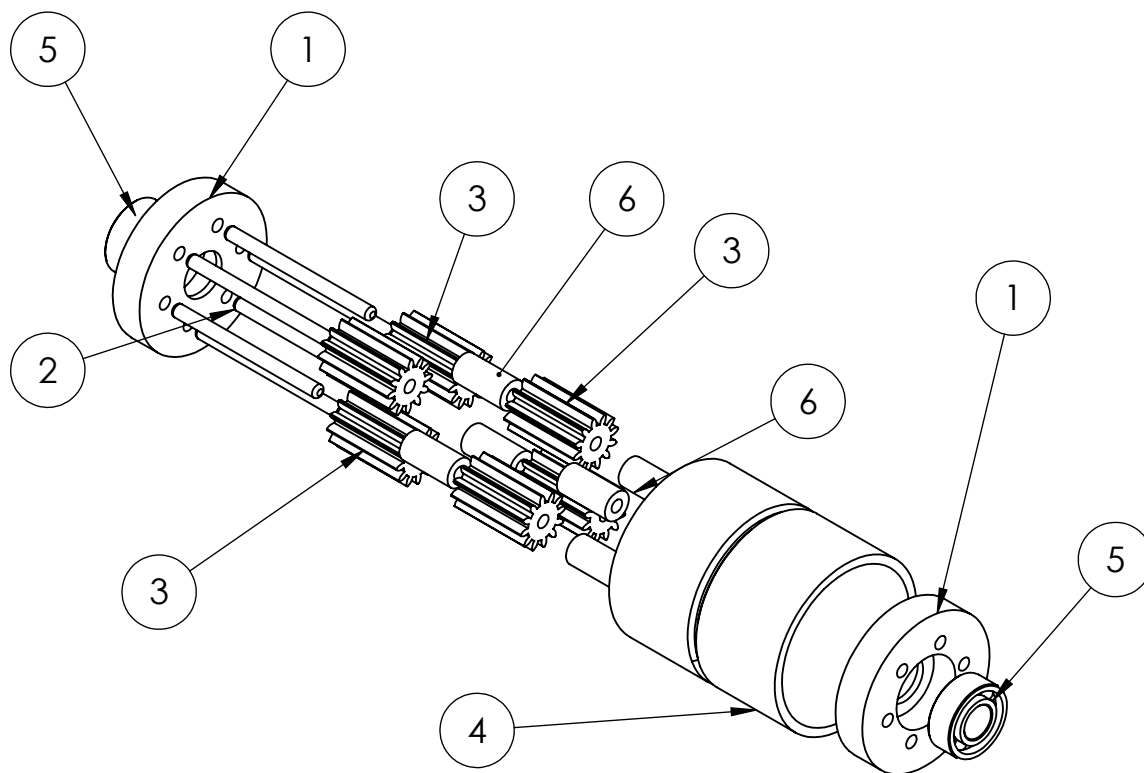
Curso: Engenharia Mecatrônica

Turma: 2013-2

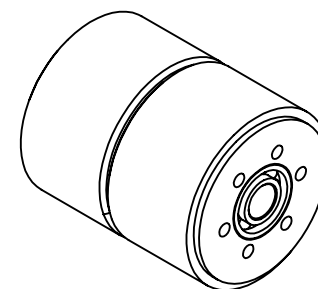
Folha Nº:

A4

Esc.: 1:1



VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA



VISTA ISOMÉTRICA

Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.	MATERIAL
1	TAMPA DO TAMBOR	2	BRONZE
2	EIXO SATÉLITE	6	AÇO INOX
3	ENGRENAGEM M0.6 Z12 12MM	6	AÇO INOX
4	TAMBOR	1	AÇO1045
5	ROLAMENTO 1068	2	AÇO INOX
6	SEPARADOR	6	AÇO 1020

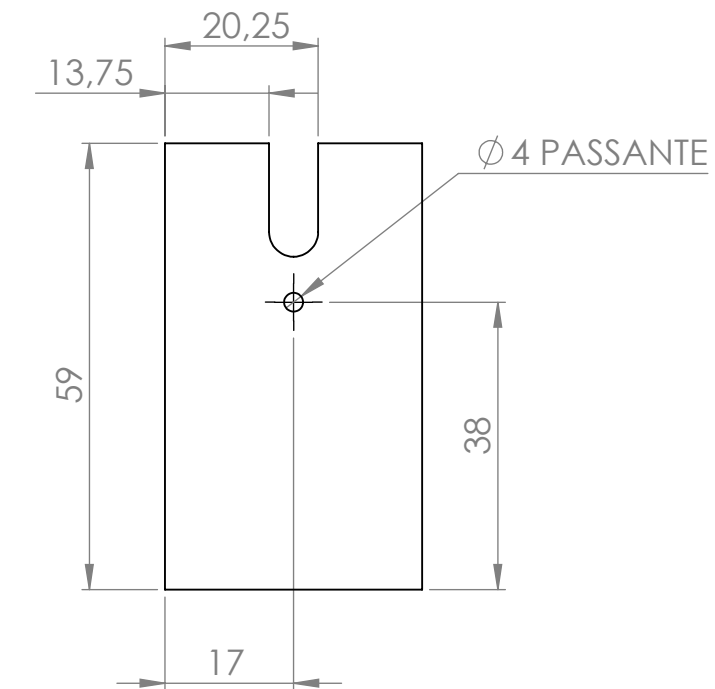
Montagem Planetário



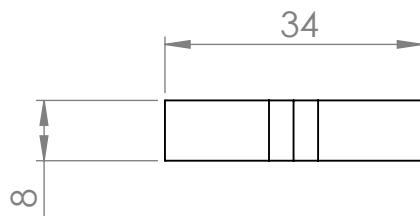
Trabalho de Conclusão de Curso

Aluno: Volnei Resena Junior

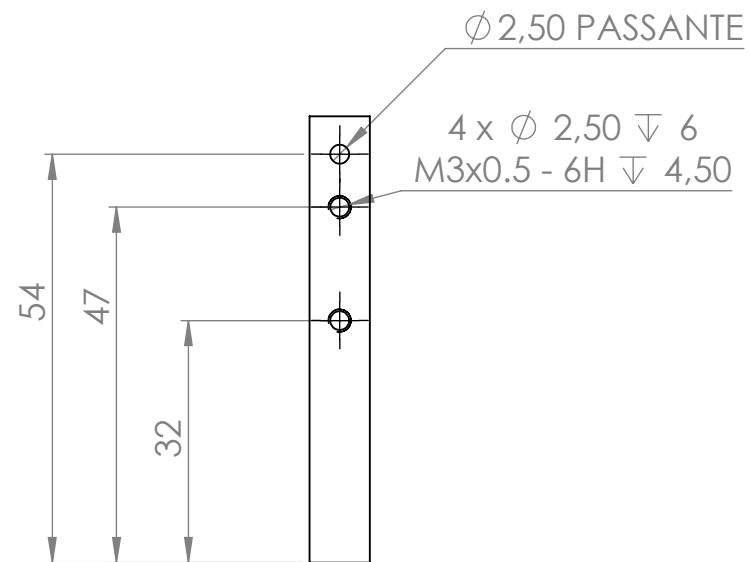
Data: 16/06/2019



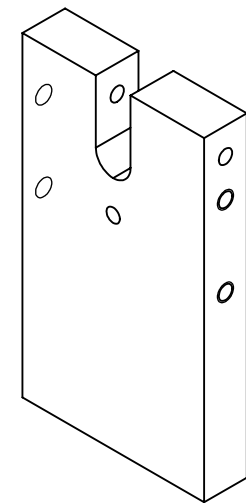
VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



VISTA ISOMÉTRICA

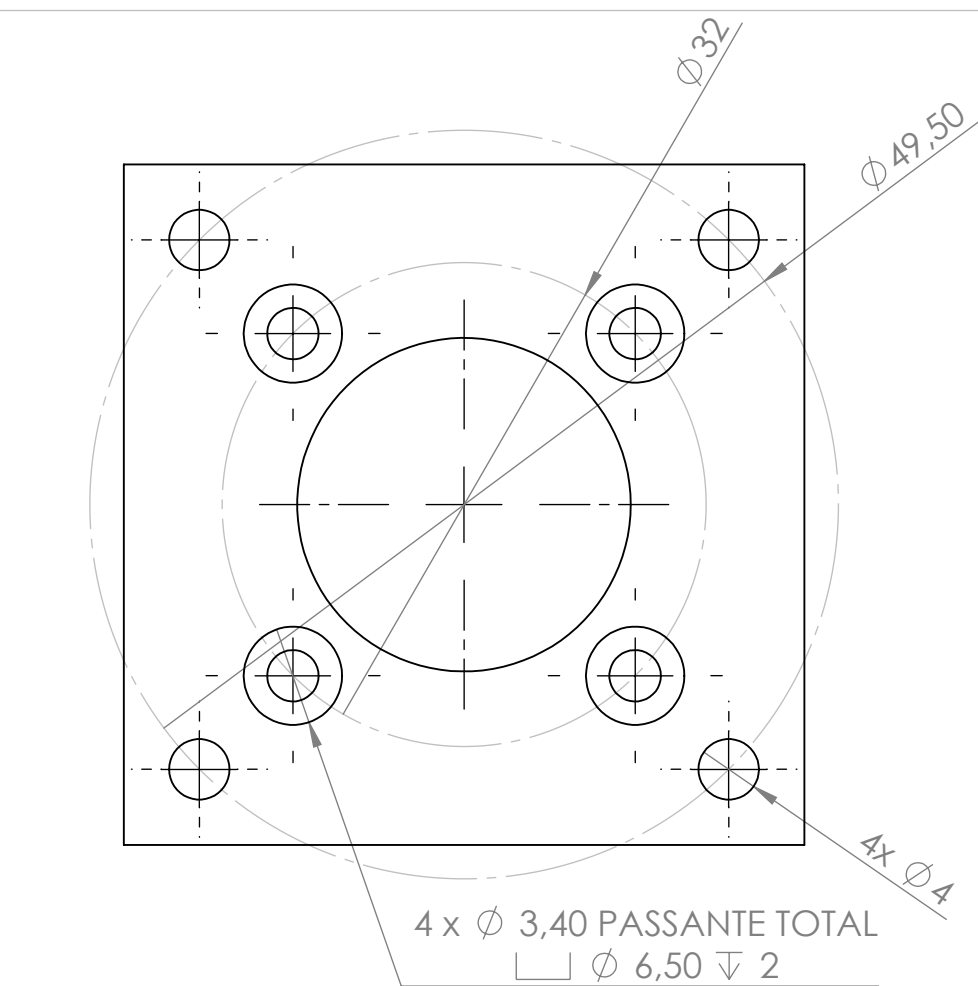
Tampa Frontal



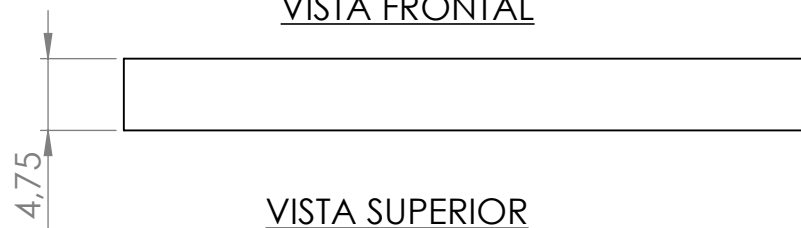
Trabalho de Conclusão de Curso

Aluno: Volnei Resena Junior

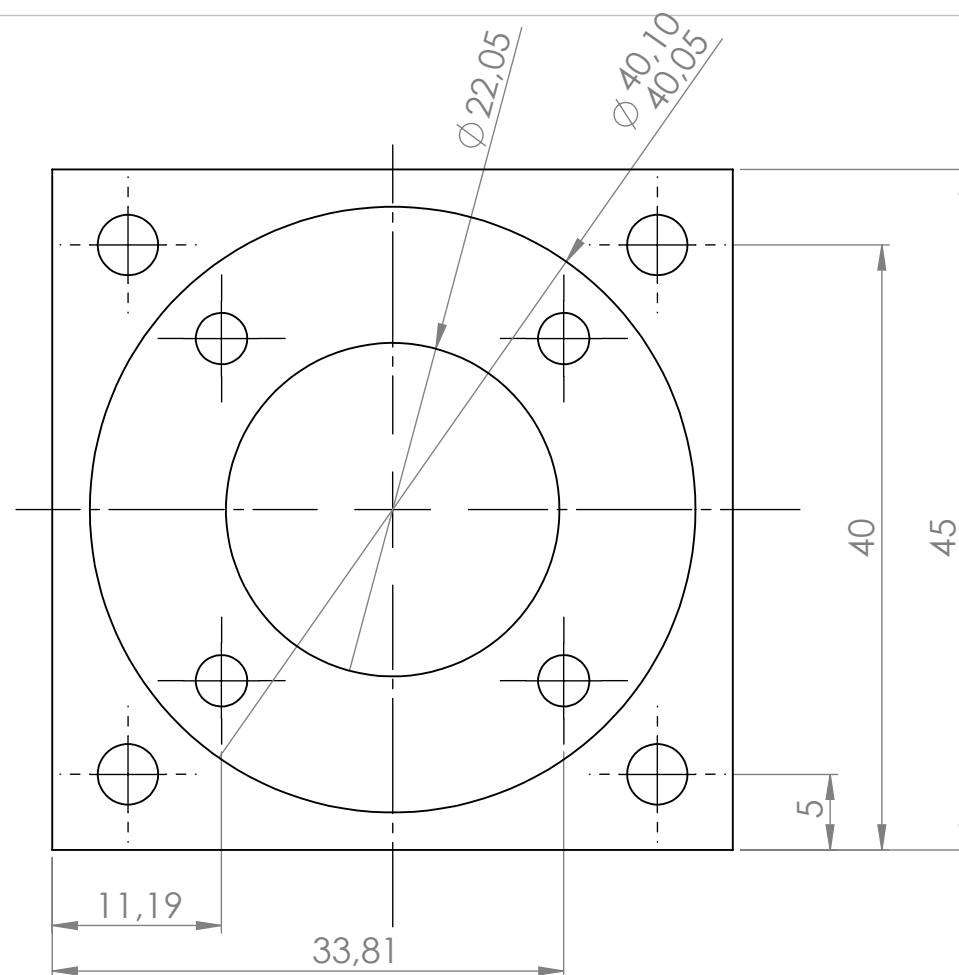
Data: 29/04/2019



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR



VISTA POSTERIOR

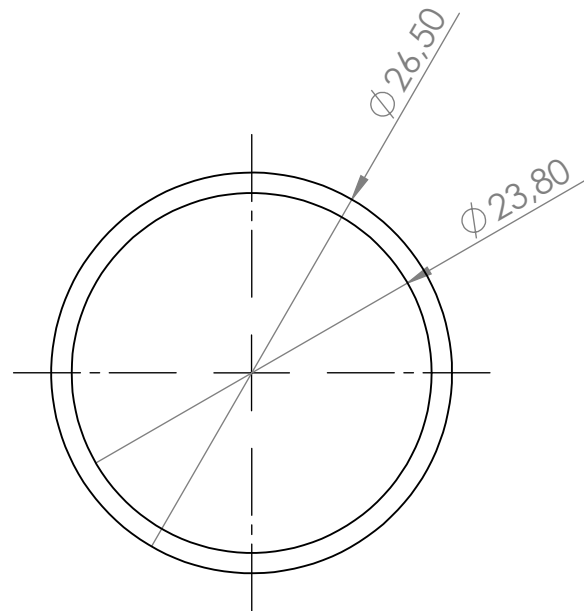
Suporte Motor



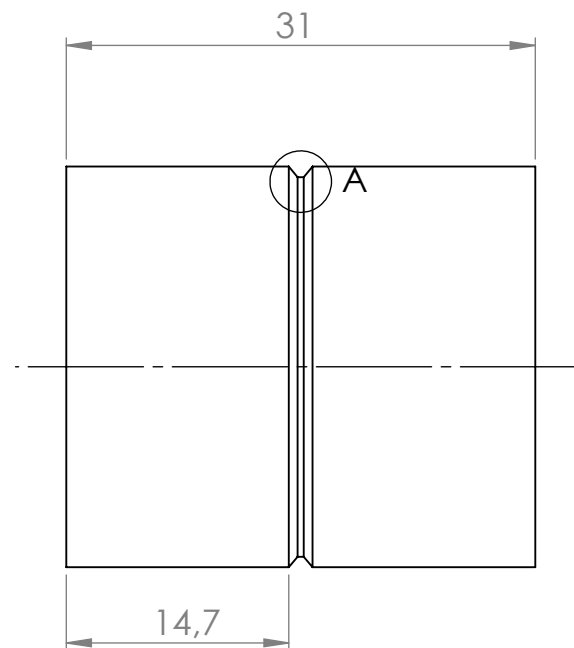
Trabalho de Conclusão de Curso

Aluno: Volnei Resena Junior

Data: 15/04/2019

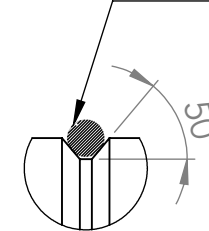


VISTA FRONTAL

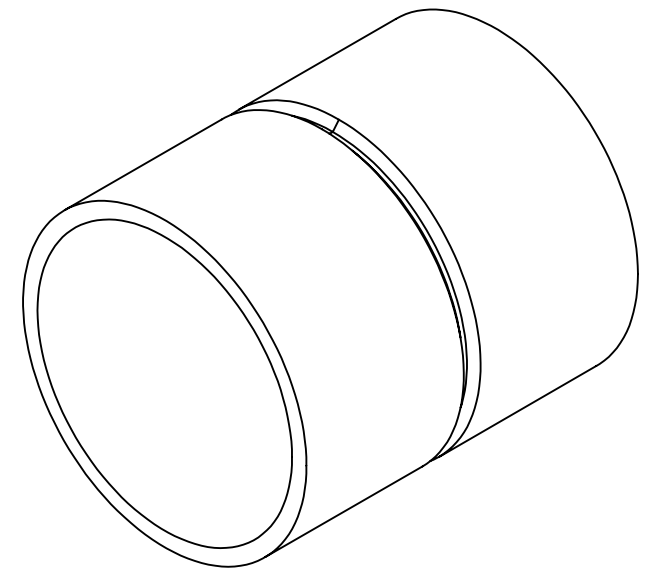


VISTA LATERAL

REPRESENTAÇÃO ARAME
DIÂMETRO 1.2 MM



DETALHE A
ESCALA 4 : 1



VISTA ISOMÉTRICA

Tambor

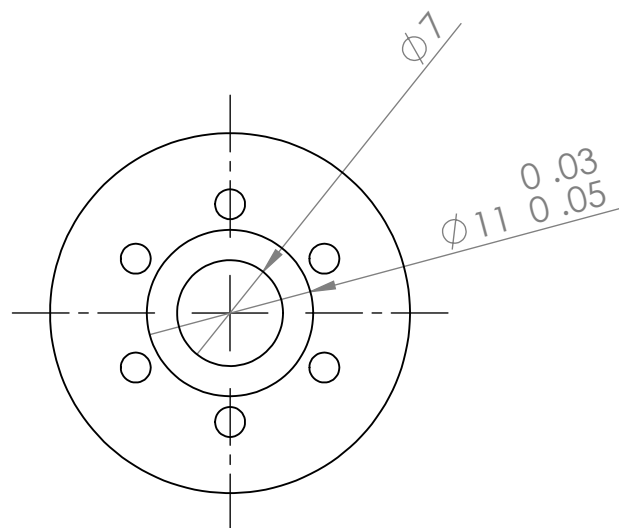


INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

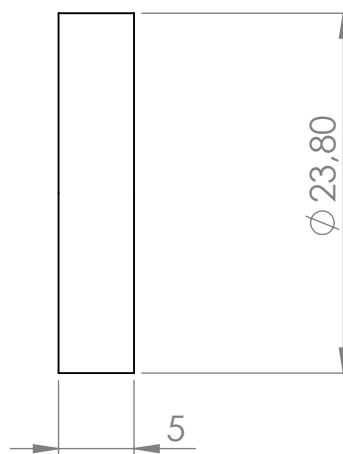
Trabalho de Conclusão de Curso

Autor: Volnei Resena Junior

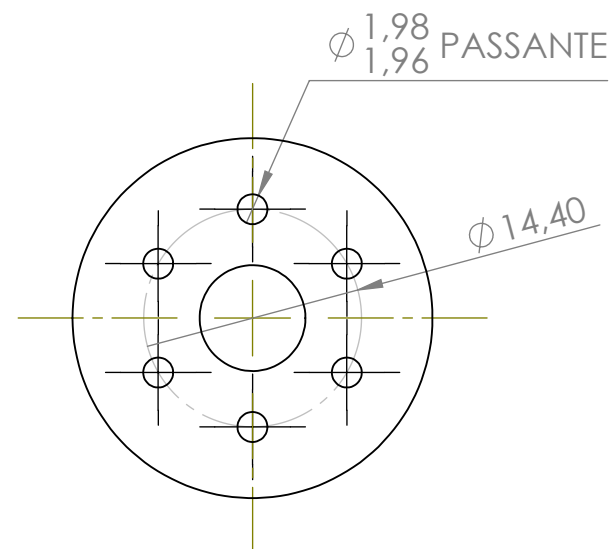
Data: 15/04/2019



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA POSTERIOR

Tampa do Tambor



Trabalho de Conclusão de Curso

Aluno: Volne Resena Junior

Data: 15/04/2019