

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEMEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AERONÁUTICA**

MURILO AQUINO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO ROBÓTICO PARA
INSTALAÇÃO DE ESPAÇADORES EM CABOS DE ALTA
TENSÃO ACOPLADO A UM DRONE.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2021

MURILO AQUINO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO ROBÓTICO PARA
INSTALAÇÃO DE ESPAÇADORES EM CABOS DE ALTA
TENSÃO ACOPLADO A UM DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para a obtenção do título de
graduado em Engenharia Aeronáutica.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Sales Gonçalves

Uberlândia – MG

2021

MURILO AQUINO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO ROBÓTICO PARA
INSTALAÇÃO DE ESPAÇADORES EM CABOS DE ALTA
TENSÃO ACOPLADO A UM DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para a obtenção do título de
graduado em Engenharia Aeronáutica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Sales Gonçalves

Prof. Dr. Odenir de Almeida

Eng. Aeron. Lohanna Ferreira Paiva

Uberlândia, 10 de Novembro de 2021

Dedico este trabalho aos que me apoiaram para chegar até aqui: à minha família, pelo amor e carinho, aos professores pelos ensinamentos e dedicação, e aos meus amigos, pelo companheirismo e bons momentos juntos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Rogério Sales Gonçalves, orientador deste e outros projetos que ocorreram durante minha graduação, por confiar na minha capacidade, pelos ensinamentos, compreensão, companheirismo e motivação. Sem o senhor, não teria chegado até aqui

Agradeço aos meus amigos da Universidade Federal de Uberlândia pelo auxílio e bons momentos passados juntos ao longo de nossa graduação, sem vocês eu não chegaria até aqui.

Finalmente, agradeço também aos meus familiares pelo amor e apoio ofertados nos momentos mais difíceis.

"Not all of those who wander are lost"

J.R.R. Tolkien

OLIVEIRA, Murilo Aquino. **DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO ROBÓTICO PARA INSTALAÇÃO DE ESPAÇADORES EM CABOS DE ALTA TENSÃO ACOPLADO A UM DRONE.** 2021. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

RESUMO

O presente projeto refere-se ao desenvolvimento de um módulo robótico acoplado a um drone para instalar espaçadores. Os espaçadores são elementos utilizados entre vários cabos do sistema de distribuição de energia para manter estes espaçados. O VANT levará o módulo robótico até o cabo, deixará este módulo robótico para a partir da utilização de um rádio controle deslocar-se, se necessário, e instalar/desinstalar o espaçador. Após a finalização do procedimento o drone busca o módulo robótico retornando-o para a estação em solo para repetir a operação se necessário. Este drone-robô visa a diminuição de riscos para os técnicos que realizam estas operações escalando as torres e locomovendo-se nos cabos ou mesmos suspensos em uma plataforma fixa a um helicóptero.

Palavras-chave: Modulo Robótico, Drone, Cabos de Alta Tensão, Espaçador.

OLIVEIRA, Murilo Aquino. **DEVELOPMENT OF A ROBOTIC MODULE FOR INSTALLATION OF SPACERS IN HIGH VOLTAGE CABLES COUPLED TO A DRONE**. 2021. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

ABSTRACT

This project refers to the development of a robotic module coupled to a drone to install spacers. Spacers are elements used between various cables of the power distribution system to keep these spaced apart. The UAV will take the robotic module to the cable, let this robotic module to move, using a radio control, if necessary, and install/uninstall the spacer. After completing the procedure, the drone searches for the robotic module, returning it to the ground station to repeat the operation if necessary. This drone-robot aims to reduce risks for technicians who carry out these operations by climbing the towers and moving on cables or even suspended from a platform fixed to a helicopter.

Keywords: Robotic Module, Drone, High Voltage Cable, Spacer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Substituição manual de um espaçador de dois cabos	14
Figura 2 – Técnicos escalando torre de alta tensão	14
Figura 3 – Técnico fazendo a instalação de espaçador com auxílio de helicóptero	15
Figura 4 – Técnico utilizando ferramenta rebitadora	16
Figura 5 – Ideia inicial do modulo robótico.....	17
Figura 6 – Espaçador para dois cabos	20
Figura 7 – Ideia inicial de espaçador para dois cabos com buchas	21
Figura 8 – Ideia inicial de espaçador para dois cabos fechado	22
Figura 9 – Ideia inicial de espaçador para dois cabos aberto	22
Figura 10 – Ideia inicial de espaçador para três cabos fechado	23
Figura 11 – Substituição manual de um espaçador de dois cabos	23
Figura 12 – Mecanismo articulado para espaçador de dois cabos	24
Figura 13 – Mecanismo articulado para espaçador de dois cabos com peças deslizantes acopladas	24
Figura 14 – Espaçador para dois cabos	25
Figura 15 – Vista superior do protótipo de espaçador para dois cabos	26
Figura 16 – Vista frontal do protótipo de espaçador para dois cabos	26
Figura 17 – Espaçador para três cabos aberto, fechado e mecanismo articulado do mesmo.....	27
Figura 18 – Vista isométrica do protótipo de espaçador para três cabos	28
Figura 19 – Espaçador para quatro cabos aberto e fechado	29
Figura 20 – Mecanismo articulado para espaçador de quatro cabos	29
Figura 21 – Protótipo de espaçador para quatro cabos modificado	30
Figura 22 – Visão geral do modulo robótico com espaçador acoplado	31
Figura 23 – Vista frontal da roda e respectivo servomotor	32
Figura 24 – Vista isométrica da roda	32
Figura 25 – Protótipo robótico Expliner	33
Figura 26 – Visão geral do modulo robótico com espaçador acoplado	34
Figura 27 – Mecanismo de posicionamento dos espaçadores	35
Figura 28 – Parafusadeira CHEVROLET-GM3401.....	35
Figura 29 – Mecanismo para agarrar os espaçadores	37
Figura 30 – Dynamixel XM540-W270 T/R.....	37

Figura 32 – Soquete universal	38
Figura 33 – Vista do modulo robótico com espaçador acoplado posicionado sobre os cabos	39
Figura 34 – Vista isométrica do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG.....	40
Figura 35 – Vista lateral e frontal do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG.....	41
Figura 36 – Vista isométrica do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 1.....	41
Figura 37 – Vista lateral e frontal do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 1	42
Figura 38 – Vista isométrica do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 2.....	42
Figura 39 – Vista frontal e lateral do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 2.....	43
Figura 40 – Vista isométrica do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 3.....	43
Figura 41 – Vista isométrica do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 3.....	44
Figura 42 – Vista lateral do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG antes e depois do passo 4	44
Figura 43 – Vista isométrica do modulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 4.....	45
Figura 44 – Vista do modulo robótico com foco no mecanismo de agarra antes do passo 4	45
Figura 45 – Vista do modulo robótico com foco no mecanismo de agarra depois do passo 4	46
Figura 46 – Nomenclatura das variáveis de um parafuso.....	47
Figura 47 – Variáveis de um parafuso autotravante e distribuição de forças	48
Figura 48 – Diagrama de força para elevar a carga na esquerda e para descer a carga na direita.....	49
Figura 49 – Vista superior e lateral com dimensões dos fusos autotravantes	50
Figura 50 – Diagrama de Forças	50

Figura 51 – Drone EFT E-610.....	51
Figura 52 – Print da propriedade de massa do módulo robótico no Solidworks	52
Figura 53 – Drone EFT E-610 fechado	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CG	Centro de Gravidade
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
PLA	Ácido Poliláctico
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	19
3. DESENVOLVIMENTO	20
3.1 ESPAÇADORES	20
3.1.1 PRIMEIRO MODELO	23
3.1.2 SEGUNDO MODELO.....	26
4. MODULO ROBOTICO.....	34
5. OPERAÇÃO	42
5.1 ETAPA 1 – APROXIMAÇÃO.....	42
5.2 ETAPA 2 – INSTALAÇÃO.....	43
5.3 REMOÇÃO DO MODULO ROBOTICO	50
6. CÁLCULOS.....	51
6.1. FUSO AUTOTRAVANTE.....	51
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

A transmissão de energia elétrica a grandes distâncias é realizada a partir de cabos (linhas) de transmissão de alta tensão (até 750kV) que ligam a fonte geradora a uma carga consumidora, geralmente de corrente alternada a 60Hz. Quando a transmissão utilizada é acima de 138KV é necessária a utilização de diversos cabos para mitigar o problema da descarga por efeito corona. Este efeito corona acontece quando o gradiente de campo magnético é tão alto que é capaz de ionizar e criar descargas em torno do condutor devido ao rompimento da capacidade dielétrica do ar, além da produção de ondas de rádio e ruídos. O efeito corona provoca perdas elétricas no sistema e pode provocar interferência em equipamentos eletrônicos nas proximidades.

A condução de energia elétrica é feita por diversos cabos para aumentar o valor da corrente elétrica capaz de ser transmitida na linha, pois devido ao efeito chamado "skin effect", que é a tendência dos elétrons de se concentrar na superfície externa dos cabos, aumentando a resistência do mesmo, e causando uma grande elevação de temperatura. Para evitar o contato entre os cabos são utilizados espaçadores. Geralmente são utilizados dois, três ou quatro cabos, mas existem aplicações em menores escalas de seis e oito cabos. Os espaçadores devem resistir a ação dos ventos evitando a colisão dos cabos entre si e resistir as forças eletromagnéticas evitando-se o curto-circuito entre os cabos. São instalados diversos espaçadores entre os postes/torres de transmissão sendo sua quantidade determinados em normas específicas para cada País.

A instalação dos espaçadores é necessária quando há construção de novas linhas de transmissão formadas por vários cabos ou quando da substituição de espaçadores danificados identificados a partir de procedimentos de inspeção.

Os espaçadores são instalados nos cabos através de técnicos de linha viva. Estes técnicos devem utilizar roupas especiais e equipamentos específicos de proteção individuais para executarem as tarefas de manutenção diretamente nos cabos energizados, Fig. 1.



Figura 1 – Substituição manual de um espaçador de dois cabos.
Fonte: ADL,2016

Para instalação dos espaçadores os técnicos podem utilizar-se de carrinhos que são colocados nos cabos que permitem a movimentação dos técnicos ao longo destes para realizar a instalação de novos espaçadores e remoção de espaçadores com defeitos. Neste caso para acessar os cabos os técnicos, muitas vezes, devem escalar a torre de alta tensão, Fig. 2.



Figura 2 – Técnicos escalando torre de alta tensão.
Fonte: TKO,2015

Em alguns casos são utilizados helicópteros para instalação e remoção de espaçadores. Neste procedimento de manutenção o técnico fica preso em uma plataforma fixa ao lado da estrutura do helicóptero. Com movimentos sincronizados entre o técnico e o piloto, na aproximação do helicóptero com a linha de alta tensão é realizado o procedimento de equalização entre estes. Após, é realizado a transferência dos equipamentos necessários para linha, como dispositivos de movimentação (carrinhos) e em alguns procedimentos o próprio técnico se transfere para o cabo de alta tensão para realizar os procedimentos de instalação dos espaçadores.

Em alguns casos na própria plataforma do helicóptero o técnico após a equalização já realiza a instalação ou remoção do espaçador, Fig. 3. Finalizado o procedimento de instalação ou remoção do espaçador o técnico faz o procedimento de equalização para afastamento do helicóptero. Deve-se destacar que o uso de helicópteros representa vários riscos como: de queda; proximidade da hélice com os cabos; indisposição do técnico na plataforma, mal-estar do eletricitista ou piloto e possibilidade de pane da aeronave.



Figura 3 – Técnico fazendo a instalação de espaçador com auxílio de helicóptero.
Fonte: Mitsa,2014

Em função dos riscos existentes para instalação dos espaçadores, longo tempo de instalação, trabalho de alta intensidade e ao alto custo [1] pode-se pensar na utilização de robôs para realização e automatização desta tarefa de manutenção e uso de drones.

Os espaçadores existentes são formados por um corpo, constituído por braços e extremidades que possuem regiões para serem fixas nos cabos a partir de uniões geralmente parafusadas ou rebitadas, Fig. 4.

A instalação do espaçador nos cabos é realizada com a utilização de ferramentas rotativas, geralmente parafusadeiras, no caso de uniões parafusadas e ferramentas rebitadoras no caso de rebites, Fig. 4. Caso o espaçador seja para dois cabos o técnico deverá apertar as duas extremidades. Caso sejam três cabos o técnico deverá realizar o fechamento das três extremidades e assim sucessivamente.



Figura 4 – Técnico utilizando ferramenta rebitadora.
Fonte: ICMHI,2014

A utilização do drone para transporte do módulo robótico permite a transposição de todos os tipos de obstáculos presentes nos cabos de alta tensão e cabo para-raios permitindo colocar o módulo robótico na posição desejada para instalação do espaçador.

Visando-se a diminuição dos riscos aos funcionários que realizam a tarefa de manutenção para instalação do espaçador este projeto apresenta uma nova arquitetura para ser aplicada na manutenção do sistema de energia elétrica realizando a instalação e a remoção de espaçadores, Fig. 5, baseada em métodos de desenvolvimento de projetos mecânicos [2], diversos modelos de protótipos para inspeção, manutenção e substituição de esferas de sinalização.[3,4,5,6,7,8] e o guia de métodos de manutenção em de linhas de transmissão em linha viva [9].

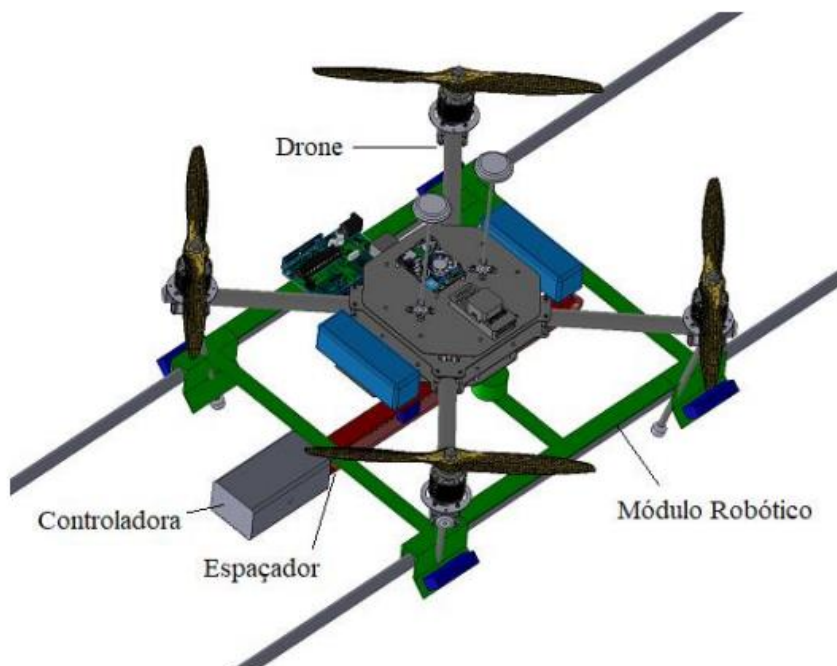


Figura 5 – Ideia inicial do modulo robótico.
Fonte: Os autores,2018

2. OBJETIVOS

Com o objetivo de diminuir o tempo de execução da fixação do espaçador nos cabos e possibilitar que isto seja feito por um módulo robótico simples, leve e acessível, este projeto apresenta uma nova arquitetura de construção do espaçador para instalação e remoção rápida destes a partir de um único ponto de acionamento para a fixação das extremidades com a utilização de uma ferramenta rotativa comercial do tipo parafusadeira ou outra ferramenta rotativa equivalente.

Juntamente com um módulo robótico capaz de realizar a instalação dos mesmos, dependendo minimamente de mão de obra humana e adaptável para os espaçadores de dois, três e quatro cabos, este sendo transportado por um drone adaptado para realizar manutenções no sistema de transmissão de energia.

Desta forma, este projeto visa a redução nos riscos humanos associados com as operações de manutenção do sistema de transmissão de energia como a exposição a intensos campos eletromagnéticos, quedas e riscos de choque elétrico, além de uma redução de custos significativa.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 ESPAÇADORES

Desenvolver um espaçador específico para a aplicação em questão veio da dificuldade, ou até impossibilidade, de se trabalhar com os modelos já disponíveis no mercado.

O travamento é realizado individualmente em cada cabo, com ferramentas parafusadeiras ou ribitadeiras, o que causa um aumento no tempo de instalação dos espaçadores, como mostra a Fig 6, além da necessidade de parafusar, fechar o engaste sobre os cabos é uma tarefa detalhista para ser realizada com um motor de apenas um grau de liberdade.

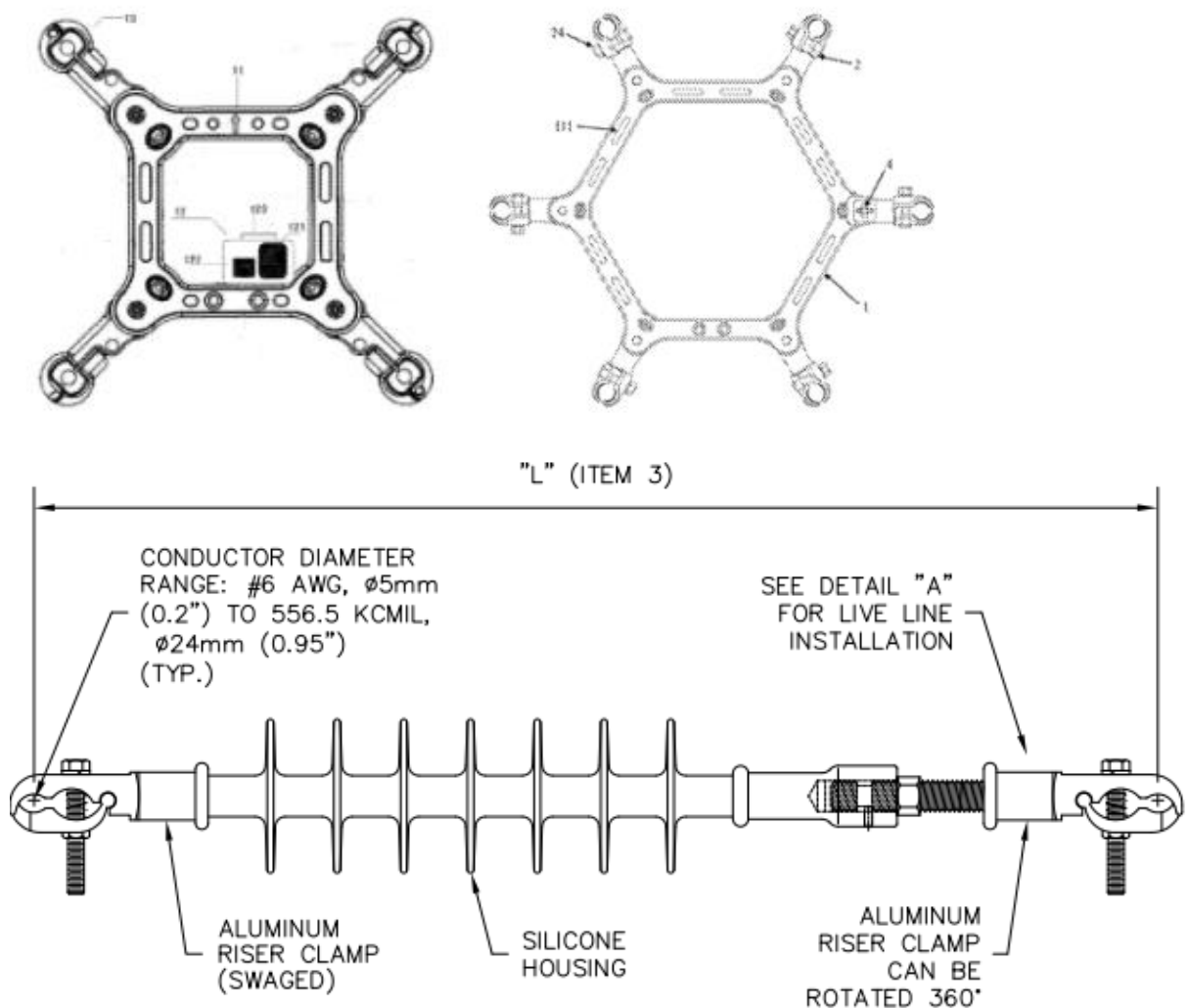


Figura 6 – Detalhamento de espaçador K-Line

Fonte: K-Line,2021

Realizar o travamento individual de cada extremidade da peça poderia ser feito de duas formas, a primeira, com um (ou dois) servomotor dedicado para cada trava, o que tornaria uma estrutura extremamente complexa e somado ao peso de tantos servos posicionados na extremidade do módulo robótico, deslocaria o centro de gravidade tanto do módulo robótico quanto do drone para uma situação desfavorável, e nenhum benefício foi identificado nesta situação.

A segunda seria utilizando um braço robótico, o qual, além do grande peso concentrado em um ponto único, acrescentaria um custo muito elevado se usado um componente comercial ou uma grande complexidade para o desenvolvimento de um braço robótico funcional.

E, por fim, este projeto facilitará a instalação até da forma manual, como é feito atualmente.

O espaçador é composto por um corpo (GF) e extremidades deslizantes (GM) que permitem o acoplamento/desacoplamento aos cabos de alta tensão. A movimentação das extremidades deslizantes é realizada a partir de mecanismos articulados (BM) que permitem simultaneamente a abertura ou fechamento das extremidades deslizantes.

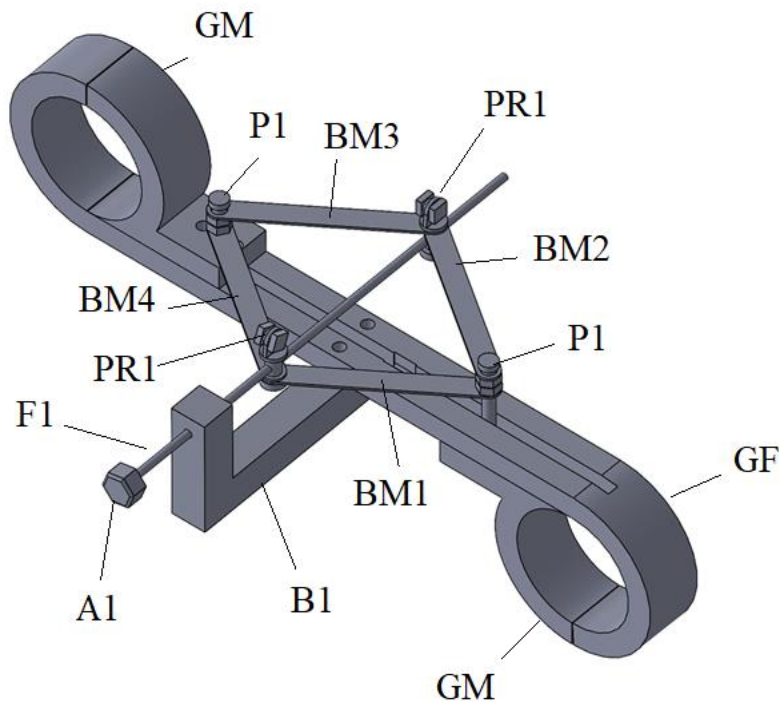


Figura 6 – Espaçador para dois cabos
Fonte: Os autores, 2021

A abertura ou fechamento simultânea das extremidades é feita a partir de um fusão autotravante (A1) que está acoplado aos mecanismos articulados (PR1 e PR2) permitindo a transformação do movimento de rotação em movimentos de translação. O dimensionamento do fusão é feito de tal forma que seja autotravante, isto é, cessado o giro do fusão as extremidades permanecem na mesma posição. O acionamento do fusão e por consequência o fechamento e abertura das extremidades é realizado com a utilização de uma ferramenta rotativa.

Nas extremidades deslizantes existem buchas de material plástico isolante para permitir o acoplamento do espaçador para diferentes diâmetros de cabos padronizados pelo sistema de distribuição com a simples troca da bucha. O espaçador pode ser construído com diversos tipos de material incluindo, materiais plásticos e metálicos como aço e alumínio ou combinação destes. As dimensões do corpo do espaçador são em função das distâncias dos cabos de alta tensão padronizados pelo sistema de distribuição.

A figura 7 apresenta as buchas de isolamento (BU) necessárias para o acoplamento e isolamento entre os cabos de alta tensão e a estrutura metálica do

espaçador. Estas buchas são de formato bipartido e o seu diâmetro interno é igual ao cabo a ser acoplado. O diâmetro dos cabos de alta tensão é determinado em função de normas técnicas para cada País.

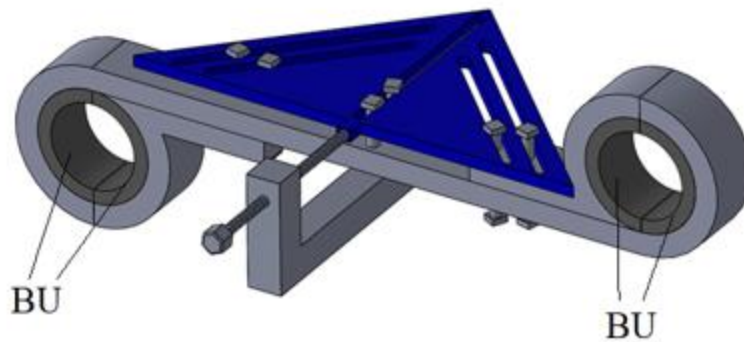


Figura 7 – Ideia inicial de espaçador para dois cabos com buchas.
Fonte: Os autores ,2021

3.1.1 PRIMEIRO MODELO

A ideia inicial do projeto é representado pela figura 8, o princípio de funcionamento da abertura e fechamento das extremidades se dá a partir da utilização de um mecanismo articulado (MA) que possui ranhuras conectadas ao corpo principal do espaçador (GF) a partir de pinos (P1), que permitem em função da movimentação do fuso (F1), realizada por uma ferramenta rotativa acoplada à cabeça sextavada na extremidade do mesmo (A1), realizar a movimentação das garras móveis, (GM) permitindo a abertura ou o fechamento das garras do espaçador. O mecanismo articulado (MA) é uma plataforma ranhurada que em função dos comprimentos e inclinações das ranhuras permite a abertura e fechamento do espaçador. O fuso (F1) é auto travante, isto é, sua movimentação só ocorre com o giro forçado deste devido ao formato da rosca.

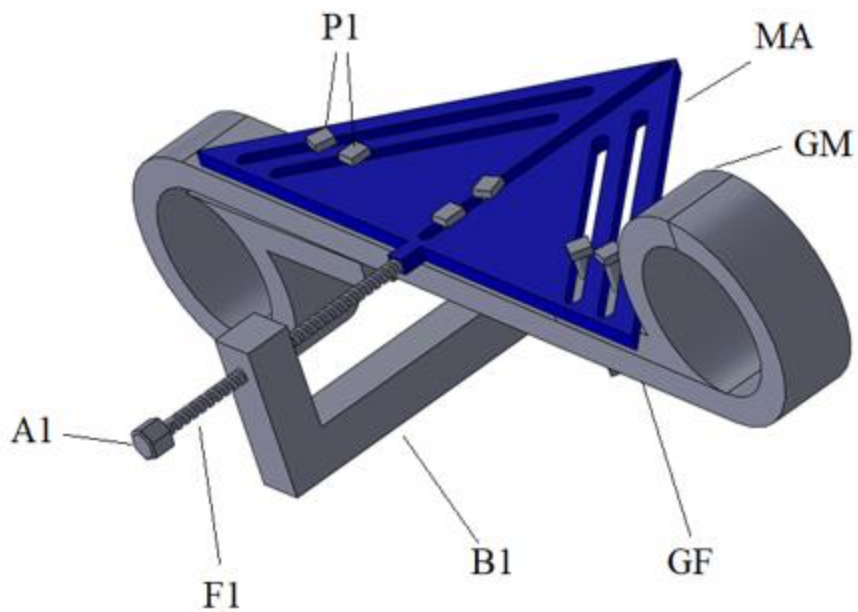


Figura 8 – Ideia inicial de espaçador para dois cabos fechado
Fonte: Os autores ,2021

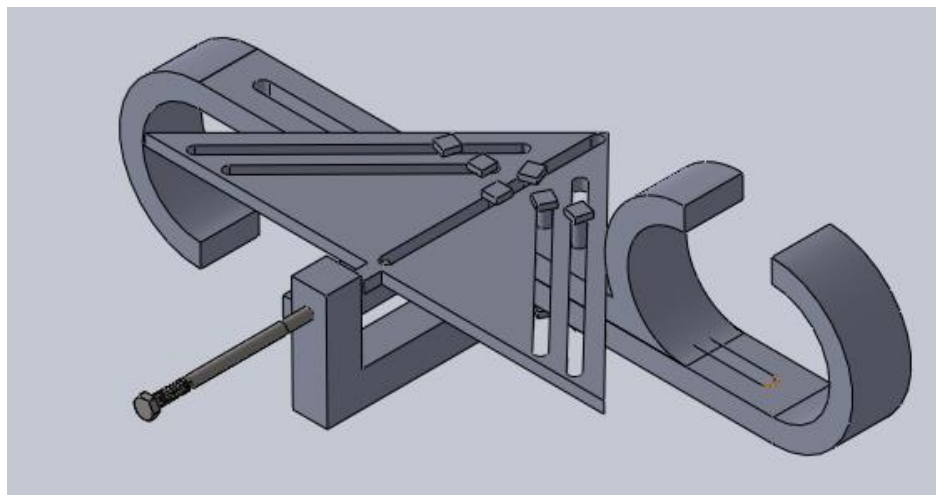


Figura 9 – Ideia inicial de espaçador para dois cabos aberto
Fonte: Os autores,2021

Analogamente, foi desenvolvido o espaçador de 3, Fig. 10, e 4 cabos, partindo da mesma ideia, de transferir o movimento linear para outras direções a partir do deslizamento dos pinos pelas ranhuras e de forma simples.

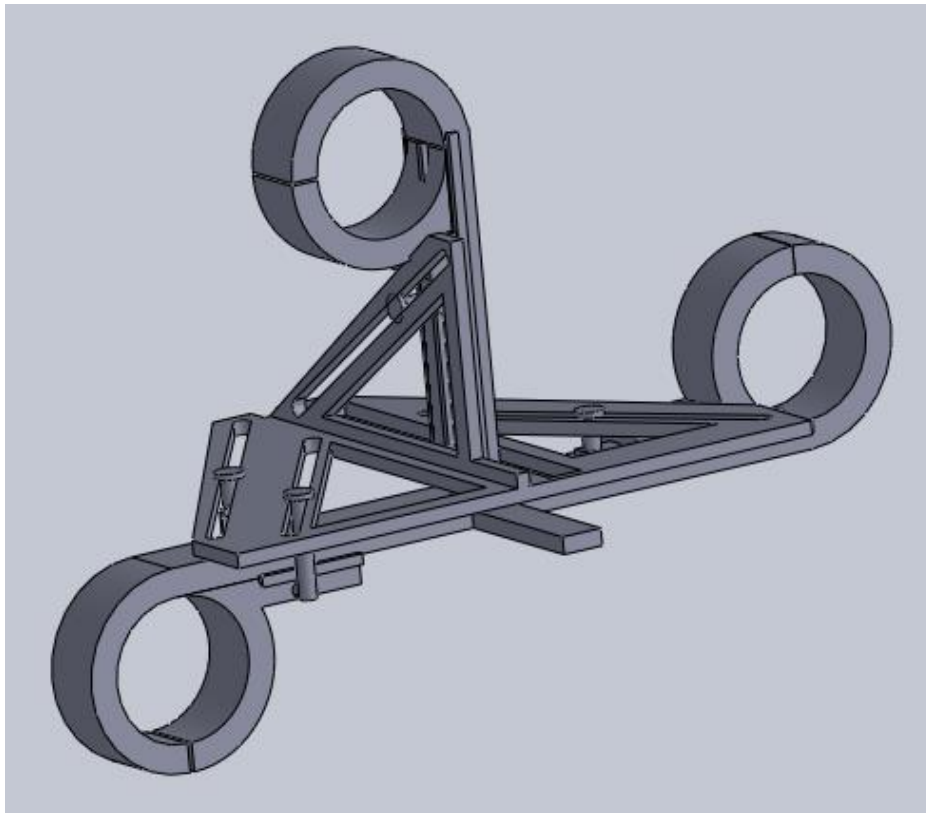


Figura 10 – Ideia inicial de espaçador para três cabos fechado.
Fonte: Os autores ,2021

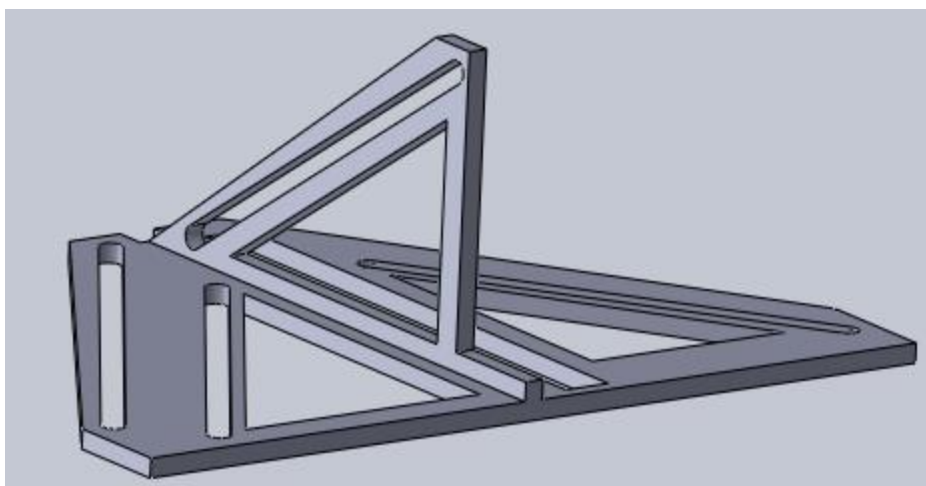


Figura 11 – Base do mecanismo articulado para três cabos.

Fonte: Os autores ,2021

Este projeto se mostrou funcional nos testes experimentais com protótipo feito em escala reduzida, as peças foram impressas em uma impressora 3D em PLA com as peças deslizantes de bronze, porém o atrito encontrado nas ranhuras foi além do

esperado, juntamente com um leve desnível recorrente quando a peça era posicionada em ângulos desfavoráveis, dificultando a movimentação das garras.

3.1.2 SEGUNDO MODELO

3.1.2.1 ESPAÇADOR DE 2 CABOS

Como forma de aprimoramento do primeiro conceito, foi desenvolvido um mecanismo articulado baseado no funcionamento de um pantógrafo, constituído por quatro barras articuladas, que se mantêm paralelas duas a duas e articuladas uma à outra nas extremidades, e acoplada à garra e a ranhura no espaçador, fazendo todo movimento imposto em uma direção ser transferido para todas as outras direções, conforme forem feitas as ligações, conforme pode ser visto nas Fig. 12 e Fig. 13.

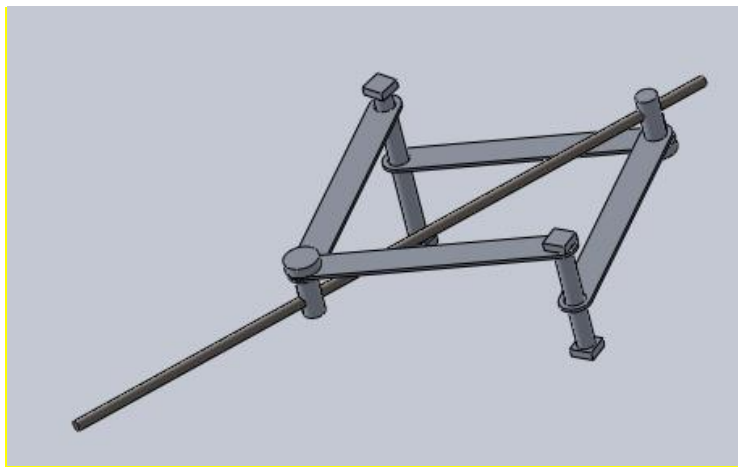


Figura 12 – Mecanismo articulado para espaçador de dois cabos.
Fonte: Os autores ,2021

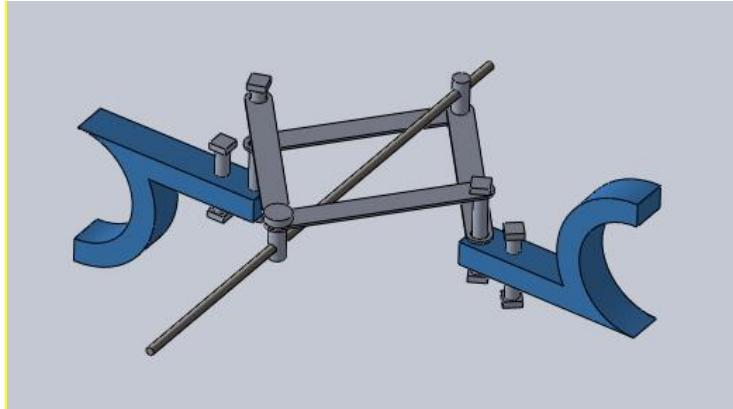


Figura 13 – Mecanismo articulado para espaçador de dois cabos com peças deslizantes acopladas.

Fonte: Os autores ,2021

A figura 14 apresenta o mecanismo articulado que permite a abertura e fechamento das garras móveis (GM) em relação as garras fixas (GF). Este mecanismo articulado é composto por barras (BM) de iguais comprimentos. Este mecanismo articulado é ligado as garras móveis (GM) por uniões parafusadas, ou rebitadas ou por pinos (P1), que permitem o deslizamento linear das garras móveis (GM) em relação as garras fixas (GF).

Quem permite a movimentação do dispositivo articulado é o fuso (F1) que é acionado por uma ferramenta rotativa acoplada na cabeça sextavada (A1). Este fuso gira em relação a base (B1). As conexões (PR1) são roscadas ao fuso para permitir o movimento de abertura ou fechamento do mecanismo articulado e por consequência produz o movimento de abertura ou fechamento das garras (GM), Fig. 14.

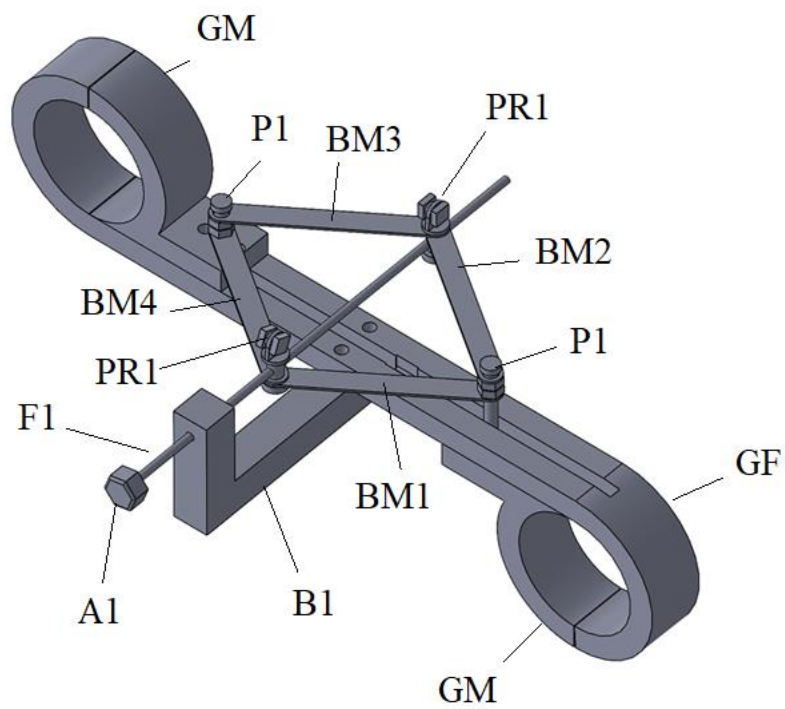


Figura 14 – Espaçador para dois cabos.
Fonte: Os autores ,2021



Figura 15 – Foto da vista superior do protótipo de espaçador para dois cabos.
Fonte: Os autores ,2021

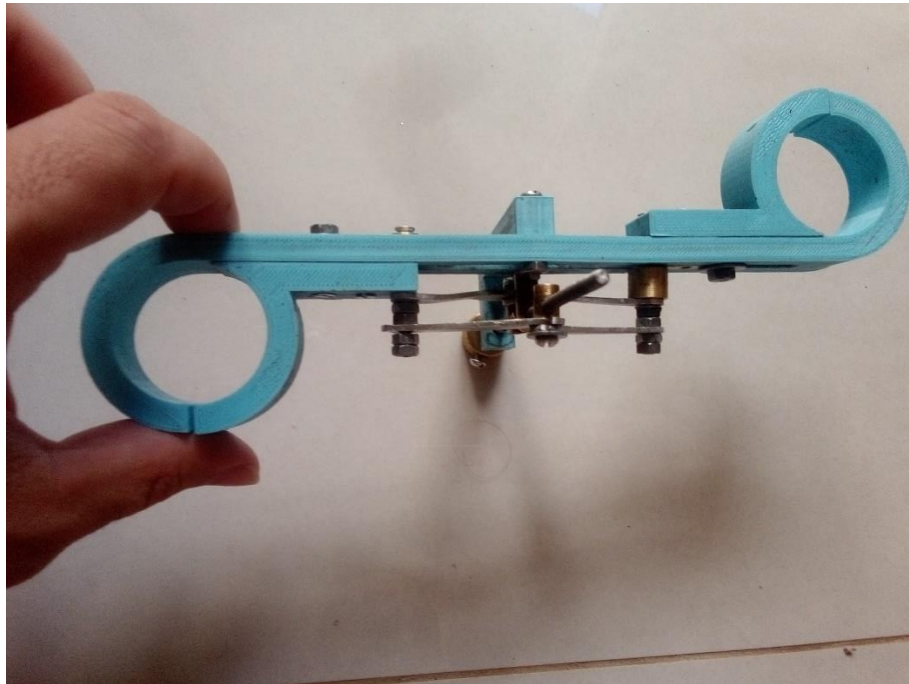


Figura 16 – Foto da vista frontal do protótipo de espaçador para dois cabos.
Fonte: Os autores ,2021

O resultado deste espaçador que foi impresso em 3D numa escala de 1:3, com os pinos deslizantes de bronze e as hastes e fuso de aço foi excelente, mostrando um atrito mínimo em relação ao modelo anterior, nenhum desalinhamento e com uma montagem um pouco mais complexa, porém ainda bem simples e muito robusta.

3.1.2.2 ESPAÇADOR DE 3 CABOS

A figura 17 mostra o projeto do espaçador para três cabos aberto e fechado e o detalhamento do mecanismo articulado. As garras móveis (GM) são movimentadas em relação a garra fixa (GF) a partir de um mecanismo articulado. O acionamento do mecanismo articulado é realizado a partir de um fuso (F1) acionado na cabeça sextavada (A1) a partir de uma ferramenta rotativa. Este fuso gira em relação a base (B1).

As conexões (PR1) são roscadas ao fuso para permitir o movimento de abertura ou fechamento do mecanismo articulado e por consequência produz o movimento de abertura ou fechamento das garras (GM). Este mecanismo articulado é ligado as garras móveis (GM) por uniões de pinos (P1), que permitem o

deslizamento linear das garras móveis em relação as garras fixas. P2 representa uniões parafusadas ou rebitadas ou realizadas por pinos para permitir o giro das barras entre si, Fig. 17.

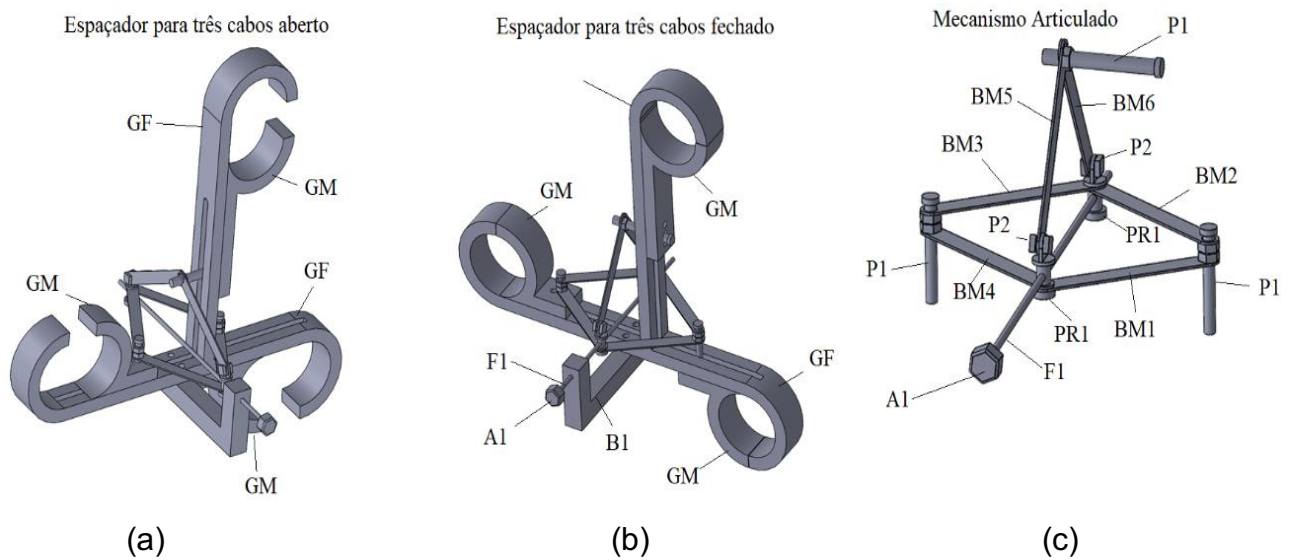


Figura 17 – Espaçador para três cabos aberto (a), fechado (b) e mecanismo articulado (c) do mesmo.

Fonte: Os autores ,2021

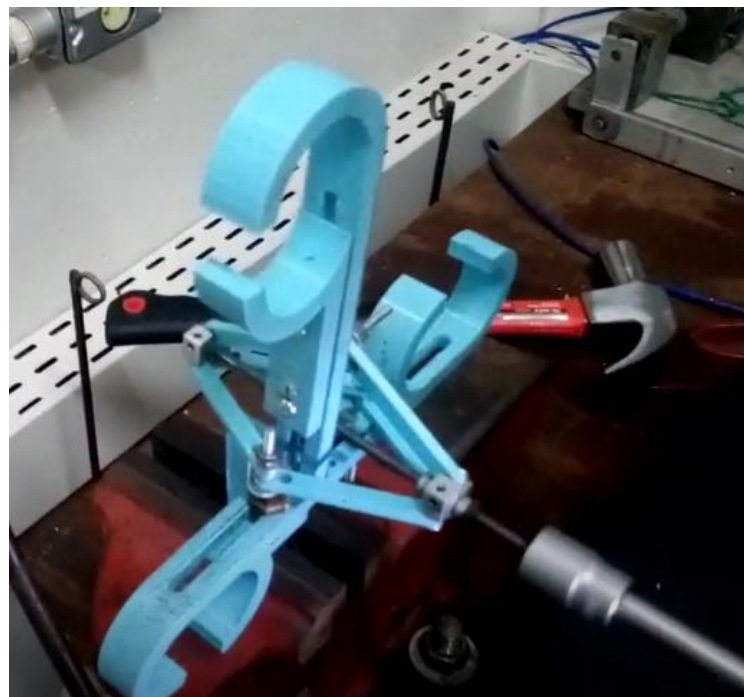


Figura 18 – Vista isométrica do protótipo de espaçador para três cabos.

Fonte: Os autores ,2021

A fabricação do espaçador de três cabos foi feita no mesmo padrão do anterior, porém agora com as hastes também de plástico, impressa em 3D. O resultado desta peça também foi satisfatório, movimentando as garras com fluidez e sem nenhum problema visível.

3.1.2.3 ESPAÇADOR DE QUATRO CABOS

A figura 19 mostra o projeto do espaçador para quatro cabos aberto, fechado e o detalhamento do mecanismo articulado para abertura ou fechamento das garras. As garras móveis são movimentadas a partir do mesmo mecanismo articulado baseado no pantógrafo. O acionamento do mecanismo articulado é realizado a partir de um fuso por uma ferramenta rotativa. As conexões são roscadas ao fuso para permitir o movimento de abertura ou fechamento do mecanismo articulado e por consequência produzir o movimento de abertura ou fechamento das garras. O mecanismo é exatamente igual ao de dois cabos, porém com a conexão entre a garra inferior e superior, transmitindo o movimento simultaneamente para as duas peças.

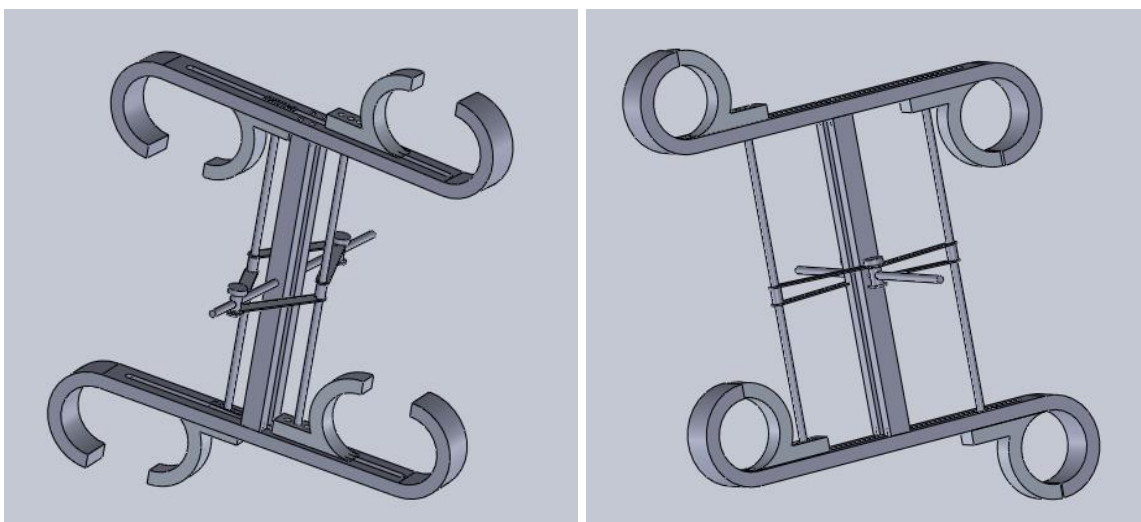


Figura 19 – Espaçador para quatro cabos aberto e fechado.
Fonte: Os autores ,2021

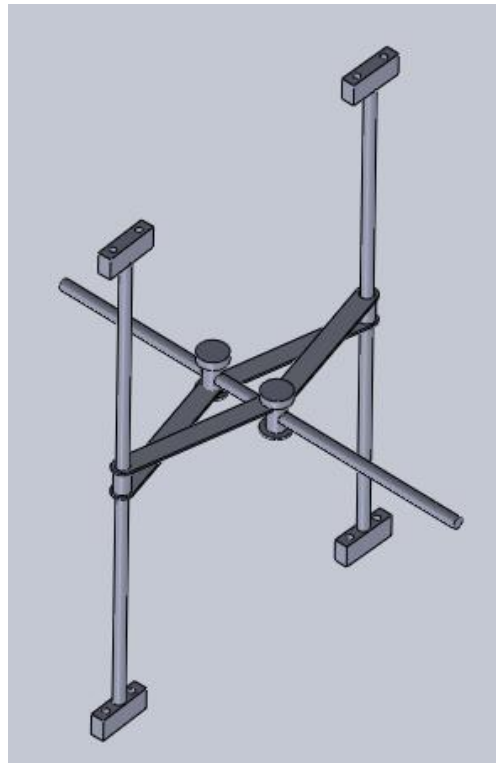


Figura 20 – Mecanismo articulado para espaçador de quatro cabos .
Fonte: Os autores ,2021

Já no de quatro cabos, devido à concentração de força em apenas dois pontos da haste que conecta a garra superior e inferior, foi necessário algumas alterações no projeto. Devido ao comprimento da haste, os esforços estavam sendo muito altos e mal distribuídos.

A solução foi duplicar todas as hastes do mecanismo pantógrafo, como mostra a Fig. 21, entregando maior simetria na distribuição de força, com isto o sistema demonstrou mais robustez e movimentos mais fluidos.

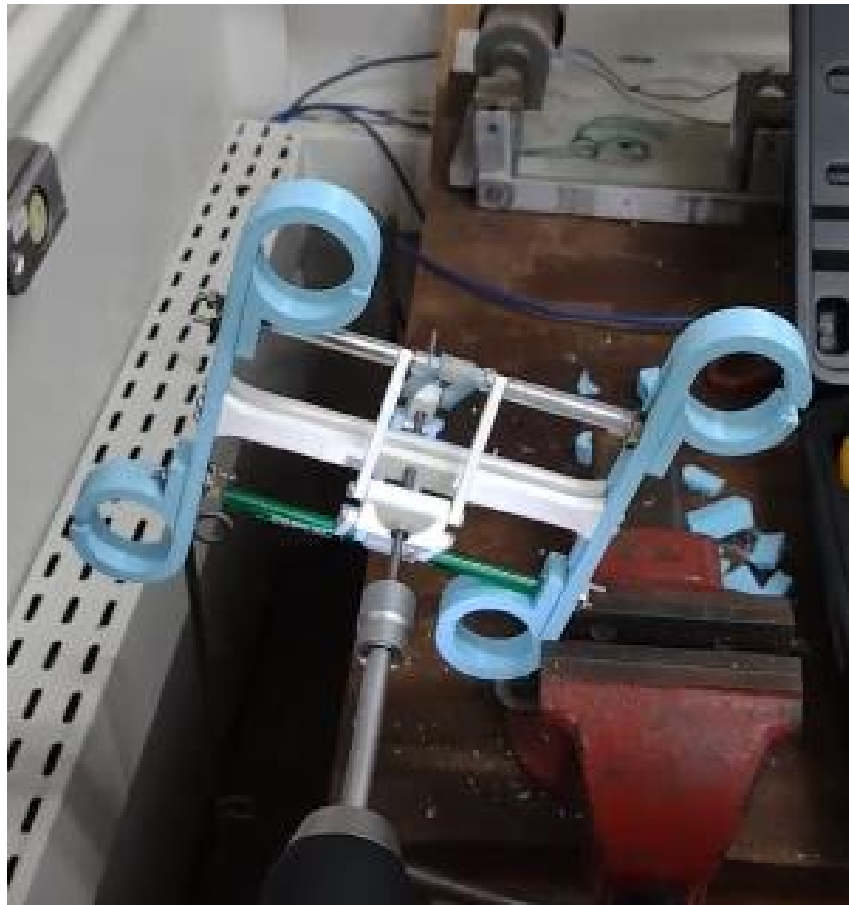


Figura 21 – Protótipo de espaçador para quatro cabos modificado.
Fonte: Os autores ,2021

O projeto dos espaçadores estão em processo de patenteamto junto ao INPI.

4. MODULO ROBOTICO

Agora com um modelo de espaçador muito mais simplificado e cabível ao projeto em questão, deu-se início ao projeto do módulo robótico para fazer a instalação dos espaçadores.

Todo o módulo foi desenvolvido a partir de peças disponíveis no mercado por um preço acessível ou de fácil fabricação, onde todas as peças, com exceção das rodas, das placas de fixação e dos espaçadores podem ser encontradas facilmente em lojas de ferramentas, e o restante poderiam ser usinadas, cortadas por máquinas (à água, laser, etc) ou feitas em impressoras 3D, pois as mesmas foram pensadas e adaptadas para os métodos de fabricação ao alcance.

4.1. ESTRUTURA

Para a estrutura foi escolhido trabalhar com perfil estrutural V-Slot em alumínio por ser um material leve, resistente a água, com uma resistência a esforços bastante elevada devido o formato do perfil e prático devido à forma de fixação nos perfis.

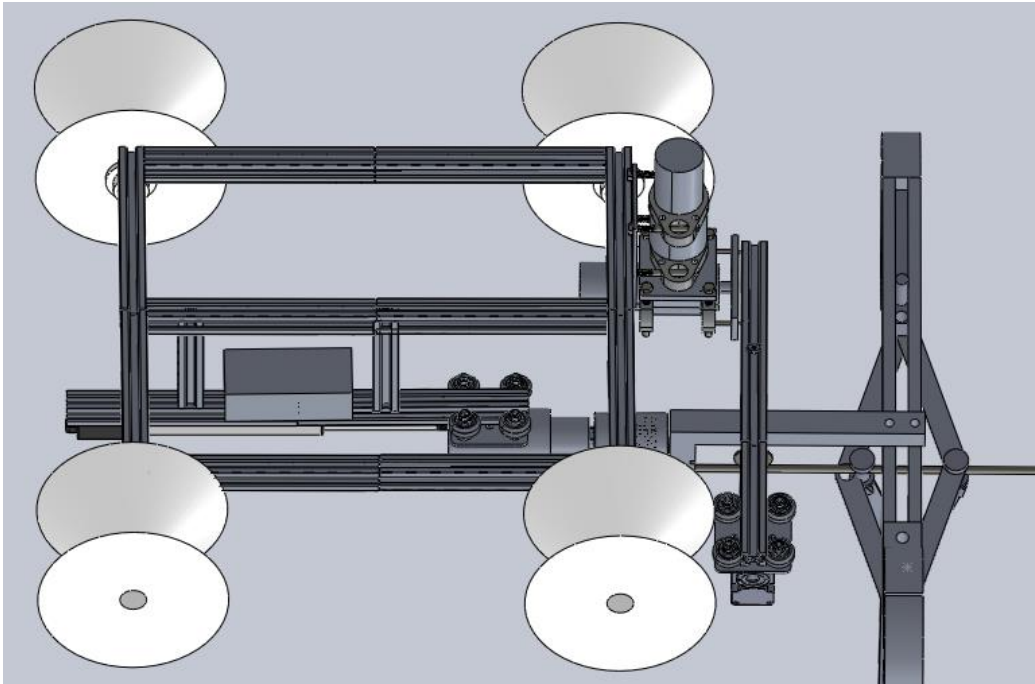


Figura 22 – Visão geral do módulo robótico com espaçador acoplado.

Fonte: Os autores ,2021

Para a criação deste, foram utilizadas somente barras de perfil 20 milímetros por 20 milímetros, ou 20x20, ao todo foram 12 barras de 20 centímetros e 2 barras de 10 centímetros com as respectivas porcas e parafusos para realizar as junções.

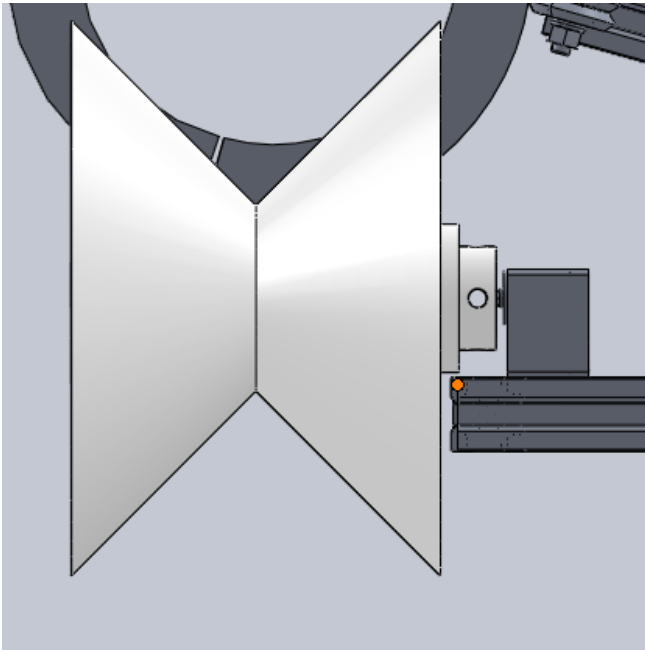


Figura 23 – Vista frontal da roda e respectivo servomotor.

Fonte: Os autores ,2021

A movimentação do módulo será feita por dois servomotores acoplados as rodas traseiras, e estes são fixados no perfil com parafusos e porcas.

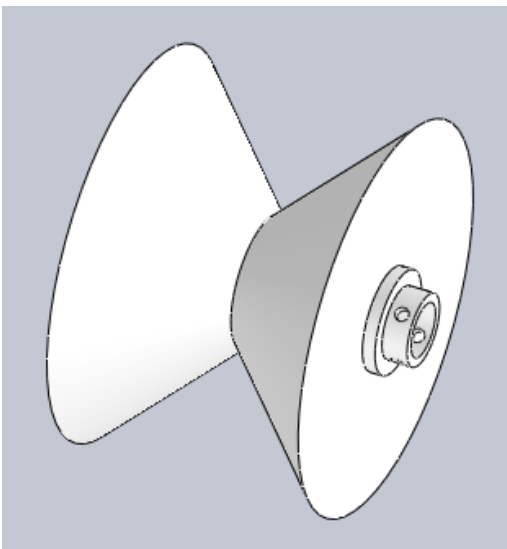


Figura 24 – Vista isométrica da roda.

Fonte: Os autores ,2021

O projeto da roda foi baseado em diversos módulos robóticos já existentes e aplicados em inspeção de linhas elétricas, como o Expliner [4], Fig. 25, protótipo robótico desenvolvido para inspeção de linhas de transmissão de energia, que usa um modelo muito semelhante, como a maioria dos protótipos existentes na atualidade.



Figura 25 – Protótipo robótico Expliner.

Fonte: Debenest,2018

Foi escolhido um ângulo de 45° para que os cabos ficassem sempre tangentes a superfície interna da roda, e que ao mesmo tempo que tenha uma grande estabilidade, resulte numa tração alta o suficiente [6].

O método de fabricação será por impressão 3D devido ao formato favorável para este tipo de construção e baixo custo. O material selecionado foi o plástico ABS por ser um material isolante, característica determinante para a seleção do material que estará em contato com os cabos, mas também entrega uma boa resistência e peso dentro dos requisitos de projeto.

A definição dos materiais só será possível após a realização dos testes, pode ser necessário adicionar uma camada superficial de borracha nas rodas para aumentar o atrito com os cabos para elevar a tração.

4.2 MECANISMO DE POSICIONAMENTO DOS ESPAÇADORES

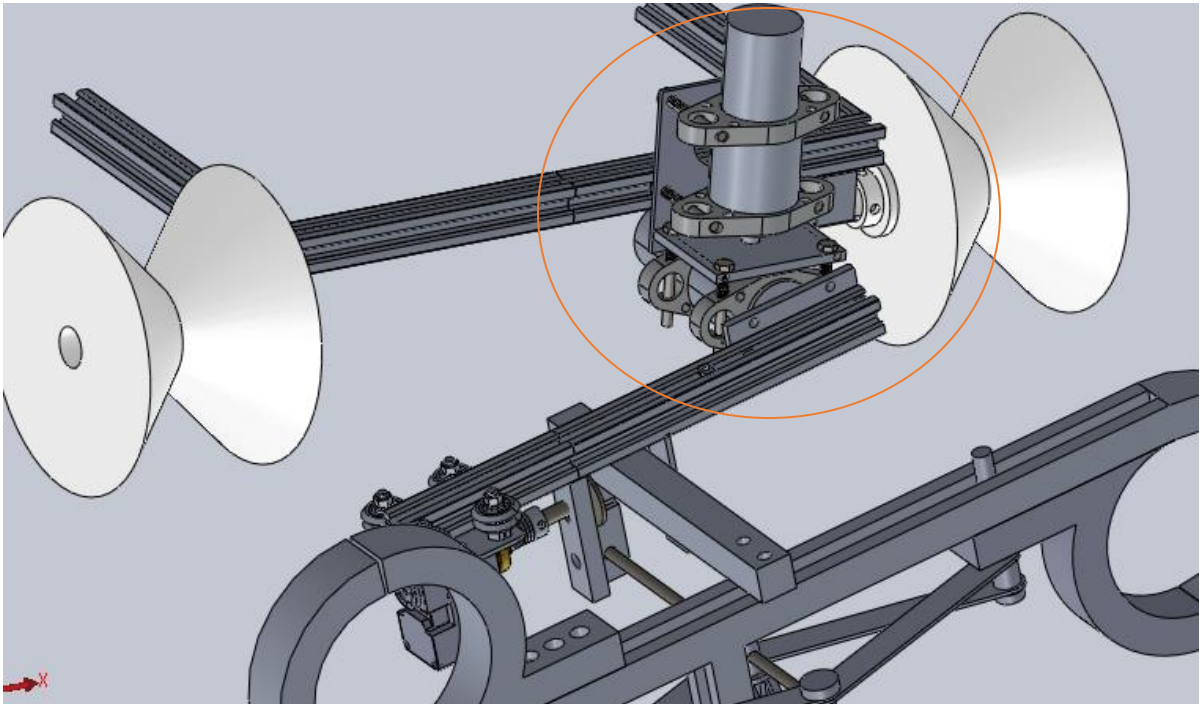


Figura 26 – Visão geral do módulo robótico com espaçador acoplado.
Fonte: Os autores ,2021

Todo o projeto foi concebido visando ser adaptável para qualquer disposição de cabos das linhas de transmissão, sendo de 2, 3 ou 4, podendo ser desenvolvido até para 6 ou 8 cabos, a forma mais intuitiva de fazer esta instalação com um único mecanismo de movimentação, seria de forma rotativa em relação a dois eixos diferentes, no caso, eixo Z (azul) e Y (verde), Fig. 27.

Os motores escolhidos para esta aplicação são os motores de parafusadeira, que tem um torque extremamente alto, para que não ocorra risco de faltar potência em nenhum momento da operação nem em situações adversas, como de vento forte ou chuva, tendo em vista que estes são os motores mais necessitados de todo o projeto, pois vão estar movimentando o espaçador a partir de uma extremidade do mesmo, resultando em momentos de inércia relativamente altos.

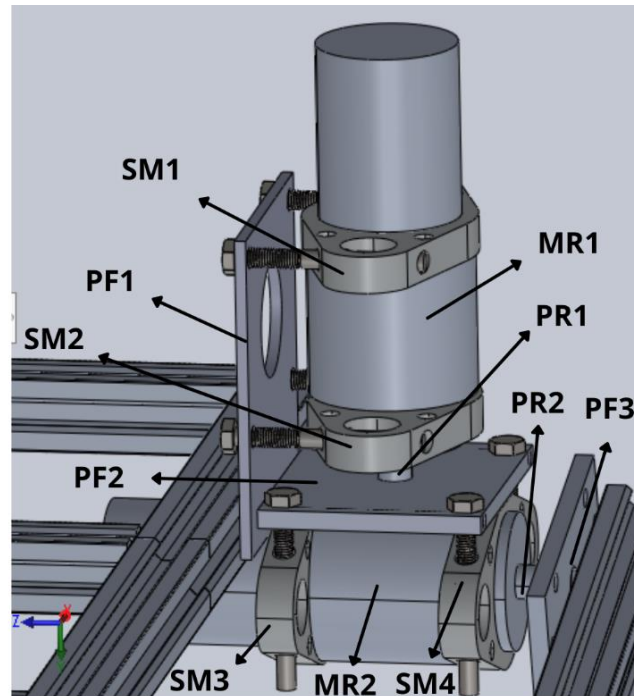


Figura 27 – Mecanismo de posicionamento dos espaçadores.
Fonte: Os autores ,2021

A figura 27 representa o princípio de funcionamento do mecanismo de movimentação e posicionamento do espaçador nos cabos, onde estes devem ser instalados. Todo mecanismo é fixado na estrutura do módulo a partir de uma placa de fixação (PF1) que é parafusada aos suportes (SM1 e SM2) do motor (MR1) posicionado na vertical, estes sendo usado para manter o motor e a caixa de redução unidas, este motor realiza a rotação em relação ao eixo Y (verde) a partir da ligação da ponta rotativa (PR1) à placa de fixação (PF2), e esta, parafusada aos suportes (SM3 e SM4) do segundo motor (MR2), posicionado na horizontal, possibilitando a rotação em relação ao eixo Z (azul) pela união da ponta rotativa (PR2) com a placa de fixação (PF3) que faz a conexão com o perfil V Slot, parte do instrumento desenvolvido para apanhar e segurar o espaçador.

O motor e caixa de redução utilizados foram retirados da parafusadeira CHEVROLET-GM3401, que trabalha com uma tensão de bateria de 12V, rotação em vazio de 1350 RPM e torque máximo de 23 N*m.



Figura 28 – Parafusadeira CHEVROLET-GM3401
Fonte: Mercado Livre,2021

4.3 MECANISMO DE FIXAÇÃO DO ESPAÇADOR

A figura 26 representa o dispositivo desenvolvido para segurar o espaçador até a posição e localização desejada, o mesmo funciona exatamente como uma morsa, porém o mecanismo é dado o aperto a partir de um servomotor (SM) que é movimentado por uma guia ajustável com roldanas (GR) ao realizar a rotação, pois a própria rosca presente na placa (PT) realiza a força necessária, até que a prensa (P) entre em contato com o suporte do espaçador, pressionando contra a parede (PA).

O fuso (FT) tem uma configuração autotravante, ou seja, após aplicada uma força suficiente para prender a peça à parede, a própria rosca e fuso a manterá estática, até que uma força contrária seja aplicada. E os parafusos (FF) fazem a fixação deste na placa de fixação (PF3) do mecanismo de posicionamento do espaçador.

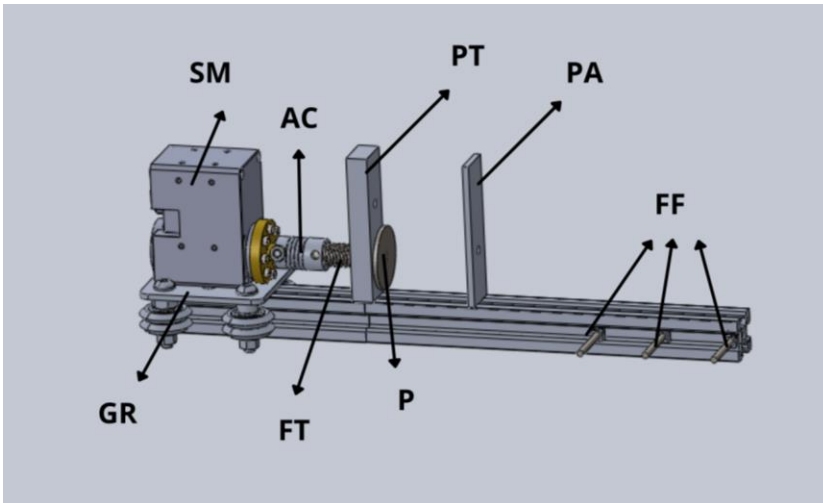


Figura 29 – Mecanismo para agarrar os espaçadores.
Fonte: Os autores ,2021

O servomotor utilizado é o modelo Dynamixel XM540-W270 T/R, trabalha com uma tensão ideal de 12V, uma rotação baixa, de 30 RPM e um torque máximo de 10,6 N*m.



Figura 30 – Dynamixel XM540-W270 T/R
Fonte: Mercado Livre,2021

4.4 SISTEMA DE FECHAMENTO DO ESPAÇADOR

É necessário fazer o aperto do fuso (A1) do espaçador até que o fechamento completo das garras seja realizado, para isto, é feita a aproximação do servomotor (SR) com um soquete universal acoplado (AU), um movimento de rotação causado pelo servomotor rotativo (SR) realizará o aperto, porém a ferramenta deve acompanhar o avanço axial causado pela própria rosca, por isto a necessidade de um

servomotor linear (SL) pressionando a guia ajustável com roldanas (GR), onde SR está fixo, Fig. 29.

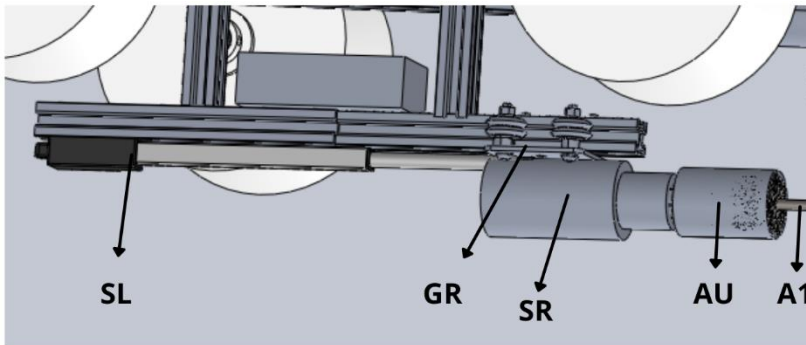


Figura 31 – Mecanismo de fechamento dos espaçadores.
Fonte: Os autores ,2021

Usar um soquete universal, Fig. 30, veio da necessidade de um engate fácil e consistente, pois este oferece uma margem de erro que pode vir a ser necessária durante a operação devido ao seu formato adaptável.



Figura 32 – Soquete universal.
Fonte: Forsetti,2021

5. OPERAÇÃO

A operação pode ser definida em três etapas, a de aproximação, instalação e remoção. Todo o processo se repete para os três espaçadores desenvolvidos, mudando apenas a posição do mecanismo de posicionamento dos espaçadores em relação à estrutura do módulo robótico, então será exemplificado apenas o de 3 cabos neste projeto.

5.1 Etapa 1 – Aproximação

O objetivo da primeira etapa é de se fazer a aproximação com o drone e o posicionamento do módulo robótico sobre os cabos para que ele realize a instalação do espaçador.

Após o operador sobrevoar os cabos cuja instalação deve ser feita, uma câmera fornecerá as imagens para que o algoritmo desenvolvido paralelo a este projeto faça identificação dos cabos, como já vem sendo aplicado em protótipos [9], e melhor posicione o drone em relação a estes, para que ocorra um pouso e desacoplamento seguros com alta precisão, Fig. 31, processo similar tirando a necessidade de se ter um piloto muito bem treinado capaz de realizar tal manobra e com maior segurança.

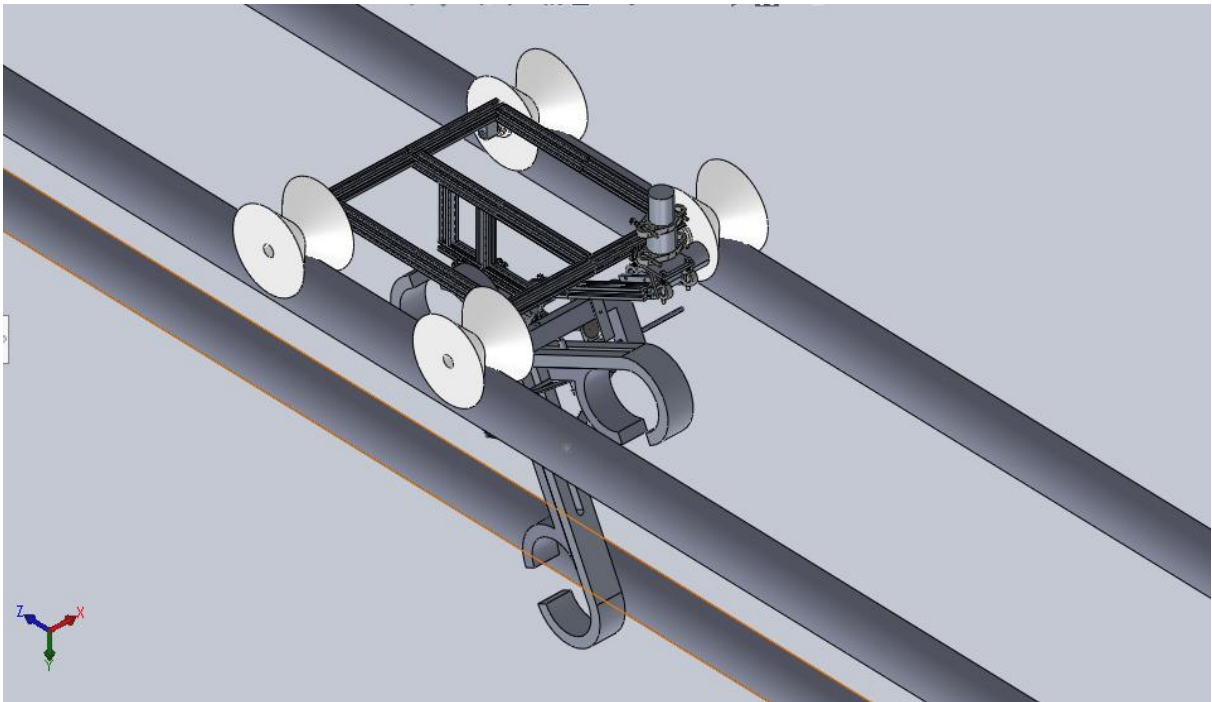


Figura 33 – Vista do módulo robótico com espaçador acoplado posicionado sobre os cabos.

Fonte: Os autores ,2021

A melhor posição encontrada para transportar o espaçador é a forma como está mostrado na figura 31, apesar de dificultar a operação pela necessidade de realizar diversos movimentos de rotação até posicioná-lo no cabo, este mostra a melhor posição do CG e satisfaz uma necessidade intrínseca ao processo de instalação, que é passar pelos cabos superiores sem que aconteça alguma colisão não planejada com o espaçador enquanto estiver acontecendo a aproximação.

5.2 Etapa 2 – Instalação

Com o módulo robótico posicionado sobre os cabos, ele pode se deslocar (se necessário) até o ponto desejado com o auxílio dos servomotores acoplados as rodas, para então iniciar o processo de instalação do espaçador, seja ele para 2, 3 ou 4 cabos.

O módulo robótico foi desenvolvido para ter uma alta estabilidade durante todo o processo, inclusive quando carregado pelo drone, por isto foi feito uma análise do CG, Figs. 32 à 39, durante todo o processo, para garantir que não ocorra grandes

esforços, podendo causar algum acidente quando somado com o vento ou movimento dos cabos.

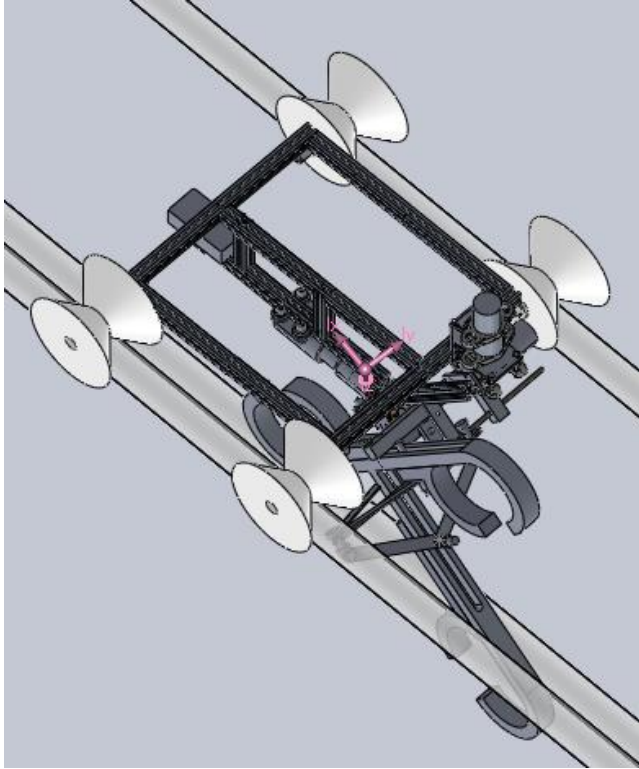


Figura 34 – Vista isométrica do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG.

Fonte: Os autores ,2021

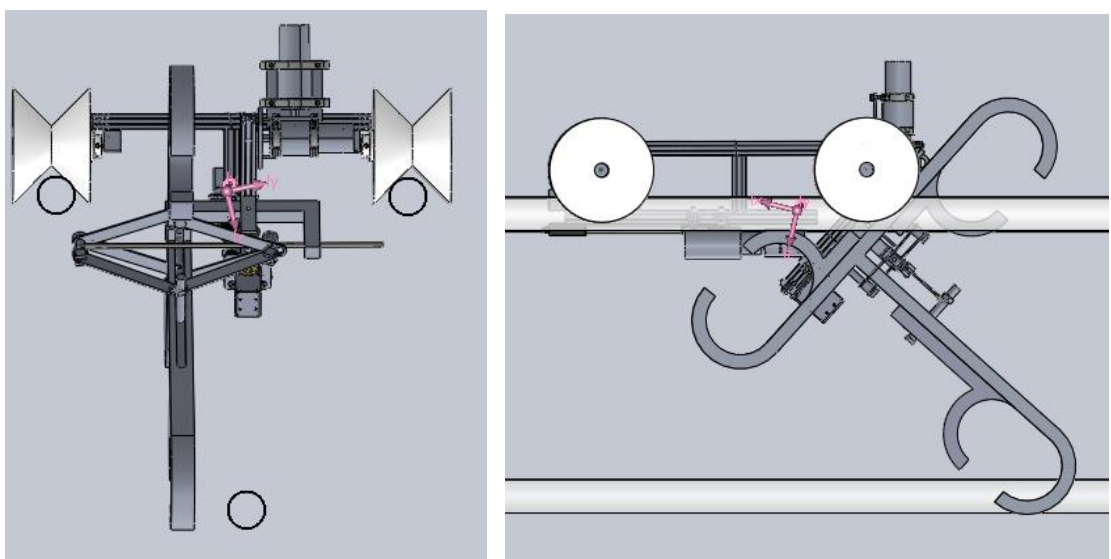


Figura 35 – Vista lateral e frontal do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG.

Fonte: Os autores ,2021

5.1.1 PASSO 1

O primeiro movimento do módulo no processo de instalação é o que seria uma rotação no eixo lateral do sistema, ou uma pequena rotação no servomotor MR2, necessária para criar o espaço que possibilita que o próximo movimento ocorra sem colisões no cabo inferior, Fig. 36 e 37.

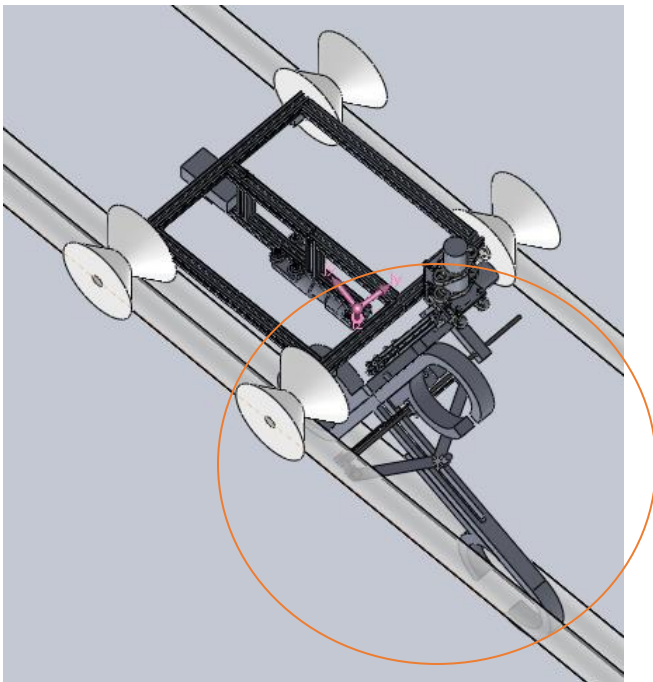


Figura 36 – Vista isométrica do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 1.

Fonte: Os autores ,2021

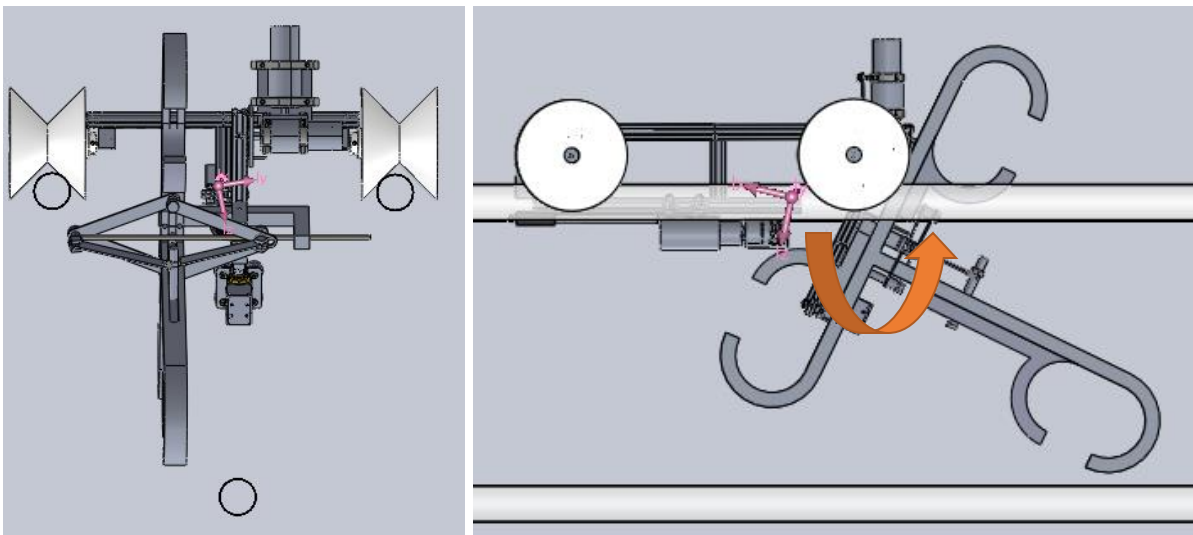


Figura 37 – Vista lateral e frontal do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 1.

Fonte: Os autores

5.1.2. PASSO 2

Depois é realizado uma rotação de 90° no MR1 (eixo vertical) e quase na sua posição final, retorna o eixo lateral para a posição inicial, rotacionando o mesmo aproximadamente 10° , Fig. 38 e 39.

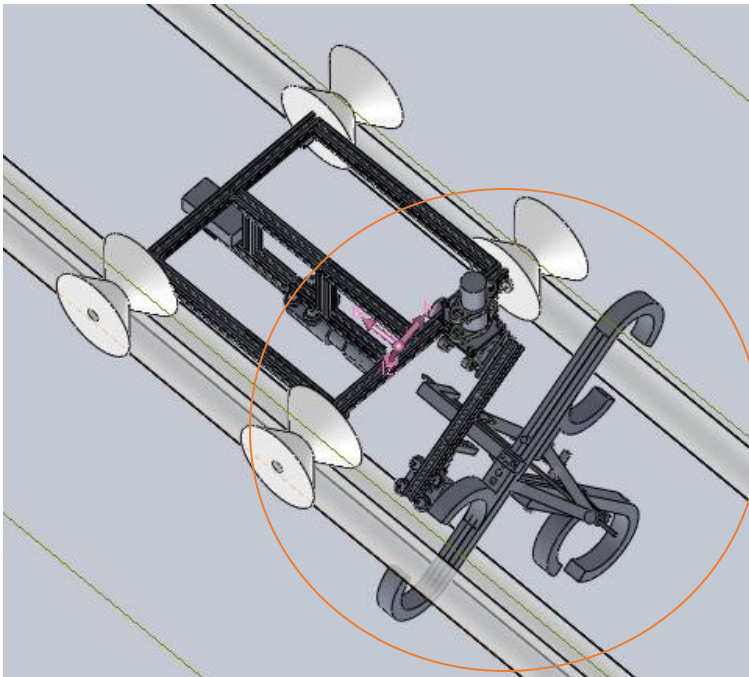


Figura 38 – Vista isométrica do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 2.

Fonte: Os autores ,2021

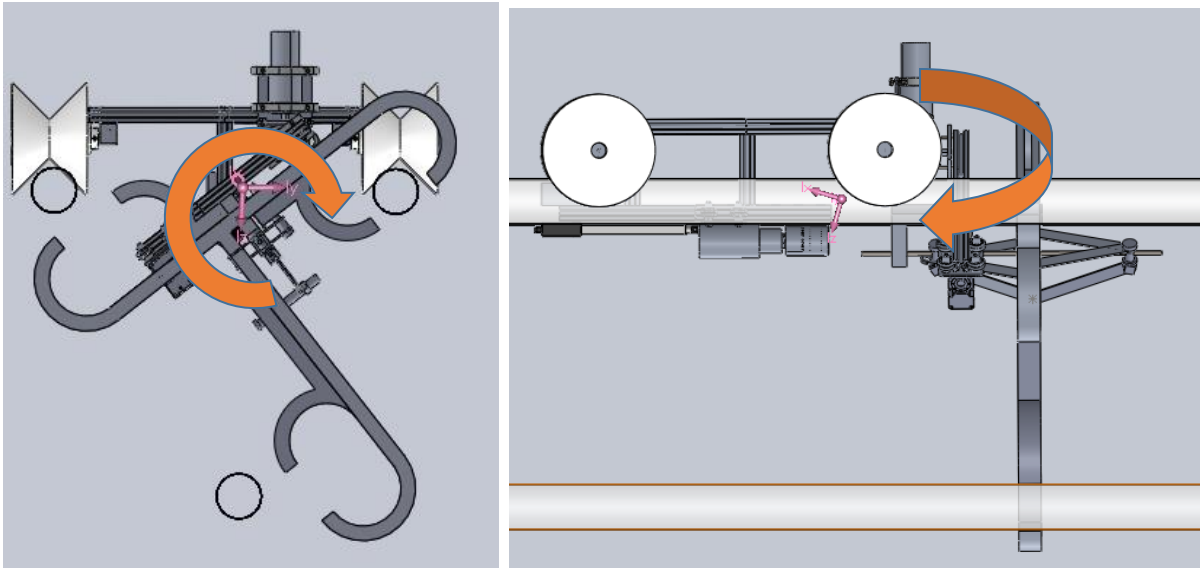


Figura 39 – Vista frontal e lateral do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 2.

Fonte: Os autores ,2021

5.1.3. PASSO 3

E então é feita a rotação do MR2 até que o espaçador entre em contato com os cabos e fique na posição Fig. 40 e 41.

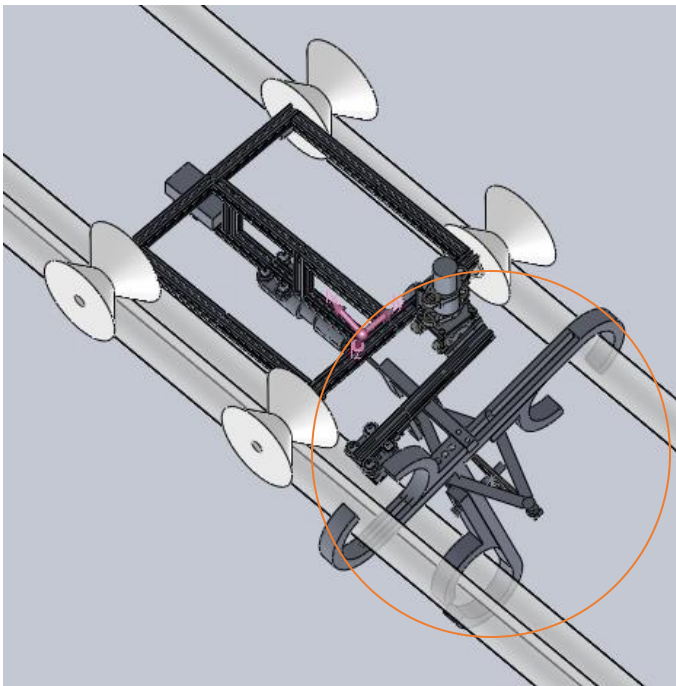


Figura 40 – Vista isométrica do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 3.

Fonte: Os autores ,2021

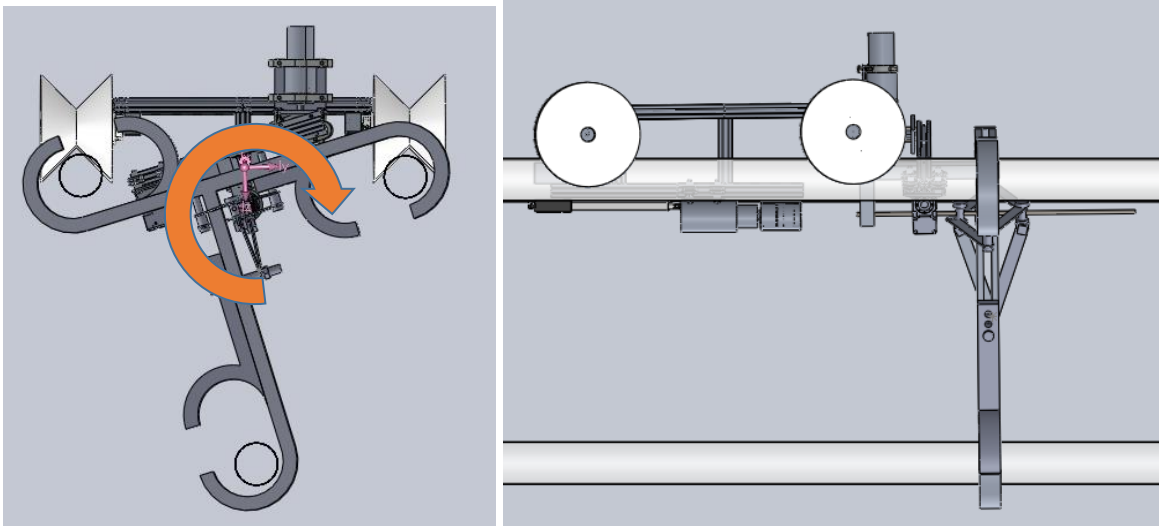


Figura 41 – Vista isométrica do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG após passo 3.

Fonte: Os autores ,2021

5.1.4. PASSO 4

Neste ponto, é feito o aperto do fuso com a ferramenta rotativa para que as garras fechem sobre os cabos, e aqui não é necessário o uso de nenhum tipo de trava por parafusos ou rebites como nos espaçadores comuns, o próprio fuso autotravante em contato com o furo roscado é o suficiente, os cálculos serão apresentados na seção 6.

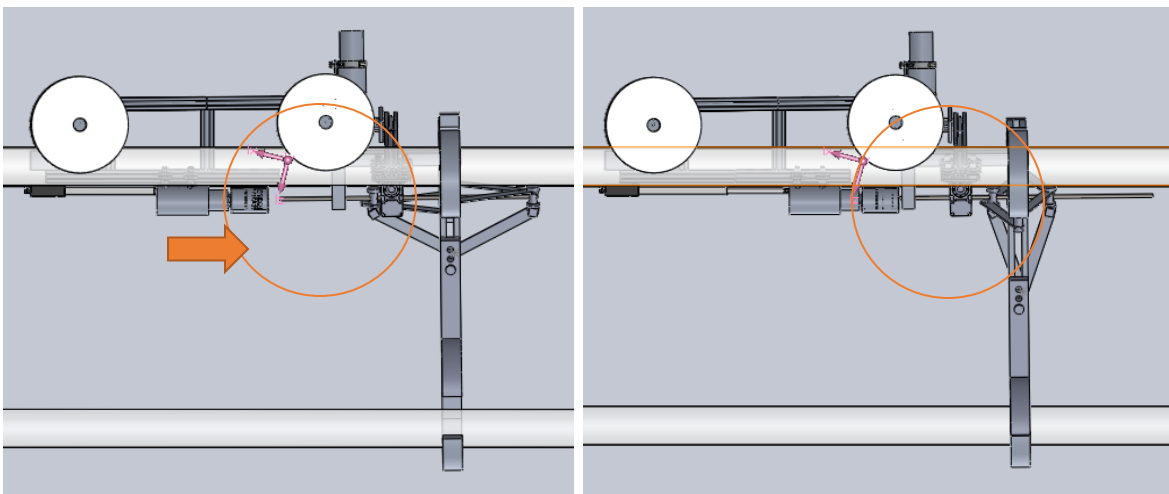


Figura 42 – Vista lateral do módulo robótico com espaçador acoplado e posição do CG antes e depois do passo 4.

Fonte: Os autores ,2021

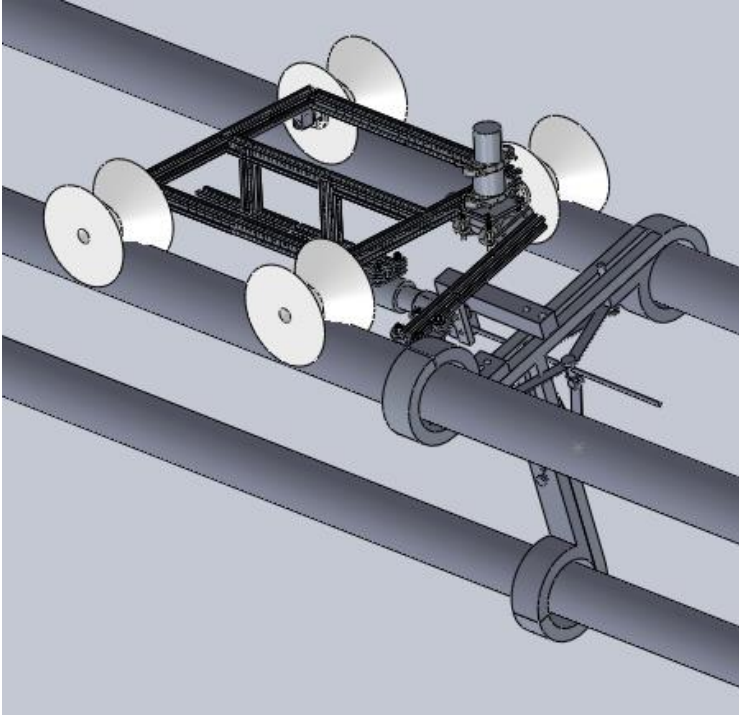


Figura 43 – Vista isométrica do módulo robótico com espaçador acoplado após passo 4.

Fonte: Os autores ,2021

5.1.5. PASSO 5

Com as garras fixas aos cabos, o espaçador pode ser solto pelo movimento de rotação do servomotor, destravando o mecanismo que o mantém fixo à garra e o módulo se distanciar do mesmo, com auxílio dos motores nas rodas.

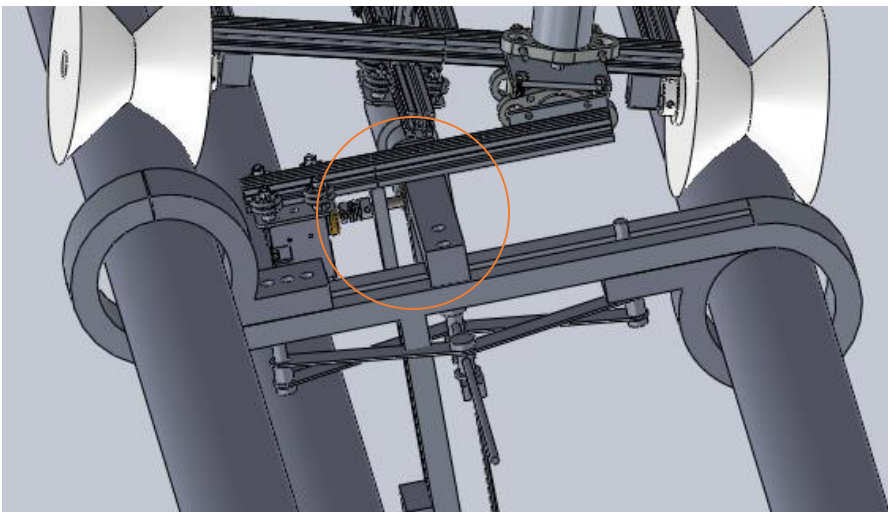


Figura 44 – Vista do modulo robótico com foco no mecanismo de agarra antes do passo 5.

Fonte: Os autores ,2021

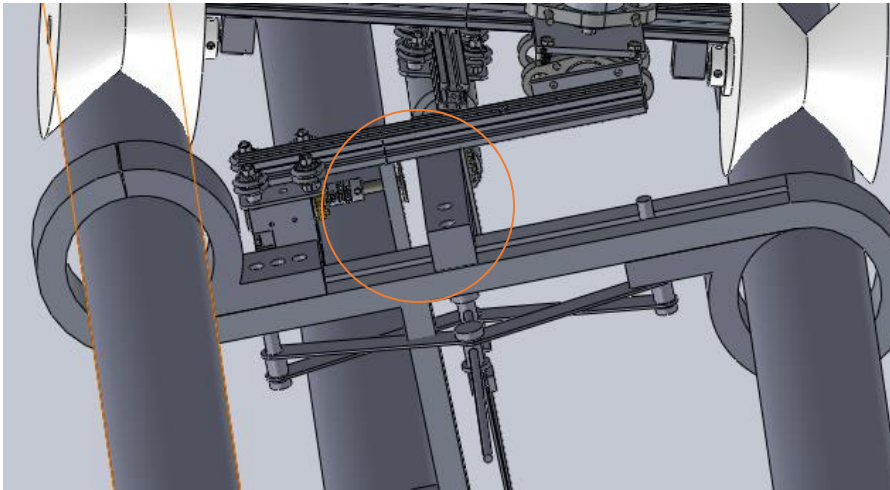


Figura 45 – Vista do modulo robótico com foco no mecanismo de agarra depois do passo 5.

Fonte: Os autores ,2021

5.3 REMOÇÃO DO MODULO ROBOTICO

Esta etapa será concluída em trabalhos futuros, mas em um projeto paralelo a este foi desenvolvido, porém ainda não testado, um método de aproximação, onde os acopladores magnéticos que serão posicionados sobre o modulo para transporte serão pintados para que o algoritmo possibilite o reconhecimento e aproximação dos cabos, identifique a posição do modulo ao sobrevoar sobre ele e faça o acoplamento, automatizando o processo de recuperação do modulo robótico após a instalação do espaçador desejado.

6. CÁLCULOS

6.1. FUSO AUTOTRAVANTE

O parafuso de rosca helicoidal, Fig. 44, foi uma das invenções mecânicas mais importantes da história. É a base dos parafusos, que possibilita transformar o movimento angular em movimento linear para transmitir potência, para desenvolver grandes forças (prensa, macaco, etc) e também utilizados como fixadores, um elemento importante em juntas não permanentes [11].

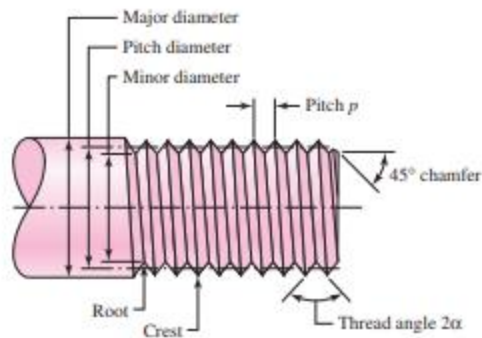


Figura 46 – Nomenclatura das variáveis de um parafuso

Fonte: Budynas, 2016

O parafuso é um item comumente usado como o elemento de fixação entre dois ou mais materiais e normalmente, estes são usados em conjunto com porcas ou arruelas, que são colocados para realizar a trava do conjunto. Mas existem parafusos que foram desenvolvidos para que não existisse a necessidade de travá-lo com porcas e arruelas, estes são chamados de autotravantes, Fig. 45.

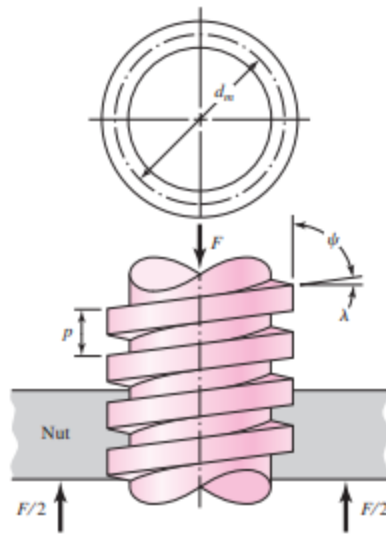


Figura 47 – Variáveis de um parafuso autotravante e distribuição de forças
Fonte: Budynas,2016

Os parafusos autotravantes são definidos pelo ângulo de suas roscas. As roscas dos parafusos de travamento automático são precisamente anguladas de forma que, uma vez que o parafuso seja colocado, elas não movam a menos que alguma força adicional seja aplicada [11]. Depois de colocar um parafuso autotravante na posição, ele não se moverá novamente, a menos que você use uma chave de fenda ou ferramenta semelhante para removê-lo da posição. Portanto, a condição para autotravamento é:

$$\pi f d_m \geq l \quad (1)$$

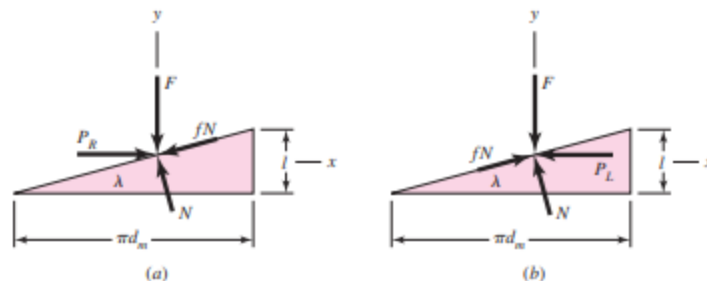


Figura 48 – Diagrama de força para elevar a carga na esquerda e para descer a carga na direita

Fonte: Budynas ,2016

Sendo:

f = Coeficiente de Atrito Estático

d_m = Diâmetro médio (Major diameter – Minor diameter)

l = Avanço por rotação do fuso

Ambos os fusos usados no projeto foram fabricados de aço, e são autotravantes, tanto o que foi aplicado na garra que mantém o espaçador fixo ao módulo, como o fuso que mantém o espaçador fixo aos cabos e eles tem a mesma geometria e dimensões, com o mostrado na Fig. 47. Os furos roscados, tanto da placa (PT) na garra como o suporte do espaçador serão fabricados em alumínio.

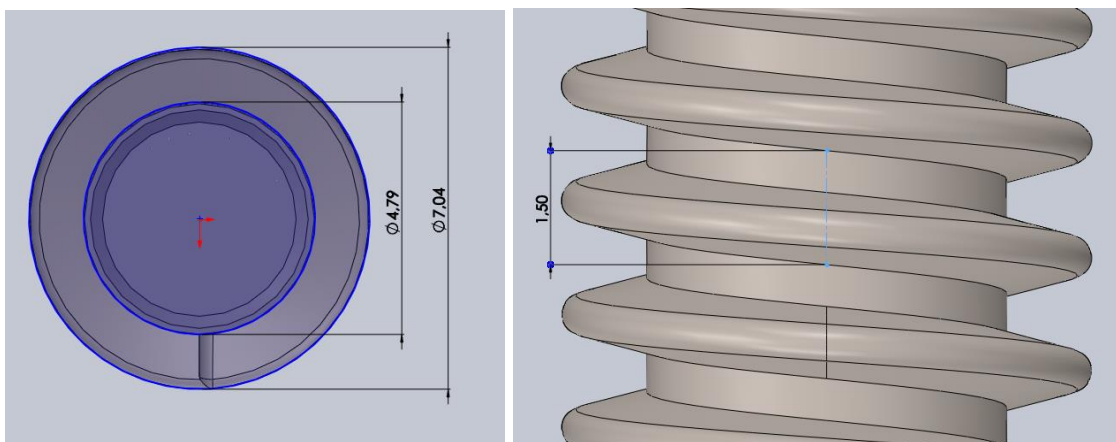


Figura 49 – Vista superior e lateral com dimensões dos fusos autotravantes.

Fonte: Os autores, 2021

Condição para um fuso auto-travante:

$$\pi f d_m > l$$

$$d_m = (7,04 + 4,79)/2 = 5,92 \text{ mm} = 0,23 \text{ [Polegadas]}$$

$$l = 1,5 \text{ mm} = 0,059 \text{ [Polegadas]}$$

$$f = 0,61 \text{ (Coeficiente de atrito estático entre aço e alumínio)}$$

$$\pi * 0,61 * 0,23 > 0,059$$

$$0,44 > 0,059$$

6.2 CÁLCULO DE FIXAÇÃO DOS ESPAÇADORES AO MÓDULO ROBÓTICO

Para calcular a força (F) necessária para manter o espaçador fixo à garra desenvolvida para o projeto, foi escolhida a pior condição possível, onde não existe apoio para o espaçador, sendo necessário que o atrito (Fat) causado na parede da garra e pela prensa, seja igual ou maior a força peso (P) do próprio espaçador.

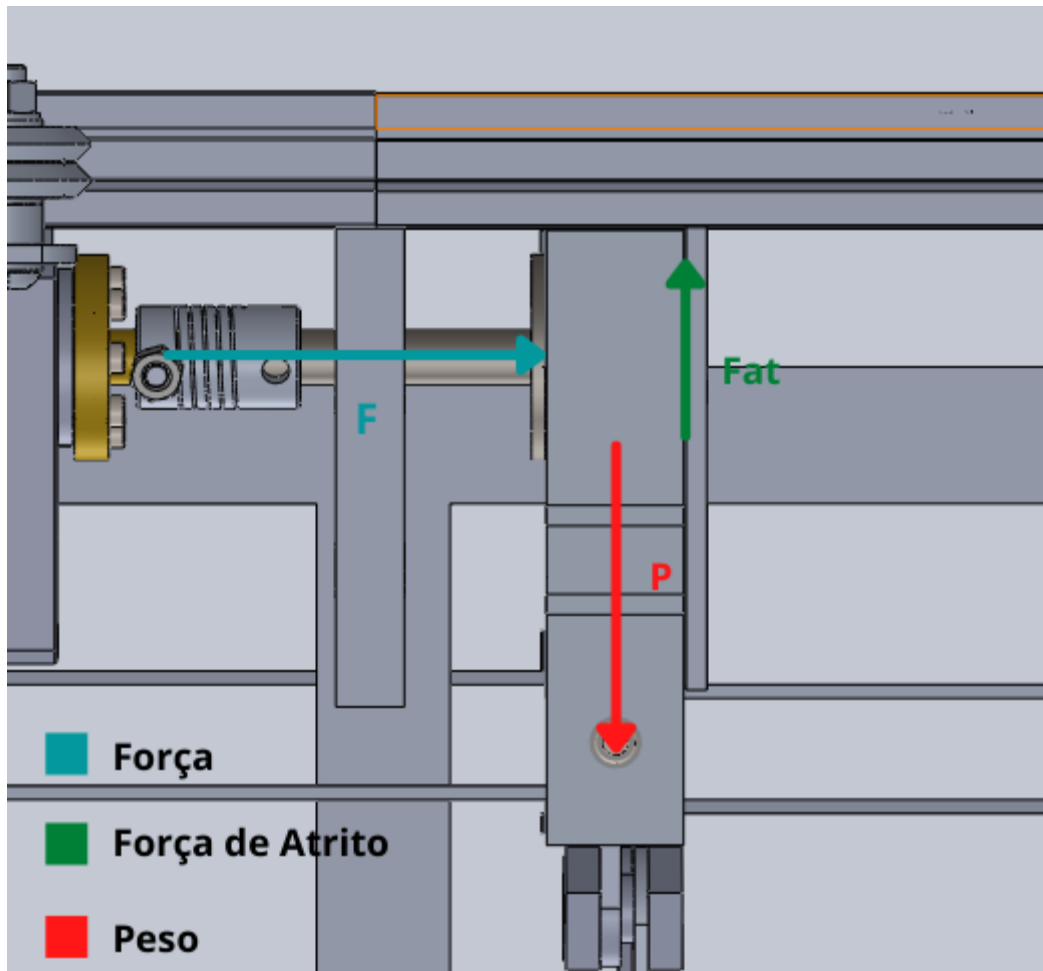


Figura 50 – Diagrama de forças.
Fonte: Os autores ,2021

$m = 3,23 \text{ kg}$ (Massa referente ao espaçador de 4 cabos)

$g = 9,81 \text{ [m}^2/\text{s]}$ (Aceleração da gravidade)

$f = 0,61$ (Coeficiente de atrito estático entre aço e alumínio)

$$P = m * g \quad (2)$$

$$P = 3,23 * 9,81 = 31,68 \text{ [N]}$$

$$Fat = f * N \quad (3)$$

$$31,68 = 0,61 * N$$

$$N = F = 51,90 \text{ N}$$

Portanto, a força linear necessária para a prensa manter o espaçador preso à garra é de 51,90 N, e com este numero, podemos descobrir o torque necessário para que o servomotor seja capaz de realizar tal trabalho.

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right)$$

$$T_R = \frac{51,90 * 5,92 * 10^{-3}}{2} * \left(\frac{1,5 * 10^{-3} + \pi * 0,61 * 5,92 * 10^{-3}}{\pi * 5,92 * 10^{-3} - 0,61 * 1,5 * 10^{-3}} \right) = 0,15 * \frac{0,013}{0,018} = 0,108 \text{ N*m} = 1,05 \text{ kg*cm}$$

Portanto, o torque necessário para travar um fuso pequeno como os aplicados no projeto, é baixo, cerca de 100 vezes menor do que o torque máximo do servomotor aplicado na garra, para segurar o espaçador, e mais de 200 vezes menor do que o torque necessário para manter o espaçador preso aos cabos.

Acontece que, em casos específicos onde o ângulo da rosca é grande ou o atrito é baixo, que a carga irá se abaixar fazendo com que o parafuso gire sem nenhum esforço externo. Em tais casos, o torque T_L da Eq. abaixo será negativo ou zero. Quando um torque positivo é obtido a partir da equação abaixo, o parafuso é autotravante.

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + fl} \right) \quad (4)$$

$$T_L = \frac{51,90 * 5,92 * 10^{-3}}{2} * \left(\frac{\pi * 0,61 * 5,92 * 10^{-3} - 1,5 * 10^{-3}}{\pi * 5,92 * 10^{-3} + 0,61 * 1,5 * 10^{-3}} \right) = 0,15 * \frac{0,00984}{0,0195} = 0,076 \text{ N*m} = 0,772 \text{ kg*cm}$$

Confirmando mais uma vez que o espaçador se manterá seguro quando aplicado a força encontrada nos cálculos descritos acima.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Drone adquirido para este projeto é um EFT E610, VANT agrícola com tanque para transporte de líquidos, este tem capacidade total de carga ou Maximum Take-Off Weight (MTOW) de 25 kg, sendo que a capacidade do compartimento de líquidos é de 10 kg.



Figura 51 – Drone EFT E610.
Fonte: EFT Drones,2021

O modulo foi projetado para que o peso total, com o espaçador acoplado ao drone não exceda 10 kilos, já pensando nas futuras adições ao projeto que deverão ocorrer, como os acopladores magnéticos para transporte do mesmo. A massa total fornecida pelo software Solidworks© foi de 9436 gramas, ou 9,463 kg, valor

satisfatório para a aplicação, já levando em conta todos os servomotores, fixações, estrutura, etc.

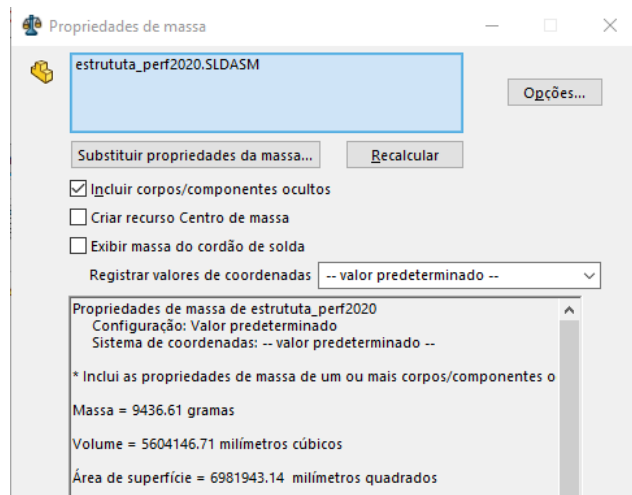


Figura 52 – Print da propriedade de massa do módulo robótico no SolidWorks.

Fonte: Os autores ,2021

A massa dos espaçadores para 2, 3 e 4 cabos foram, respectivamente, 1973 gramas, 2420 gramas e 3292 gramas, peso menor do que dos espaçadores comerciais, que ficam em torno de 2400 gramas, 3000 gramas e 4000 gramas, esta mudança não tem grande influência na instalação manual dos espaçadores, pois a variação de peso é pequena para determinar se o corpo humano é capaz de efetuar uma tarefa ou não, somente se tornaria mais confortável a realização do processo de instalação.

Porém, para o drone, esta variação é determinante tanto para que o peso total com o módulo acoplado seja menor que o seu MTOW (peso máximo de decolagem), que é de 25 kilos, e também auxilia o posicionamento do CG da aeronave, que fica melhor posicionado quanto menor o peso do espaçador, devido à posição do espaçador numa extremidade do módulo, causando grandes mudanças no CG com pequenas variações de carga.

A comparação mais próxima seria a instalação via helicóptero, devido a velocidade de operação e capacidade de chegar em locais de difícil acesso, ainda assim, cada um com suas vantagens, o helicóptero com um maior tempo de voo (por

decolagem), não depende de um espaçador específico para fazer a instalação, como é o caso deste projeto e possivelmente conseguirá realizar mais instalações do que um único drone no mesmo período de tempo, em contrapartida, é necessário dois operadores, um deles sendo piloto certificado pela ANAC, profissional que é bem remunerado no mercado de trabalho e um operador para realizar a instalação nos cabos, que existem os mesmos perigos já listados acima, porém neste caso, são duas vidas em risco caso aconteça qualquer acidente, grandes áreas específicas e seguras para pouso e decolagem pela necessidade de reabastecimento e descanso dos operadores.

Já o drone, acabaria por completo com os riscos dos operadores, devido a ótima dirigibilidade e o sistema de automatização da aproximação e recuperação do módulo, tem a necessidade de apenas um piloto operando e monitorando as ações do drone e do módulo robótico e tem necessidade de uma área mínima para pouso e decolagem.

O custo e dificuldade de deslocamento até o local da operação também deve ser reduzido, pois é necessário para o caso do helicóptero, que o mesmo se desloque do hangar até o local de operação, no caso da instalação manual, é necessário no mínimo todo equipamento de segurança e o aparato para escalar as torres e em alguns casos é necessário até a utilização de caminhões com andaimes que consigam chegar até o local da manutenção.

Para a instalação com o módulo robótico e drone, uma caminhonete ou talvez até um carro basta, pois se torna necessário o transporte apenas do aparato para instalação, que apesar do diâmetro de 2,0 metros do drone montado, desmontado a sua medida cai para 945 x 945 x 500 mm, além disso, baterias reserva e os espaçadores que serão instalados também devem ser transportados. E também tira a necessidade de chegar até o local exato da operação, sabendo que o drone tem uma autonomia de aproximadamente 3 km em sua máxima capacidade de carga.

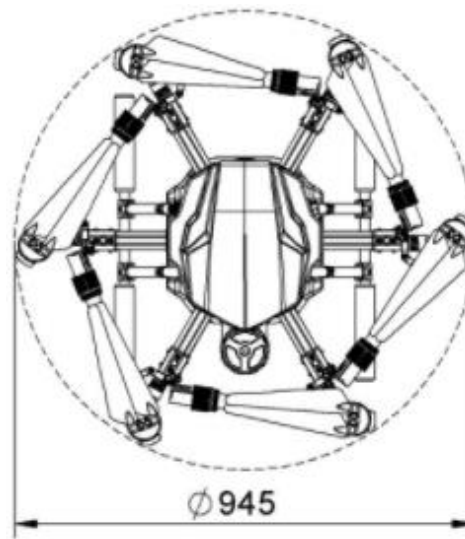


Figura 53 – Drone EFT E610.fechado.

Fonte: Manual Drone EFT E610,2021

E para fins comparativos, foi pesquisado os valores dos menores e mais baratos helicópteros (todos usados, para 1+1 passageiros), resultando no Helicóptero R22, foram encontrados por valores entre 520 mil e 2,6 milhão de reais [12], todos usados.

E o custo para se manter um helicóptero também é extremamente elevado, segundo a empresa de manutenção aeronáutica ADS Latin [13], apenas com hangar, manutenção e seguro, deve se esperar um custo médio de 35 mil reais por mês, e de combustível, uma aeronave usada com frequência (para transporte) gasta em média 30 mil reais por mês, e claro, sem contar o custo do piloto, que parte de 25 mil reais.

E vale lembrar que estamos falando de uma aeronave sem nenhum dispositivo específico para realizar a instalação dos espaçadores, como os equipamentos de segurança e a plataforma para o operador.

O valor do drone é de em média 70 mil reais novo [14], cada bateria extra de 22000 mAh tem um custo aproximado de 3 mil reais cada [15], para possibilitar a instalação de diversos espaçadores em uma só viagem, o custo de 5 drones novos não chega ao custo de um helicóptero usado com 20 anos de uso e milhares de horas voadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de espaçadores em torres de transmissão de energia está longe de ser extinta, sempre vai haver a necessidade de substituir peças antigas e muitas pessoas ainda não tem acesso a energia elétrica pelo mundo, no Brasil grandes populações indígenas e rurais vivem sem energia elétrica, segundo o IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente), estima-se mais de 990 mil pessoas somente na região amazônica. [16]

Quando acontecer o início da distribuição de energia para estas regiões, este modulo será ótimo para tal aplicação, pois muitas dessas são de difícil acesso, regiões montanhosas ou florestas, entregando uma segurança muito maior sabendo que não haverão seres humanos em risco, e até lá, quem sabe, até ter um processo totalmente automatizado, tanto para passar os fios, que já existem protótipos sendo testados, como a instalação de espaçadores, inspeção de falhas entre outros problemas que podem ser resolvidos perfeitamente com o uso de drones e módulos robóticos, sendo necessário humanos apenas para fazer o monitoramento destes, totalmente em segurança.

Os espaçadores desenvolvidos neste projeto, mesmo para serem aplicados manualmente, podem vir a ser muito convenientes, os mesmos apresentaram uma economia de peso em comparação com os modelos comerciais, possuem um projeto simples, o que é de suma importância para uma fabricação em grande escala, e por fim, mas não menos importante, facilitará o trabalho dos técnicos que devem trabalhar em grandes altitudes para realizar a instalação dos mesmos.

O modulo robótico ainda deve ser trabalhado e testado em alguns pontos, como o sistema de acoplamento no drone, bem como o algoritmo de reconhecimento e aproximação dos cabos e depois de recolhimento do mesmo, adicionar o sistema de controle e toda fiação necessária. E por fim, testar todo o aparato em tamanho real e em condições reais, realizando a instalação dos espaçadores de 2, 3 e 4 cabos.

A mudança necessária no espaçador para 4 cabos também deve ser testada em tamanho real, bem como o peso do modelo final, tudo isto deve ser testado em projetos futuros em uma bancada experimental.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Wang, F. Liu, Z. Wang, S. Xu, S. Cheng, J. Zhang, "Development of a Practical Power Transmission Line Inspection robot Based on a Novel Line Walking Mechanism", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan. 2010.
- [2] NORTON, R. L. Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada. 4ª ed. Proto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.
- [3] B. Jiang, A. Mamishev, "Robotic monitoring of power systems," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, 2004, 918 p.
- [4] Debenest, P., Guarnieri, M., "Expliner- From Prototype Towards a Practical Robot for Inspection of High-Voltage Lines", 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry, 2010.
- [5] Gonçalves, R. S., Carvalho, J. C. M., "Review and Latest Trends in Mobile Robots Used on Power Transmission Lines". In: International Journal of Advanced Robotic Systems , 2013.
- [6] M. Jayatilaka, M. Shanmugavel and S. V. Ragavan, "Robonwire: Design and development of a power line inspection robot", 1st International & 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM 2013), December 2013.
- [7] Pouliot, N., Montambault, S., "Geometric Design of the LineScout, a Teleoperated Robot for Power Line Inspection and Maintenance", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Pasadena, CA, USA, 2008.
- [8] R. S. Gonçalves, J. C. M. Carvalho, "A Legged Robot Suspended on Wire for Transposition of Insulators and Signaling Spheres". In: 3rd International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics, 2008, San Juan, 2008

[9] "IEEE Std 516TM-2003", IEEE Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines.

[10] R. Ishino and F. Tsutsumi, "Detection system of damaged cables using video obtained from an aerial inspection of transmission lines", *Power Engineering Society General Meeting 2004. IEEE*, pp. 1857-1862, 2004.

[11] BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 1084 p.

[12] Helicópteros Robinson R22 Usados. AirCraft 24, 2021. Disponível em: <https://pt.aircraft24.com/helicopter/robinson/r22--xm1253.htm>. Acesso em: 28 de outubro de 2021.

[13] Quais são os gastos mensais com helicóptero. ADS Latin, 2020. Disponível em: <https://adslatin.com/quais-sao-os-gastos-mensais-com-helicoptero/>. Acesso em: 28 de outubro de 2021.

[14] Drone pulverizador Arris E-410 –Tanque 10 litros. Drones Company. 2021. Disponível em: <https://dronescompany.com.br/drone-pulverizador-arris-e410-tanque-10-litros-kit-completo-para-vo>. Acesso em :28 de outubro de 2021

[15] Bateria Tattu 22000mah 6s 1p25c 22.2Vlipo. Mercado Livre. 2021. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1918156418-bateria-de-tattu-22000mah-6s-1p-25c-222v-lipo-zango-284401-_JM/ . Acesso em: 28 de outubro de 2021

[16] Aneel divulga prazos para universalização da energia elétrica. ANEEL. 2016. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EMZ6/content/aneel-divulga-prazos-para-universizacao-da-energia-eletrica/656877?inheritRedirect=false. Acesso em: 24 de outubro de 2021

