



Moisés Augusto Santacatarina

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ PARALELO TIPO
DELTA CONTROLADO COM ARDUÍNO**

Horizontina

2015

Moisés Augusto Santacatarina

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ PARALELO TIPO
DELTA CONTROLADO POR ARDUÍNO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Richard Thomas Lermen, Dr.

Horizontina

2015

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ DELTA PARALELO TIPO DELTA
CONTROLADO COM ARDUINO”**

Elaborada por:

Moisés Augusto Santacatarina

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 10/11/2015
Pela Comissão Examinadora**

**Titulação. Dr. Richard Thomas Lermen
Presidente da Comissão Examinadora - Dr. Richard Thomas Lermen**

**Titulação. Me. Cristiano Rosa dos Santos
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Titulação. Esp. Felipe Dal Piva Ely
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Horizontalina
2015**

DEDICATÓRIA

Com a conclusão deste trabalho eu o dedico para a minha família que me proporcionaram uma educação de qualidade e digna, estando sempre ao meu lado durante toda a minha caminhada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por sempre estar ao meu lado me iluminando, dando forças e me mostrando os melhores caminhos a seguir e me ajudando em minhas decisões.

Ao meu nono e minha nona, que sempre estiveram ao meu lado me incentivando em estudar e me dando força e coragem para enfrentar meus desafios.

Minha família por ter me dado uma educação de qualidade estando ao meu lado em todos os momentos me ajudando e me suportando durante toda minha vida universitária.

Em especial meus sinceros agradecimentos ao meu professor, orientador e amigo Dr. Richard Thomas Lermen, por todos seus ensinamentos e dedicação empenhada ao longo desta caminhada para a concretização deste trabalho, nunca medindo esforços para me auxiliar e sempre estando disponível e pronto para ajudar.

Ao acadêmico Alessandro La Rocca Silveira, por todo o suporte e auxílio prestado para a realização dos testes, por ter estado sempre disponível e comprometido com o que estávamos propostos a fazer, com certeza esta vivência junto foi produtiva agregando valor e conhecimento para mim e para o projeto, meus sinceros agradecimentos.

Para a Fundação Capacitar por estar sempre junto nesta caminhada e com um trabalho de mentores maravilhoso que com certeza nos torna acadêmicos e profissionais diferenciados.

Por fim, a Faculdade de Horizontina-FAHOR, e todos os professores que ao longo desta caminhada agregaram valor e conhecimento para ser o cidadão que sou hoje.

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos” (Marcel Proust).

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo de um robô paralelo tipo delta. Este robô tem diversas utilizações nas indústrias, por exemplo, pode ser utilizado para a manipulação de materiais, sendo a principal de *pick and place* (pegar e posicionar). Para o desenvolvimento deste protótipo foi usado barras de alumínio para fabricar os membros (hastes e os manipuladores), chapas de aço para a fabricação da base móvel e base fixa, três motores, três fontes de energia, três “*stepper drivers*” e um arduino. Uma caneta e um eletroímã fixado na base móvel foram utilizados para realização dos testes práticos. Também foi necessário construir um pórtico para fixar o robô. Após desenvolvido o protótipo do robô delta foram construídos códigos de programação que possibilitaram verificar a aplicabilidade deste robô simulando processos de solda (cordões de solda) e atividade de *pick and place* (pegar e posicionar). A partir destas atividades feitas foi possível identificar o comportamento do robô delta nas diferentes funções. Sendo assim este robô mostrou-se ágil, eficiente e preciso no desenvolvimento de manipulações de materiais (*pick and place*) e mostrando-se viável para a utilização em solda com finalidades de fazer cordões de solda.

Palavras-chaves:

Robô Paralelo Tipo Delta. Arduino. Dimensionamento Parcial.

ABSTRACT

The main objective of this study was to develop a prototype of a delta parallel robot type. This robot has many utilization in industries for handling materials being the main utilization is pick and place. To develop this prototype was used aluminum tubes to manufacture members (rods and handlers), steel sheets for the manufacture of mobile base, fixed base, three electric motors, three power sources, three stepper drivers and an Arduino. A pen and an electromagnet attached to the mobile base were used to carry out the practical tests. It was also necessary to build a fixture for fixing the robot. After developed the prototype of delta robot were built programming code that made it possible verify the applicability of robot simulating welding processes (weld cord) and pick and place activity. After these activities it was possible to identify the delta robot behavior in different functions. Therefore this robot shown to be agile, efficient and accurate in development of materials handling (pick and place) and proved to be viable for use in welding for purposes of making cord weld.

Keywords:

Delta Parallel Robot Type. Arduino. Partial Dimensioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partes da estrutura de um robô industrial.....	13
Figura 2(A): Robô de Solda Ponto.	14
Figura 2(B): Robo de Pintura à Spray.	14
Figura 2(C): Robô para Carga e Descarga em Maquinas CNC.....	14
Figura 3(A): Braço Mecânico.	16
Figura 3(B): Mão Biônica	16
Figura 3(C): Robô Da Vinci.	16
Figura 4(A): Robô Aquático.....	17
Figura 4(B): Drone... ..	17
Figura 4(C): Robô terrestre com pernas.....	17
Figura 4(D): Robô terrestre com esteira.....	17
Figura 5: Robô Delta.....	19
Figura 6: Juntas e órgão terminal.....	20
Figura 7: Montagem do robô delta mostrando o ângulo em torno dos eixos.	21
Figura 8: Base menor do robô	22
Figura 9: Cinemática.....	22
Figura 10: Arduino.	24
Figura 11: Posição inicial com ângulo de 0°	25
Figura 12: Movimentação com ângulo de 45° aplicado.....	26
Figura 13: Dimensionamento de carga.	26
Figura 14: Partes do Robô.....	28
Figura 15: Esquema elétrico	30
Figura 16: Partes do robô delta.....	33
Figura 17: Alcance X e Y	34
Figura 18: Alcance Z.....	35
Figura 19: Pontos de alcance no espaço.....	35
Figura 20: Volume de trabalho, elipsoide de revolução.....	36
Figura 21: Teste de capacidade de carga	37
Figura 22: Teste de capacidade de carga com movimentação XY.....	37
Figura 23: Atividade prática, desenvolvimento de um triangulo.....	38
Figura 24: Atividade prática, “pick and place”.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVOS	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1	HISTÓRIA DA ROBÓTICA	12
2.2	TIPOS DE ROBÔS	13
2.2.1	ROBÔS INDUSTRIAIS	13
2.2.2	ROBÔS MÉDICOS	16
2.2.3	ROBÔS MÓVEIS	17
2.3	ROBÔ PARALELO TIPO DELTA	19
2.3.1	EQUIPAMENTOS CONSTITUINTES E FUNCIONAMENTO DE UM ROBÔ DELTA	19
2.3.2	CINEMÁTICA	20
2.3.4	VOLUME DE TRABALHO	23
2.3.5	ARDUINO E SOFTWARE	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	26
3.2	DIMENSINAMENTO	26
3.2.1	DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DE TRABALHO	26
3.2.2	DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DE CARGA DO MOTORES	27
3.3	CONSTRUÇÃO DO ROBÔ DELTA	28
3.3.1	EQUIPAMENTOS PARA A FABRICAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E FUNCIONALIDADES DO ROBÔ DELTA	28
3.3.2	TESTES EXPERIMENTAIS A SEREM REALIZADOS COM O ROBÔ DELTA	32
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4.1	PROJETO E FUNCIONALIDADE DO ROBÔ DELTA	34
4.1.1	ANALISE DA ESTRUTURA E PARTES DO ROBÔ DELTA	34
4.1.2	ANALISE DE MOBILIDADE E ALCANCE DIMENSIONAL DO ROBÔ	35
4.1.2.1	COORDENADA Z	36
4.1.3	ANALISE DE MOBILIDADE EM TORNO DOS PONTOS DE ALCANCE E VOLUME	36
4.1.4	CAPACIDADE DE CARGA E ADAPTABILIDADE DESTE ROBO PARA PROCESSO DE SOLDA, FRESA E PICK AND PLACE	37
5	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
	APÊNDICE A	44
	APÊNDICE B	45
	APÊNDICE C	46

1. INTRODUÇÃO

As empresas estão dentro de um mercado competitivo cada vez mais acirrado, sendo imprescindível estar sempre buscando inovações e soluções para melhorar os processos os tornando mais competitivos, aumentando a capacidade produtiva, melhorando processos e técnicas de produção. No meio deste cenário o uso de robôs está crescendo e se mostrando como uma solução para alguns problemas industriais.

Em muitas empresas do segmento de componentes eletrônicos, de alimentos, de cosméticos e farmacêuticos, as atividades repetitivas nas linhas de produção com operações de pegar e posicionar estão sendo desenvolvidas por robôs do tipo delta, nas quais consegue-se manter alto desempenho nos trabalhos durante o dia todo. Estes trabalhos são feitos de forma uniforme com alta velocidades e com precisão nos movimentos aumentando a produtividade.

Os robôs delta possuem manipuladores de três graus de liberdades com movimentações de translação, as quais são controladas por três motores de passo. Estes robôs são multifuncionais e reprogramáveis podendo exercer funções variadas, sendo que na maioria das vezes são usados para mover e manipular materiais ou ferramentas (ALBUQUERQUE & MEGGIOLARO, 2008).

1.1 JUSTIFICATIVA

As empresas estão buscando maior produtividade, qualidade e um trabalho feito com precisão, sendo que o uso de robôs no meio industrial está crescendo cada vez mais, sendo possível ter maior precisão nas atividades, maior produtividade e um desenvolvimento de trabalhos repetitivos com melhor qualidade do que os feitos manualmente.

Nas indústrias em geral quando se tem trabalhos nas quais são perigosos aos seres humanos, sendo nocivos à saúde, ou desconfortável como a realização de trabalhos repetitivos ao longo do dia, para estas atividades está se buscando cada vez mais a utilização de robôs. Sendo assim se faz necessário o desenvolvimento de robôs que possibilitam a solução de problemas relacionados a tarefas feitas pelos seres humanos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal foi de projetar e desenvolver um robô paralelo tipo delta multifuncional o qual consegue realizar diferentes tipos de atividades.

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos foram necessários:

- Realizar o desenho do protótipo do robô em software de CAD;
- Construir o protótipo do robô paralelo tipo delta;
- Demonstrar o funcionamento do robô delta para a atividade de “*pick and place*” (pegar e posicionar);
- Demonstrar o funcionamento do robô delta com uma caneta fixada na base móvel simulando por exemplo a execução de cordões de solda.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura é de extrema importância ao decorrer do estudo, pois é nesse momento que vai ser obtido os conhecimentos do que já se conhece e foi publicado sobre a robótica.

Neste trabalho a revisão da literatura apresenta um breve histórico sobre a robótica e os tipos de robôs. O foco é o robô paralelo tipo delta e os conceitos fundamentais para o funcionamento destes robôs. Também é apresentado uma descrição do sistema controlador arduino.

2.1 HISTÓRIA DA ROBÓTICA

A palavra “robô”, foi primeiro utilizada pelo escritor Theco de peças teatrais Karel Capek em sua peça R.U.R. “*Robôs Universais de Rossum*”, que estreou em Praga, em janeiro de 1921. A palavra robô significa “*trabalhador escravo*” ou “*servo*”. A peça foi um sucesso e logo estreou também nos Estados Unidos e na Europa, com seu tema inovador, mostrando a desumanização das pessoas em uma sociedade tecnologicamente avançada. Surpreendentemente, Karel acreditava que os robôs seriam criados através de meios químicos e não mecânicos. Existem algumas evidências também que a palavra na verdade foi uma sugestão de seu irmão Josef (TARTANI FILHO, 2006).

Abaixo tem-se os principais anos e acontecimentos relacionado com a robótica, conforme diz (PSCHEIDT, 2007):

- 1948 foi inventado os transistores fazendo com que os robôs passassem a serem controlados por computadores;
- 1954 surgiu a primeira patente de um robô controlado por computador no nome de George Devol;
- 1963 aparecem os primeiros protótipos de robôs;
- 1968 foi construído o primeiro robô e a partir deste tendo diversas evoluções e melhorias;
- 1984 a robótica chegava ao Brasil através da SEI (Secretaria Especial de Robótica);
- 1994 teve a maior evolução da robótica no mundo quando a NASA desenvolveu um robô para verificar os vulcões ativos;

- 1997 foi enviado para Marte o primeiro robô.

2.2 TIPOS DE ROBÔS

Os robôs são classificados em três tipos sendo eles robôs industriais, robôs médicos, robôs móveis (USATEGUI & LEÓN, 1990).

2.2.1 Robôs Industriais

Segundo SECCHI (2008) os robôs industriais são os de maior difusão em tarefas de alcance econômico. Formados por uma estrutura mecânica articulada, que se move adaptando diferentes configurações pelas ordens recebidas de um equipamento de controle baseado normalmente em um microprocessador.

Os robôs industriais, Figura 1, também conhecidos pela sigla (RI), são compostos por quatro partes diferentes (USATEGUI & LEÓN, 1990).

- Os manipuladores, são as partes responsáveis pelas ações e movimentações do robô.
- Fonte de Energia, o qual é responsável por alimentar o robô fornecendo a potência necessária para realizar as funções e exercer os comandos.
- Controlador, o qual armazena todas as ordens e movimentações que o robô executa e é através destes comandos que vai ser realizado todos os movimentos.
- Elemento terminal, dependerá de cada tipo de robô e cada tipo de aplicação tendo um elemento terminal específico para cada atividade.

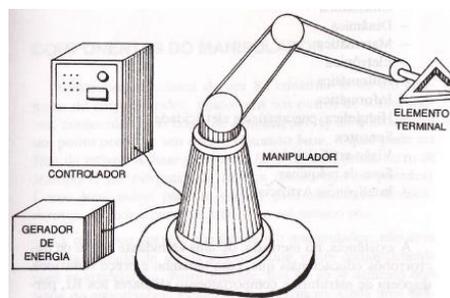


Figura 1: Partes da estrutura de um robô industrial. Fonte: (USATEGUI & LEÓN, 1990)

Os robôs industriais de solda ponto, de pintura e carga e descarga em máquinas CNCs, são muito utilizados nas indústrias buscando maior eficiência, qualidade e produtividade.

O processo de solda ponto é complexo e necessita um alto grau de precisão. Sendo ideal a utilização de robôs neste processo. Com seus movimentos precisos e capazes de alcançar difíceis posições, sem danificar as peças. O processo de solda ponto é baseado em um fluxo de alta corrente entre dois eletrodos e através de dois pedaços de metais a serem unidos. Quando a corrente passa, um grande calor é gerado no ponto de contato entre as duas peças. A fim de manter as partes de metais juntas, a pressão dos eletrodos é mantida por um curto período até que o ponto onde se realizou a solda esfrie e se solidifique (TAUCITA, SANTOS, & ALMEIDA, 2013). A Figura 2(A) mostra um modelo dos robôs de solda ponto.



Figura 2.(A) Robô de Solda Ponto, (B) Robô de Pintura à Spray, (C) Robô para Carga e Descarga em Máquina CNC. Fonte: (EYEROBOT, 2015; FOCUS CÉLULAS, 2015).

Na aplicação de tinta spray, a flexibilidade dos robôs se torna evidente, os quais podem armazenar um programa específico para cada tipo de item a ser pintado. Vários robôs utilizados nessas aplicações não possuem sistema de sensoriamento isso porque a parte a ser trabalhada é posicionada a uma distância estabelecida e direção a partir da base do robô, podendo ser aplicado em objetos parados ou em movimentos (TAUCITA, SANTOS, & ALMEIDA, 2013).

No caso de objetos estáticos, o robô começa a operação apenas depois de receber um sinal confirmando que o item a ser pintado se encontra na posição correta. Quando trabalha-se com objetos móveis os robôs recebem sinais dos trilhos usados para transportar os itens, estes sinais são emitidos ao longo de toda movimentação na linha, atualizando o robô sobre a direção e distância do item em relação a base (TAUCITA, SANTOS, & ALMEIDA, 2013). A Figura 2(B) mostra um modelo de robô de pintura spray.

As máquinas ferramentas são aquelas que realizam processos de usinagem em peças, como por exemplo torneamento, desbaste, moagem etc. A introdução de dispositivos CNC (Comando Numérico Computadorizado) reduziu a necessidade de operadores hábeis em usinagem, necessitando apenas para a realização das atividades de carga e descarga das máquinas. Com os dispositivos CNC passando a realizar atividades de ajustes de parâmetros das máquinas de acordo com os processos envolvidos, trocas de ferramentas o robô veio após provar ter uma ótima relação custo benefício ocupando a posição de carga e descargas nas máquinas deixando o ser humano na supervisão e monitoramento das peças, assim estes robôs passaram a fazer parte das células de trabalho servindo várias máquinas ao mesmo tempo. (TAUCITA, SANTOS, & ALMEIDA, 2013), conforme Figura 2(C) que mostra o robô exercendo as atividades na indústria.

Tem-se como vantagens: a) alta produtividade, b) pode trabalhar 24 horas por dia e 7 dias por semana, c) não há problemas com fadiga e movimentos repetitivos, d) maior produtividade.

Algumas desvantagens: a) alto custo de aquisição, b) sendo impossibilitado para empresas de pequeno porte e com baixa produção, c) precisa-se de pessoas treinadas para operação e se eventualmente o robô precisar de algum reparo, d) se ocorrer um erro de posicionamento do item o robô realizará a atividade conforme a execução do programa o que acarreta em uma não conformidade.

2.2.2 Robôs médicos

Segundo USATEGUI & LEÓN (1990), dá-se este nome de robôs médicos às próteses de braços, pernas ou mãos biônicas as que possui motorização própria e que tenha capacidade de funcionamento com autonomia e com ações reflexas.

Os robôs médicos de cooperação ou de reabilitação são concebidos como próteses inteligentes para as pessoas com necessidades físicas que se diferenciam do resto em sua forma procurando ter a aparência da correspondente extremidade humana. Com a realização das funções através de sinais emitidos pelo sistema nervoso ou muscular, podendo dobrar o cotovelo, rodar a munheca ou mover o ombro entre outros (SECCHI, 2008).

Ao todo um braço humano consegue realizar 30 movimentos sendo que estas próteses permitem que a pessoa consiga realizar 25 movimentos do braço, por

exemplo, possibilitando pegar objetos e movimenta-los sendo possível pegar um copo de suco. Na Figura 3(A) tem-se uma prótese de um braço.

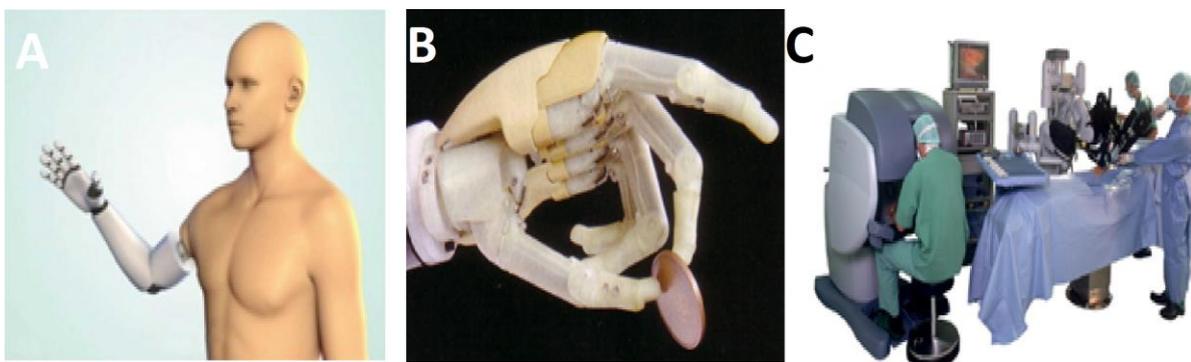


Figura 3.(A) Braço Mecânico, (B) Mão Biônica, (C) Robô Da Vinci. Fonte: (P3 PÚBLICO, 2015; DRCARLOSREY, 2015; UROLÓGICAINDAIATUB, 2015).

Hoje o modelo mais moderno de uma mão biônica possui movimentos próprios e independentes para cada dedo, permitindo que cada um possa se movimentar isoladamente. Para a implementação desta mão biônica não é necessário de cirurgia sendo possível conectar os sensores sobre a pele e assim captar as contrações musculares. Um computador dentro da prótese interpreta todos os sinais e o envia para que a prótese possa realizar este movimento (SILVA, 2011). A Figura 3(B) mostra uma mão biônica.

Existe também os robôs desenvolvidos especificamente como assistentes em tarefas cirúrgicas de grande precisão e alta complexibilidade como exemplo o robô Da Vinci Figura 3(C), este sistema único no mundo permite avanços para conseguir cirurgias menos invasivas empregando instrumentos cirúrgicos de vanguarda junto com sistemas de visualização em três dimensões 3D, (SECCHI, 2008).

Tem-se como vantagens: a) redução no período de Internação, b) cicatrização mais rápida, c) com o sistema invasivo não é necessário realizar um grande corte para o profissional realizar a cirurgia favorecendo o profissional de medicina e o paciente que terá um pós operatório mais rápido, d) as próteses tem alta resistência e longa durabilidade.

Algumas das desvantagens: a) alto custo de aquisição do equipamento, b) longo período de treinamento para aprender a usá-lo, c) é um robô com movimentos mecânico está sujeito a defeitos mecânicos podendo ocorrer algum problema mecânico durante a cirurgia colocando em risco toda atividade e a vida do paciente, d) alto custo de aquisição.

2.2.3 Robôs Móveis

Os robôs móveis são dispositivos de transporte automático, ou seja, são plataformas mecânicas dotadas de um sistema de locomoção capaz de navegar através de um determinado ambiente de trabalho, dotados de certo nível de autonomia para sua locomoção e portando cargas. Suas aplicações estão relacionadas com tarefas que normalmente são arriscadas ou nocivas para a saúde humana. Alguns exemplos são as tarefas de monitoramento e manutenção em reatores nucleares, manipulação de materiais explosivos, exploração subterrânea e etc (SECCHI, 2008).

Os robôs móveis aquáticos são utilizados em lugares aonde os trabalhos dos mergulhadores é de alto risco como em zonas de alta pressão e profundidade, geralmente eles têm como finalidades estudar o fundo do oceano, retirar algum tipo de material que se encontra em águas profundas (USP, 2015).

Atualmente o Brasil usa o auxílio de robôs aquáticos para estudar o fundo da Antártica conseguindo alcançar águas mais profundas e permanecendo por longo tempo no fundo do oceano, este robô é capaz de tirar fotos e realizar filmagens, (USP, 2015), conforme Figura 4(A).

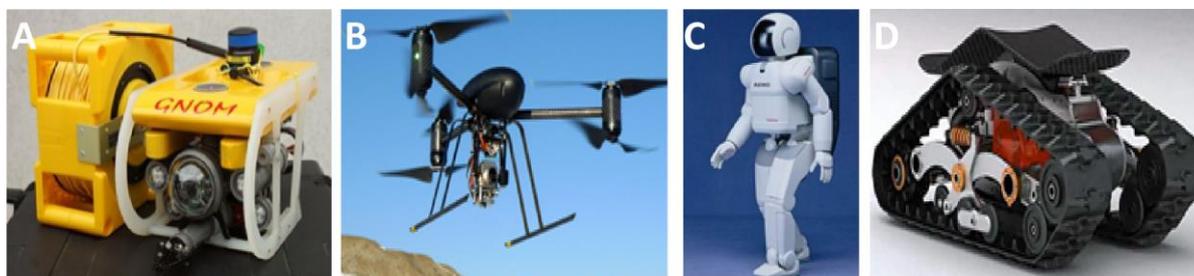


Figura 4.(A) Robô Aquático, (B) Drone, (C) Robô terrestre com pernas, (D) Robô terrestre com esteira. Fonte: (USP, 2015; CONSTRUTURAMODELO, 2015; INOVAÇÃOTECNOLÓGICA, 2015; BLOGMOTOR, 2015).

Os robôs móveis aéreos são aeronaves não tripuladas que se locomovem no ar, geralmente são helicópteros, aviões ou drones equipados com câmera capazes de tirar fotos ou realizar vídeos. São utilizados para vários fins como reconhecer terreno, áreas de investigações e usados na meteorologia como no monitoramento de vulcões.

Os primeiros drones foram construídos para fins militares para o uso durante batalhas muito perigosas aonde era de grande risco ter um pelotão de linha de frente de homens. Então com o uso de drones era possível monitorar as áreas e apoiar as tropas nos campos de batalhas. Os drones também são usados por civis, fotógrafos

ou cinegrafistas para fazer vídeos de determinados lugares ou tirar fotos de diferentes ângulos conforme Figura 4(B).

Os robôs móveis terrestres podem ser com pernas ou com esteiras, Figura 4(C). Os robôs com pernas são geralmente utilizados em ambientes específicos, com escadas, terrenos acidentados, subidas, etc. A dificuldade no desenvolvimento destes protótipos, está na maioria das vezes na movimentação das pernas, pois deve-se levar em consideração que o mesmo deve ter articulações e mobilidades das mesmas (PSCHEIDT, 2007).

Já os robôs com esteiras: são geralmente utilizados em solos irregulares, como areia, pedregulhos ou qualquer outro tipo de solo fofo. O grande problema está ligado no alto consumo de energia causado pelo próprio movimento da esteira (PSCHEIDT, 2007) Figura 4(D).

Tem-se como vantagens: a) o robô não cansa, b) mantém qualidade nos serviços, c) não necessitam de comodidades como ar condicionado.

Algumas das desvantagens: a) necessitam de reparos e mão de obra especializadas e que dependendo do lugar e missão que estão estes reparos ficam impossibilitados, b) tem memórias e aprendizados limitados.

2.3 ROBÔ PARALELO TIPO DELTA

O robô paralelo tipo delta é definido como um manipulador multifuncional reprogramável. Este robô foi projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos através de movimentos que podem ser reprogramáveis e variados para o desenvolvimento de diversas tarefas (PANDILOV & DUKOVSKI, 2014).

O Robô Delta, conforme Figura 5 foi desenvolvido pela “Asea Brown Boveri” tem utilidade nas atividades “*pick and place*”. Com três graus de liberdades translacionais se tornou popular em aplicações nas áreas de embalagens, indústria farmacêutica, alimentícia, de eletrônicos, entre outras.



Figura 5: Robô Delta. Fonte: (M.A.R, 2015)

2.3.1 Equipamentos constituintes e funcionamento de um robô tipo delta

Para a construção de um robô delta basicamente precisa-se de três motores, três drivers, três fontes de alimentação, um arduino e uma estrutura mecânica funcional na qual permite a mobilidade e a realização dos movimentos.

Este robô delta possui os seguintes equipamentos constituintes (OTTONI, 2010):

- Manipuladores: São as partes mecânicas que realizam os movimentos;
- Atuadores: São os motores que movimentarão os manipuladores;
- Controlador: É o computador;
- Fonte de Energia: Podem ser por baterias ou rede elétrica;
- Drivers: Controla o motor de passo;
- Arduino: Faz a interpretação dos dados e envia os comandos para os motores;
- Transmissão de energia e dados: São as fiações do sistema.

A ideia básica do robô delta é o uso de três paralelogramos que mantêm constante a orientação da plataforma móvel, mesmo com três graus de liberdades puramente de translação. Os três paralelogramos giram sobre três juntas de rotação. A grande vantagem do robô delta é que os atuadores estão na base fixa, as hastes e os manipuladores tem baixo peso permitindo grandes velocidades de operação (SALABARRIA, 2007).

2.3.2 Cinemática

O estudo da cinemática é de suma importância para se determinar as posições de deslocamento e a realização de movimentos realizados pelos motores. A

cinemática é dividida em quatro partes: Cinemática Inversa, Cinemática Direta, Cinemática Dinâmica e Cinemática Paralela (LAZZARI, OLIVEIRA, & PAIXÃO, 2012).

A cinemática inversa envolve a determinação da posição das juntas a partir da posição do órgão terminal conforme Figura 6, normalmente para os manipuladores de estrutura em série é um problema difícil, pois nem sempre é possível encontrar uma solução analítica e também normalmente a solução não é única (LOPES, 2002).



Figura 6: Juntas e órgão terminal

A cinemática inversa consiste em determinar as variáveis das juntas correspondente a uma dada posição e orientação da junta, sendo que a solução deste problema é de fundamental importância, pois permite transformar o movimento desejado nas juntas no posicionamento desejado no espaço das coordenadas (CRUZ, 2007).

Ainda CRUZ, (2007) diz que as equações são geralmente não lineares e muitas das vezes não é possível encontrar uma solução fechada e podendo existir múltiplas soluções.

A cinemática direta envolve a determinação da posição generalizada do órgão terminal a partir da posição das juntas, para manipuladores de estrutura em série na maioria dos casos é um problema simples e com uma solução única (LOPES, 2002).

SALLES, (2011), diz que dentro da modelagem cinemática tem-se duas classificações de trajetórias:

- Cinemática Inversa: dado a posição final é necessário encontrar o caminho para alcançar esta posição.
- Cinemática direta: a posição final deve ser encontrada através de posições iniciais já estipulada.

O planejamento cinemático dinâmico de movimento do robô tem como objetivo planejar caminhos factíveis, isto é, que obedeçam as restrições impostas pelo modelo dinâmico do robô, além de evitar colisões com os obstáculos presentes no ambiente (VAS, 2011).

A cinemática paralela do robô é baseada no mecanismo de paralelogramo que é ligado pelos três braços rotativos e a plataforma inferior que pode mover-se livremente em eixos (X,Y,Z), os mecanismos cinemáticos são ligados o que dá maior estabilidade na estrutura e nas propriedades mecânicas. O mecanismo básico do robô delta consiste em três braços cinemáticos fechados em torno do eixo do robô em um ângulo de 120° (POPPEOVA, REJDA, URICEK, & BULEJ, 2012), conforme a Figura 7.

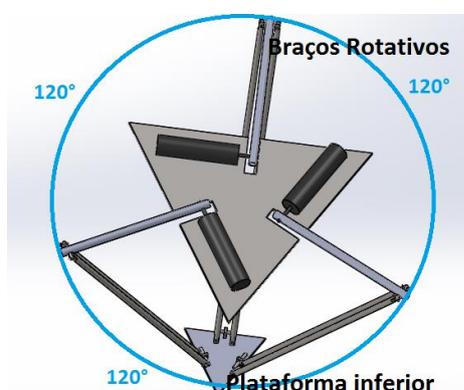


Figura 7: Montagem do robô delta mostrando o ângulo em torno dos eixos

Para movimentar o robô à uma determinada posição em que será denominada $C(X_0, Y_0, Z_0)$, será preciso calcular o ângulo nos motores em relação ao plano de origem no sistema cartesiano, assim através da cinemática inversa será possível calcular a posição final desejada $C(X_0, Y_0, Z_0)$ conforme Figura 8. Esta posição se encontra no centro da base móvel e com as juntas fixadas na lateral, denominado C_1 , sendo assim precisa-se levar em conta a distância da lateral até o centro (LAZZARI, OLIVEIRA, & PAIXÃO, 2012).

Sendo assim, pode-se definir a distância CC_1 através da equação 1:

$$CC_1 = \frac{h}{2} * tg30^\circ$$

Sendo que $tg 30^\circ$ é:

$$\frac{1}{\sqrt{3}}$$

Assim tem-se:

$$CC_1 = \frac{h}{2\sqrt{3}} \quad (1)$$

h = Distância da aresta

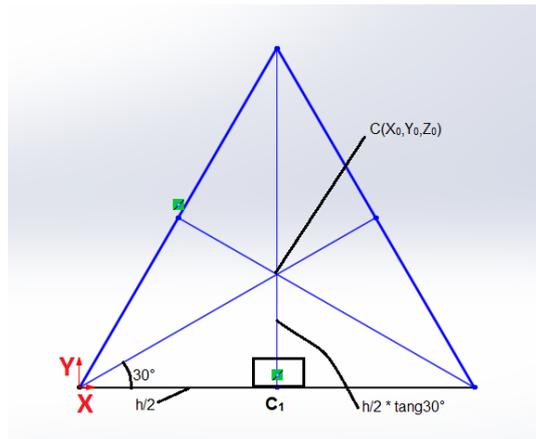


Figura 8: Base menor do robô

Definido que a distância CC_1 está alinhado ao plano do eixo Y descreve-se o ponto C_1 da seguinte forma.

$$C_1(X_0, Y_0 - \frac{h}{2\sqrt{3}}, Z_0)$$

Se o ponto C_1 estiver projetado no plano YZ, tem-se:

$$C_1(0, Y_0 - \frac{h}{2\sqrt{3}}, Z_0)$$

Observando o plano YZ, pode-se formar dois triângulos, conforme observado na Figura 9.

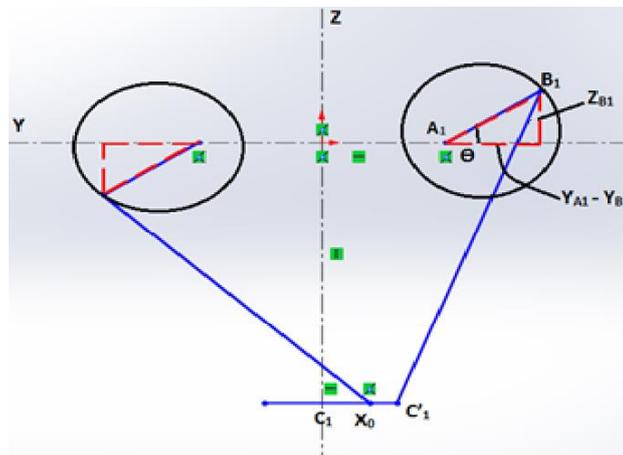


Figura 9: Triângulos formados para cálculos do diâmetro X_0

Através do ângulo dado é formado os dois triângulos no plano YZ sendo possível encontrar as variáveis Z_{B1} e Y_{B1} , usando as formulas de *cos* e *sen*.

$$\cos\theta = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{sen}\theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}}$$

Aplicando a equação (2), é possível encontrar o diâmetro (X_0).

$$(Y_{B1} - Y_{C'1})^2 + (Z_{B1} - Z_{C'1})^2 = (B_1)^2 - (X_0)^2 \quad (2)$$

$$(X_0)^2 = (B_1)^2 - ((Y_{B1} - Y_{C'1})^2 + (Z_{B1} - Z_{C'1})^2) \quad (2)$$

2.3.4 Volume de trabalho

Tem como objetivo apresentar os pontos máximos de alcance que o robô é capaz de realizar movimentos sem colidir com a própria estrutura e respeitando os limites das juntas de mobilidade.

O volume máximo de trabalho ou alcançável é definido por TARTANI FILHO, (2006) pelo conjunto de pontos no espaço que pode ser alcançada por pc (ponto central da base móvel) com pelo menos uma orientação dos motores, produzindo um mapa completo aonde é possível ter o volume de trabalho.

CUONG, THO, & THINH, (2013), diz que um passo importante no processo de concepção de um robô é entender o comportamento da estrutura, como ela se move em torno de seu espaço de trabalho ou como desenvolve uma tarefa.

2.3.5 Arduino e software

Arduino é definido por BORTHOLOTTO (2009), como uma placa que pode se conectar a vários dispositivos podendo aplicar ações ou ler informações utilizando comandos pré configurados na arduino passando a ser um centro de controle.

A linguagem de programação Arduino é a linguagem Processing baseada na linguagem C/C++, a qual é também open-source, não exigindo compiladores para o hardware adicional em que são disponibilizadas bibliotecas que permitem interface com outros hardwares assim possibilitando o desenvolvimento de aplicações simples ou complexas em qualquer área (ISIDORO, 2014).

A Figura 10 demonstra o modelo de uma placa arduino e suas partes.



Figura 10: Arduino

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Os métodos e técnicas utilizadas serão apresentados e especificados em três etapas, a primeira apresenta o dimensionamento do robô delta, a segunda irá descrever a construção, desenvolvimento e funcionalidades de cada parte do robô delta e pôr fim a terceira que será descrito os testes experimentais com o robô delta.

Para a construção do protótipo do robô delta foi utilizado três motores de passo modelo TKA 344005 com um torque de 40 kgf.cm, três stepper motor drivers modelo M 542 e três fontes de alimentação modelo PWM MS-350-48 de 5,5 A e tubos de alumínio para a construção das hastes e manipuladores. Estes equipamentos tinham-se disponível na FACULDADE FAHOR.

3.2 DIMENSIONAMENTO

Foi dimensionado qual é a força peso que o robô consegue suportar usando o motor de passo TKA 344005 com torque de 40 kgf/cm e o dimensionamento da área de trabalho com um ângulo aplicado de 45° nos motores.

3.2.1 Dimensionamentos da área de trabalho

Para mover o robô para uma determinada posição e encontrar a área de trabalho com o ângulo de 45° aplicado nos motores, foi necessário aplicar os cálculos baseados na cinemática.

A posição inicial de trabalho do robô é com o ângulo de 0° , tendo o ponto (X_0, Y_0, Z_0) , isto é sem movimentação, sendo esta a posição inicial, conforme Figura 11.

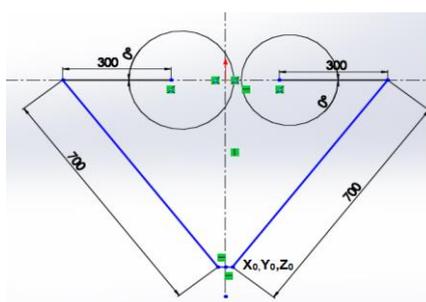


Figura 11: Posição inicial com ângulo de 0°

Foi aplicado o ângulo de 45° nos atuadores e usado as equações da cinemática, encontrando o diâmetro de 581 mm, conforme apêndice A, e mostrada na Figura 12.

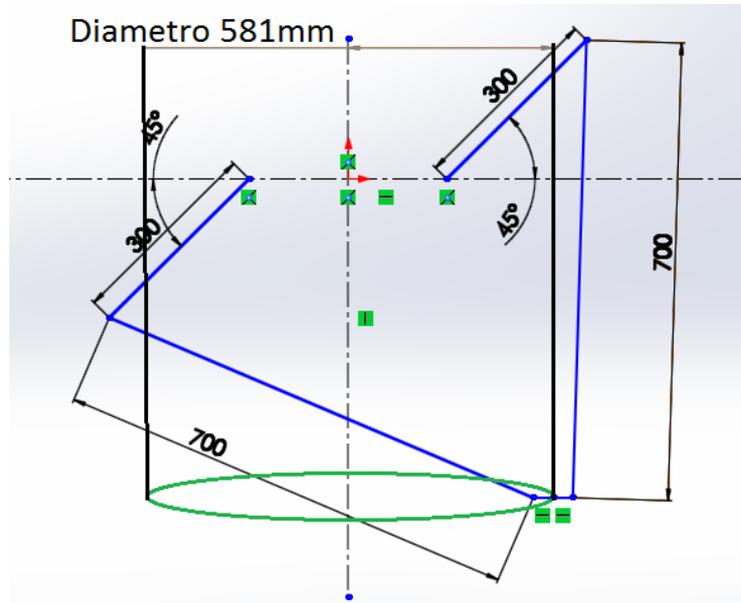


Figura 12: Movimentação com ângulo de 45° aplicado

3.2.2 Dimensionamento da capacidade de carga dos motores

Através do torque do motor (TKA 344005) especificado de 40 kgf/cm foi calculado qual é a força peso que o robô consegue suportar, Figura 13. Para que o robô não trabalhe no limite da capacidade de carga, podendo comprometer uma atividade foi acrescentado 12% como um fator de segurança.



Figura 13: Dimensionamento de carga

Para saber qual a capacidade de carga foi aplicada a equação 3.

$$M = F \cdot d \quad (3)$$

Sendo que:

M: Momento

F: Força aplicada

d: Deslocamento

Conforme calculado no apêndice B, a capacidade de carga que o robô consegue suportar é de 1,17 kg.

3.3 CONSTRUÇÃO DO ROBÔ DELTA

3.3.1 Equipamentos para a Fabricação, Desenvolvimento e Funcionalidades do Robô Delta

A Figura 14 mostra o desenho esquemático do robô delta fixado no pórtico desenvolvido através do SolidWorks. Durante o desenvolvimento do desenho esquemático do robô paralelo tipo delta foi observado as particularidades dos itens do robô como tamanho e proporções dos componentes.

Tendo concluída esta etapa de projeto, foi iniciado uma pesquisa e busca de materiais que melhor se adequariam ao projeto, sendo utilizados tubos de alumínio para os manipuladores e as hastes, tendo este material disponível no laboratório da FACULDADE FAHOR. Para a base fixa e a base móvel do robô foi usado chapa de aço SAE 1020 e para o pórtico de sustentação foi usado tubo quadrado de aço SAE 1020 com dimensões de 40 mm x 40 mm.

A montagem dos componentes conforme descrito abaixo pode ser visualizada na Figura 14, em que todos os componentes estão enumerados e assim possibilitando uma análise de como foi realizado o projeto.

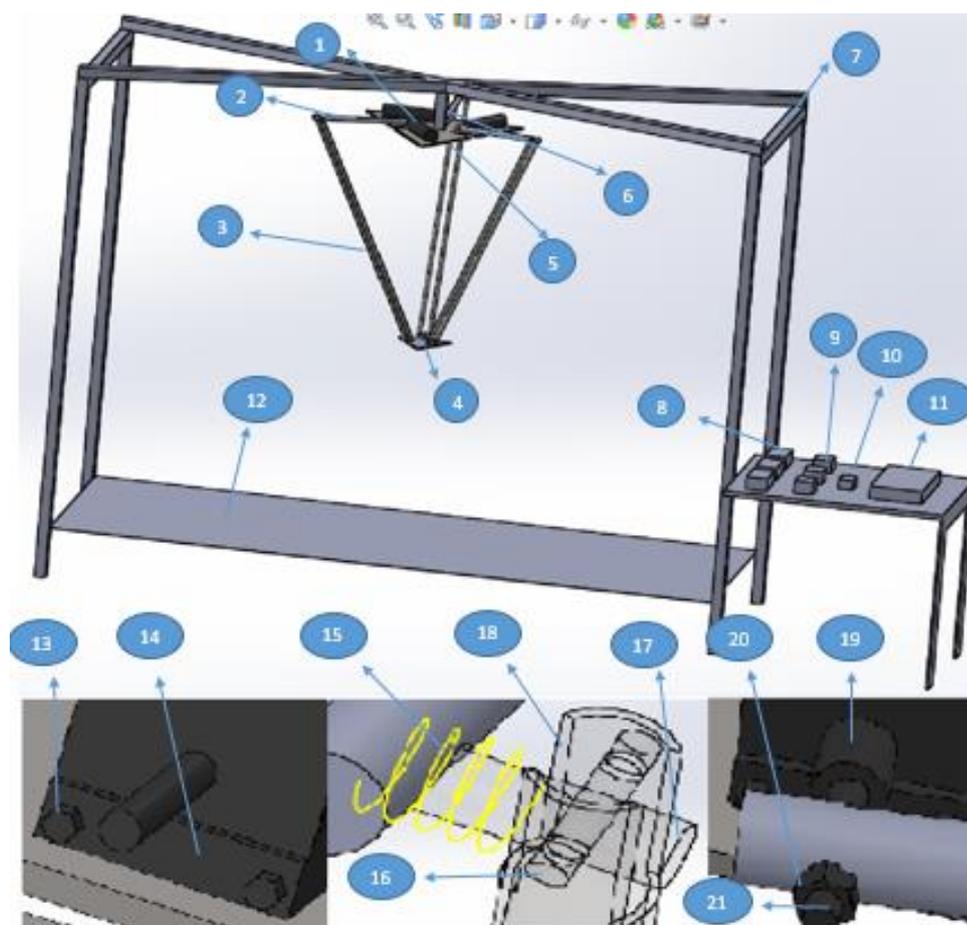


Figura 14: Partes do robô

O quadro 01 apresenta as especificações dos componentes.

1) Motor;	11) Computador;
2) Haste;	12) Mesa de Trabalho;
3) Manipulador;	13) Parafuso M6;
4) Base Móvel;	14) Cantonera 3mm;
5) Base Fixa;	15) Mola 10mm;
6) Haste de Fixação do Delta;	16) Parafuso M3;
7) Pórtico;	17) Rebite M8;
8) Fonte de Energia;	18) Fresado 8mm;
9) Drivers;	19) Bucha 9mm;
10) Arduino;	20) Porca e contra porca;
	21) Eixo roscado M9;

Quadro 1: Especificações dos componentes

- Para a fabricação dos manipuladores foi utilizado tubos de alumínio com diâmetro de 19 mm e comprimento de 700 mm, para as hastes foi utilizado o mesmo material mas com medidas diferentes sendo 30 mm de diâmetro e 350 mm de comprimento.
- As juntas de mobilidade foram feitas através do processo de fresamento dos manipuladores nas extremidades, fixadas por parafusos e com uma mola para manter a haste centralizada.
- Os motores, as hastes e manipuladores foram fixados em duas bases, uma chamada base fixa e outra base móvel. A base fixa é em formato de delta sendo cada lado com 600 mm e feita com aço SAE 1020, a base móvel é de mesmo formato e material porém sendo cada lado com 200 mm.
- Para os motores foram comprados os modelos de motor de passo TKA 344005, com um torque de 40 kgf/cm.
- Estes motores demandam uma fonte de energia mínima de 5A cada, sendo assim foi comprado três fontes de energia do tipo PWM MS-350-48.
- Também, três drivers do tipo CE Stepper Motor Driver M542, sendo aplicado um para cada motor.
- Um arduino para realizar a interpretação dos dados e transmitir os comandos.
- Uma mola fixada na base fixa à base móvel com a finalidade de melhorar a estabilidade do sistema e manter a estrutura no ponto zero, isto é, ponto inicial do robô.
- Para esta estrutura do robô delta foi projetado um pórtico feito com tubo quadrado de aço SAE 1020 de dimensões 40 mm X 40 mm. Dimensões de 1600 mm de alturas, 2000 mm de comprimento e 900 mm de largura. Na parte central superior possui uma haste de fixação rígida que possibilita a fixação da estrutura do robô delta através de parafusos.

A Figura 15 mostra como o sistema elétrico foi ligado.

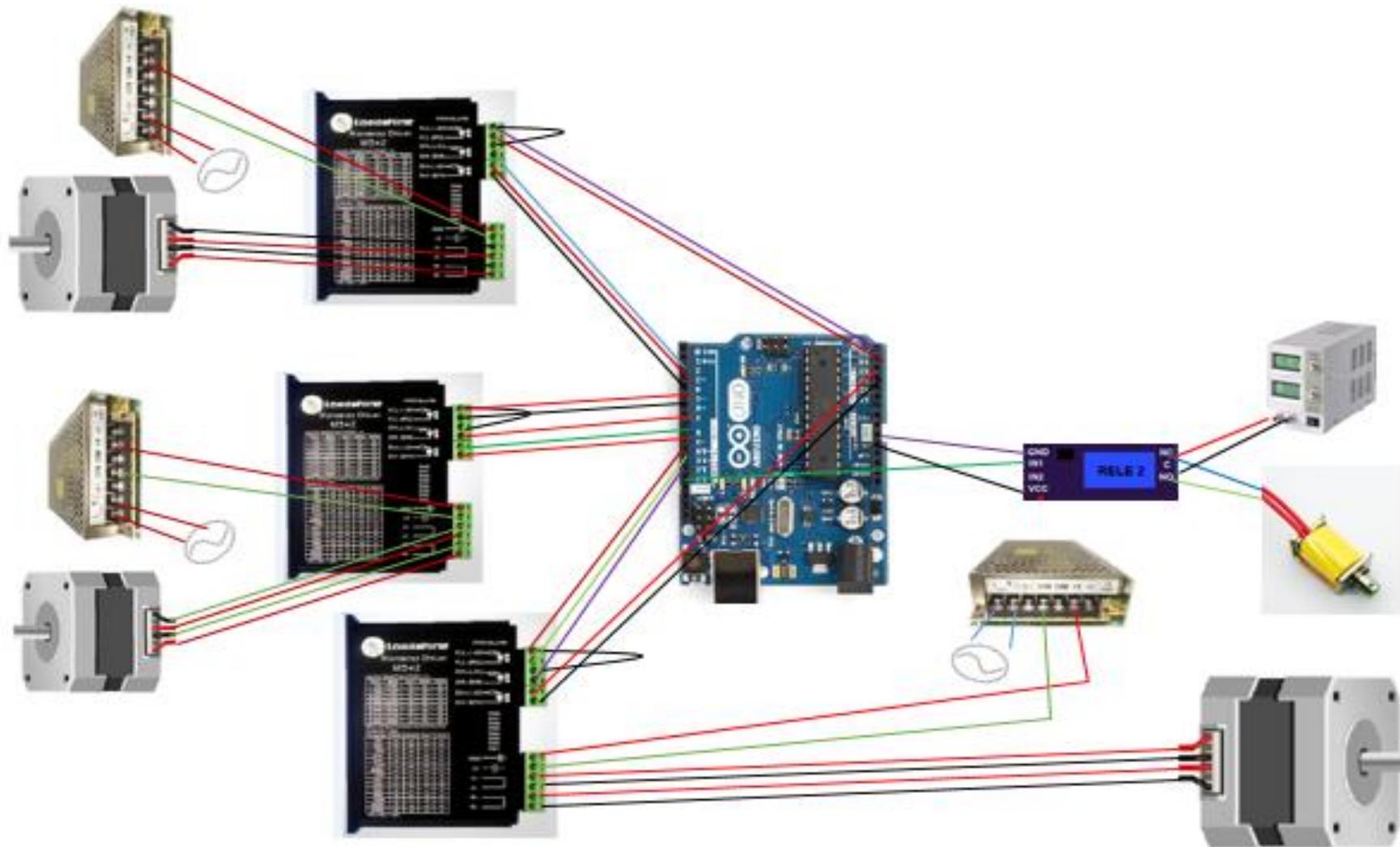


Figura 15: Esquema elétrico

3.3.2 Testes Experimentais a serem realizados com o Robô Delta

Os testes experimentais realizados foram divididos em duas etapas:

1º Etapa:

Análise do dimensionamento e componentes do robô individualmente. Observando o funcionamento de cada item: a) das hastes e manipuladores, b) base móvel, c) juntas de mobilidades, d) fixação do motor, e) fixação da haste no eixo do motor.

Volume de trabalho e alcance dimensional. Os testes de alcance dimensional se deram da seguinte forma: foi analisado a estrutura do robô, pórtico e o alcance dos manipuladores nos pontos no espaço das coordenadas X,Y,Z, traçado os pontos máximos, respeitando o diâmetro máximo de 581 mm, assim encontrando os pontos máximos e mínimos em Z.

Como as coordenadas X e Y foi dimensionada no projeto sendo de 581 mm cada, sendo assim na prática foi verificado se os manipuladores são capazes de alcançar estes pontos. Para que fosse possível ver esta área de 581 mm foi usado fita na cor branca e demarcada as coordenadas X e Y.

Para a coordenada Z foi feito testes até alcançar os pontos máximos para (-Z) e (+Z), afim de que fosse possível ter mobilidade obedecendo as limitações da estrutura e não bater em obstáculos como a mesa de trabalho, estrutura do pórtico. Esta análise foi feita com o auxílio do transferidor de ângulo em que foi acoplado na base fixa e posteriormente movido os manipuladores para a coordenada (-Z) e (+Z) afim de encontrar o ponto máximo e mínimo alcançável no espaço sem encostar na mesa e sem perder a mobilidade das juntas

2º Etapa

Verificação da capacidade de carga dos motores de 1,17 kg. Para realizar este teste foi pesado algumas peças até obter este peso e após isto foi colocado estas peças em cima da base móvel e verificado se os motores conseguem suportar esta carga realizando movimentos dentro do plano das coordenadas X, Y e Z.

Para o teste de adaptabilidade do robô para atividade de fresa e solda foi fixado uma caneta na base móvel e programado o robô para realizar três retas ligadas entre si formando um triângulo e com isso analisar a adaptabilidade do robô para as atividades de solda ou fresa. Para observar o resultado da atividade do robô foi

colocado um caderno com uma folha em branco em cima da mesa de trabalho e então rodado o programa.

Realizar um teste específico para o robô delta que é realizar atividades de “*pick and place*” (pegar e posicionar), para esta atividade foi fixado um eletroímã na base móvel com a finalidade de pegar uma chapa metálica e posicioná-la em um ponto demarcado na mesa de trabalho.

Este teste se deu da seguinte forma, na base móvel foi fixado um eletroímã e como componente de movimentação foi usado uma chapa metálica (3 mm X 2 mm), demarcando na mesa de trabalho três círculos e programado o robô para alcançar estas posições com a seguinte sequência.

- 1º Chapa dentro do círculo central e o robô posicionado no ponto zero;
- 2º Movimentação do robô para baixo pegando a chapa;
- 3º Chapa fixada e retorno do robô para o ponto zero;
- 4º Movimentação do robô para a direita, posicionando a chapa dentro do ponto demarcado e soltando-a;
- 5º Movimentação do robô e voltando para o ponto zero;
- 6º Movimentação do robô para a direita pegando a chapa e trazendo-a para o ponto zero;
- 7º Movimentação do robô para a esquerda, posicionando a chapa dentro do ponto demarcado e soltando-a;
- 8º Movimentação do robô e voltando para o ponto zero;
- 9º Movimentação do robô para a esquerda pegando a chapa e trazendo-a para o ponto zero;
- 10º Movimentação do robô para baixo, posicionando a chapa dentro do ponto demarcado e soltando-a;
- 11º Movimentação do robô e voltando para o ponto zero.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A apresentação e análise dos resultados foi dividida em três etapas, sendo que a primeira consiste na análise de fabricação e funcionamento do robô, a segunda consiste na análise da mobilidade e alcance dimensional do robô e identificar qual forma geométrica o volume de trabalho forma no espaço, a terceira realização dos testes de capacidade de carga e da adaptabilidade deste robô nos processos de solda e realização de atividades “*pick and place*” (pegar e posicionar).

4.1 PROJETO E FUNCIONAMENTO DO ROBÔ DELTA

4.1.1 Análise da estrutura e partes do robô delta

As hastes e os manipuladores, Figura 16(A), foram feitos de alumínio apresentando bons resultados, atendendo as expectativas sendo resistente a flambagem e tração, capaz de alcançar os pontos requeridos.

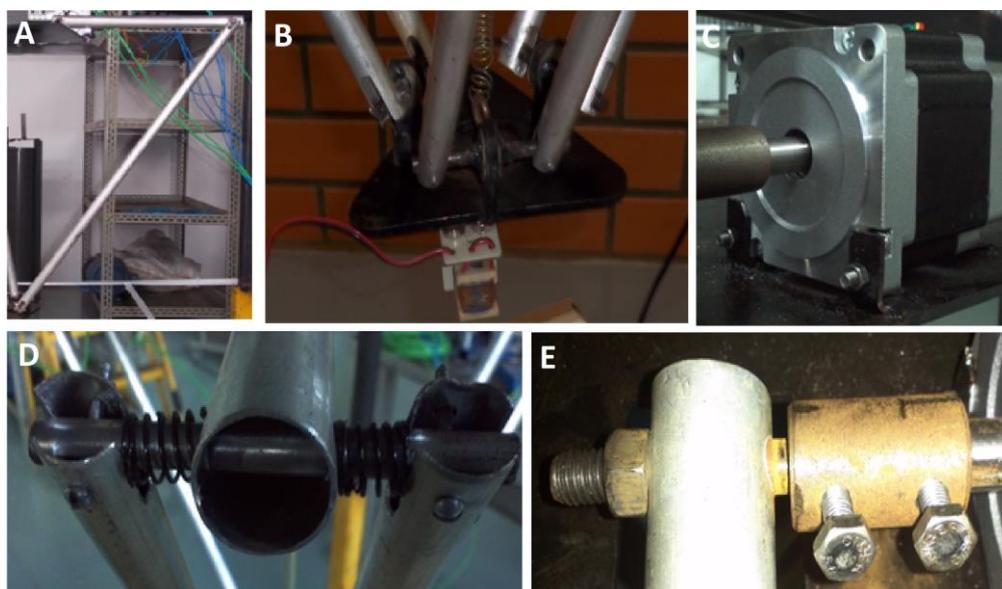


Figura 16: Partes do robô delta

A base móvel conforme Figura 16(B), possui uma chapa M6 soldada à 90° e através de um furo fixada nos manipuladores por meio de um rebite que possui duas arruelas soldadas nas laterais para fazer a fixação, este sistema mostrou-se rígido capaz de suportar as ferramentas fixadas durante a realização dos testes.

As juntas, Figura 16(D), conseguiram executar todos os movimentos tanto circulares quanto longitudinais, porém na execução dos movimentos as juntas causam ruído, devido que o furo da haste (aonde passa o rebite que fixa a haste aos manipuladores) possui uma folga que possibilita o movimento de rotação na junta, sendo que neste ponto ocorre o ruído.

A fixação do motor Figura 16(C), foi feita com uma cantoneira soldada na base fixa e parafusada no motor, esta fixação apresentou-se rígida garantindo a estabilidade do motor.

A fixação da haste no eixo do motor Figura 16(E), foi feita através de uma bucha com dois pinos para fazer o travamento dos eixos. Esta bucha apresentou-se rígida dando continuidade na transmissão do movimento do motor até a haste. A haste foi travada por uma porca interna e uma porca externa fixando-as, assim garantindo que o movimento de rotação do motor se transformasse em uma ação mecânica nos manipuladores.

4.1.2 ANÁLISE DA MOBILIDADE E ALCANCE DIMENSIONAL DO ROBÔ

Foi feita análises dos alcances dimensionais do robô e análises da mobilidade para executar os movimentos em todos os pontos de alcance no espaço das coordenadas X,Y,Z, traçando os pontos máximos, conforme Figura 17.

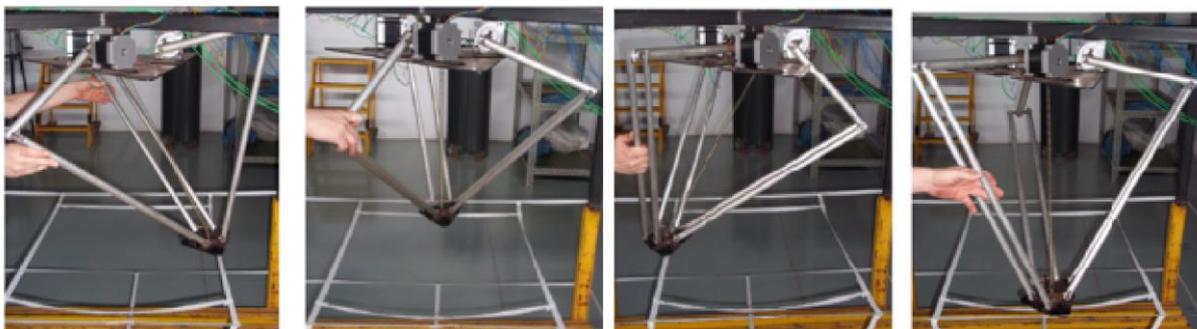


Figura 17: Alcance X e Y

Nestes testes os manipuladores conseguiram com facilidade atingir todas as coordenadas conforme demarcadas apresentando estabilidade no desenvolvimento dos movimentos.

4.1.2.1 Coordenada z

Foi analisado o Z máximo e Z mínimo. Para a coordenada (+Z) foi levantado os manipuladores e detectado que se os ângulos dos motores passarem de 45° Figura 18 (3 e 4) ocorrerá uma batida da haste na estrutura do pórtico, sendo assim foi definido (+Z) com ângulo máximo a ser aplicado nos motores de 45° e o (-Z) ângulo de -60° Figura 18 (1 e 2), foi definido que este seria o ângulo máximo aplicado nos motores na coordenada (-Z), conforme Figura 18. Sendo as distâncias encontradas de (-Z) de 180 mm e para (+Z) 372 mm.

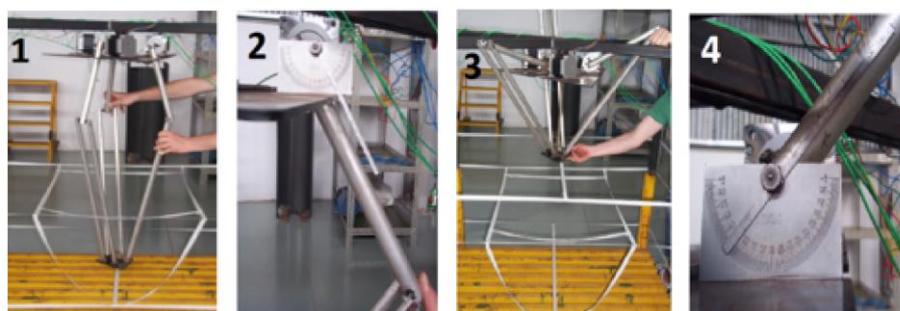


Figura 18: Alcance z

4.1.3 Análise de mobilidades em torno dos pontos de alcance e volume

Definido todos os pontos de alcance no espaço (-Z= 180 mm), (+Z= 372 mm), (X= 581 mm), (Y= 581 mm), foi demarcado com fita branca estes pontos no espaço de trabalho do robô e verificado se os manipuladores eram capazes de alcançar todos os pontos e com isso foi formado o volume de trabalho conforme Figura 19.

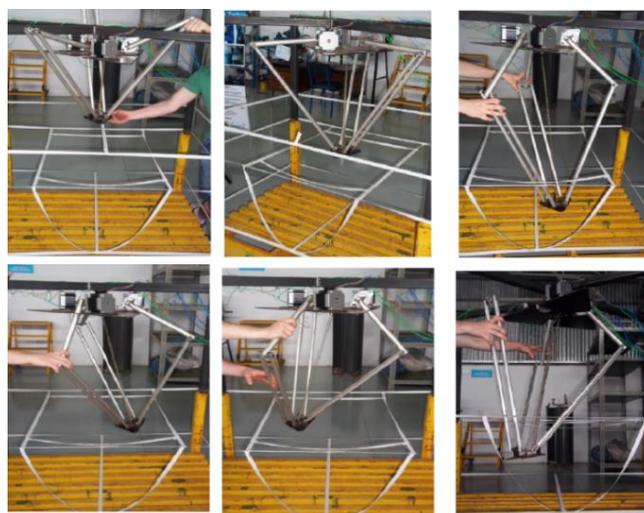


Figura 19: Pontos de alcance no espaço

Todos os pontos ($-Z= 180\text{ mm}$), ($+Z= 372\text{ mm}$), ($X= 581\text{ mm}$), ($Y=581\text{ mm}$), foram facilmente alcançados nas coordenadas X, Y e Z.

O volume de trabalho formou uma elipsoide de revolução conforme Figura 20, sendo X e Y 581 mm, $+Z 180\text{ mm}$, $-Z 372$.

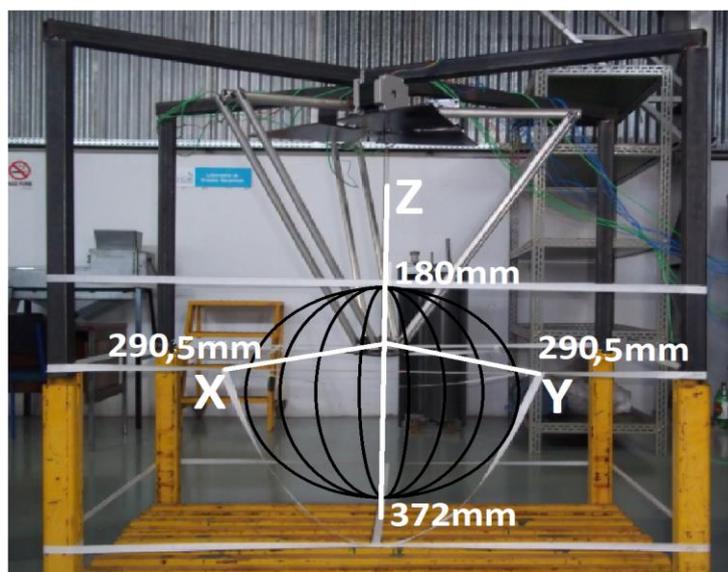


Figura 20: Volume de trabalho, elipsoide de revolução

4.1.4 Capacidade de carga e adaptabilidade deste robô em processos de solda e fresa e “*pick and place*”.

Foi programado o robô para subir até a altura máxima $+Z$ (45°) conforme a Figura 21(B) e profundidade máxima $-Z$ (60°), conforme a Figura 21(C), foi possível observar que o robô conseguiu fazer as movimentações na coordenada Z, atingindo o ponto $+Z$ (45°) Figura 21(B) e $-Z$ (60°) Figura 21(C) e também para as coordenadas X e Y conforme Figura 22. Porém quando foi programado o robô para alcançar dimensões fora das estabelecidas pelos cálculos, o robô não suporta o peso. Assim afirmando os cálculos de capacidade de carga suportando o peso de 1,17 kg aplicado na base móvel dentro das dimensões estabelecidas no volume de trabalho.

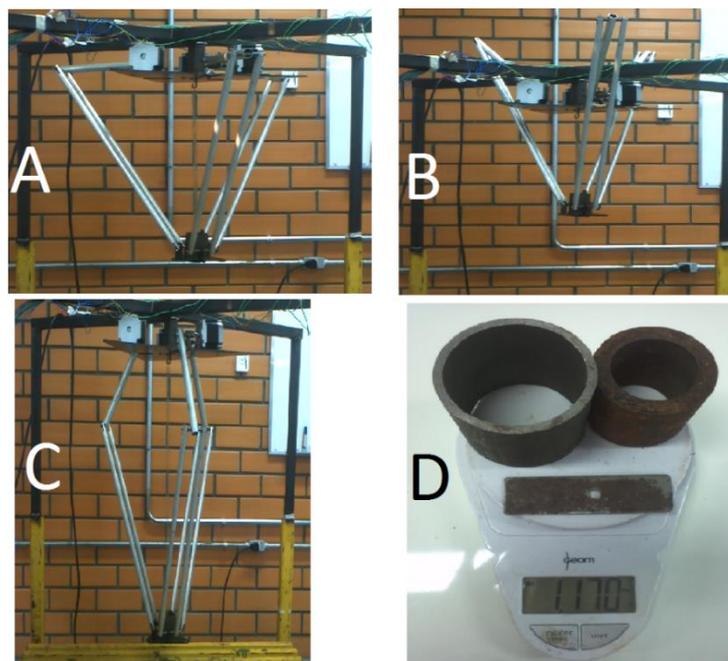


Figura 21: Teste de capacidade de carga



Figura 22: Teste de capacidade de carga com movimentação XY

Foi fixado uma caneta na base móvel e realizado os testes para verificar a adaptabilidade do robô para as atividades de solda ou fresa. Foi possível observar o desenho do triângulo e a precisão das linhas. Quanto ao desenvolvimento do triângulo, o robô conseguiu desenhar obedecendo os comandos e tendo precisão no desenvolvimento da atividade, Figura 23. As linhas que unem os pontos não formam uma reta perfeita. Uma das hipóteses é que a caneta que está sendo usado possui uma ponta flexível, sendo assim no desenvolver da atividade a ponta pode sofrer alguma variação lateral, conforme Figura 23(C).

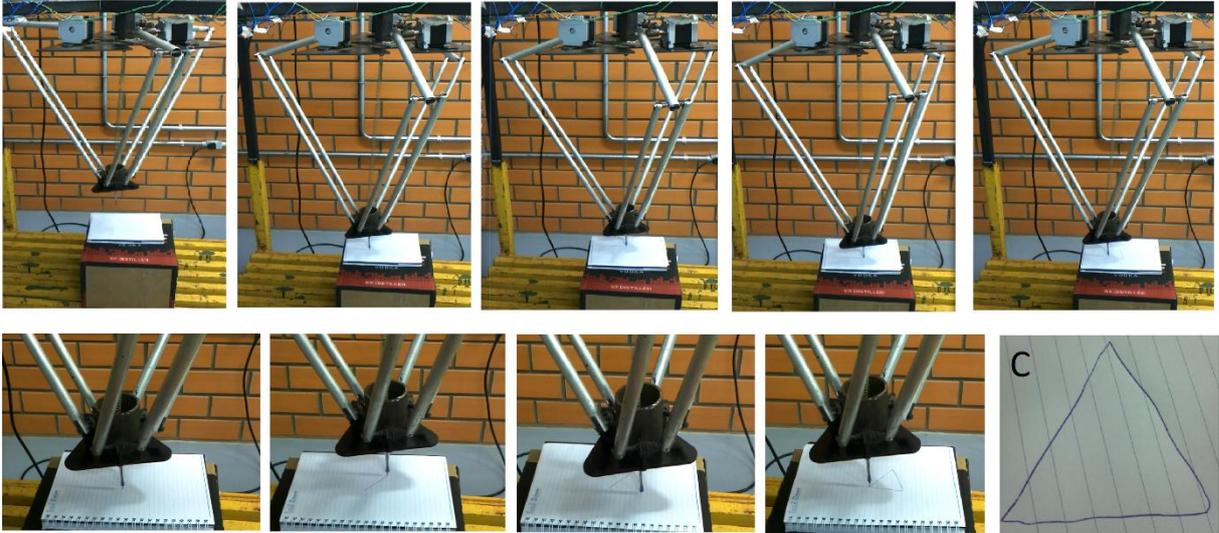


Figura 23: Atividade prática, desenvolvimento de um triângulo

Na aplicação de “*pick and place*” (pegar e posicionar) conforme Figura 24, o robô delta se mostrou eficiente e preciso, conseguindo realizar os movimentos para os dois lados e para baixo com a chapa fixada na base móvel ou sem a chapa.

Este teste foi feito repetidamente e as precisões do robô foram todas as mesmas porém dependendo de como o ímã prendia e soltava a chapa podia ocorrer uma pequena variação da posição da chapa dentro do círculo, porém em nenhuma situação a chapa ficou alocada fora do círculo demarcado.

Este teste seguiu a seguinte rotina:

- 1º Chapa dentro do círculo central e o robô posicionado no ponto zero, Figura 24(A);
- 2º Movimentação do robô para baixo pegando a chapa, Figura 24(B);
- 3º Chapa fixada e retorno do robô para o ponto zero, Figura 24(C);
- 4º Movimentação do robô para a direita, posicionando a chapa dentro do ponto demarcado e soltando-a, Figura 24(D);
- 5º Movimentação do robô e voltando para o ponto zero, Figura 24(E);
- 6º Movimentação do robô para a direita pegando a chapa e trazendo-a para o ponto zero, Figura 24(F);
- 7º Movimentação do robô para a esquerda, posicionando a chapa dentro do ponto demarcado e soltando-a, Figura 24(G);
- 8º Movimentação do robô e voltando para o ponto zero, Figura 24(H);

9º Movimentação do robô para a esquerda pegando a chapa e trazendo-a para o ponto zero, Figura 24(I);

10º Movimentação do robô para baixo, posicionando a chapa dentro do ponto demarcado e soltando-a, Figura 24(J);

11º Movimentação do robô e voltando para o ponto zero, Figura 24(L).

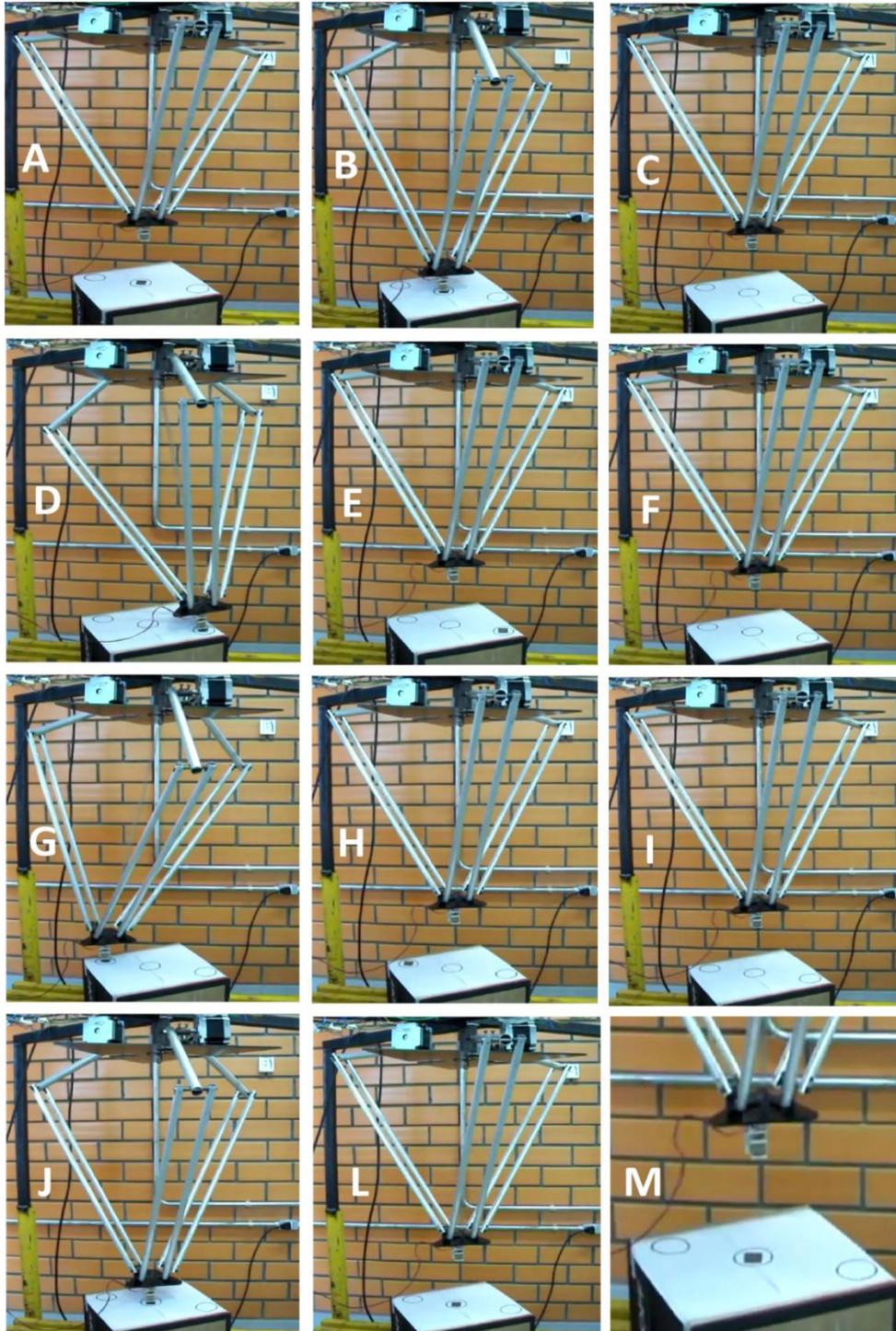


Figura 24: Atividade prática, “pick and place”

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvido de um robô delta com o objetivo de mostrar as funcionalidades e aplicabilidades, aplicando-o em situações de trabalhos diferentes simulando trabalhos de solda e fresa, também a realização de trabalhos “*pick and place*” (pegar e posicionar) que é a aplicação principal deste robô na indústria.

O desenvolvimento do protótipo deste robô foi através do Solidworks em que buscou-se analisar os componentes, identificando quais seriam as melhores relações de medidas do projeto e materiais a serem usados. Então ao final teve-se a escolha do alumínio como material a ser usado para a fabricação dos membros, pelo baixo peso específico, resistência a flambagem e tração e tinha-se disponível no Laboratório da FACULDADE FAHOR.

Depois de construído e pronto o protótipo foi feita uma análise individual de cada componente a fim de verificar se todos os componentes são capazes de realizar suas funções. Nesta análise o protótipo conseguiu desempenhar as funções e movimentações, porém como as juntas de mobilidade do robô são através de um furo na haste e um rebite passante fixando-os manipuladores, estas juntas causam ruído quando o robô está em funcionamento.

Foi desenvolvido um teste de controle do robô simulando atividades similares aos de solda ou fresa, para isso foi fixada uma caneta na base móvel e programado o robô para fazer um triângulo, o robô conseguiu realizar o triângulo fechando certo os pontos, porém a linha formada possui pequenas variações, podendo ser uma das hipóteses decorrentes à ponta da caneta não ser rígida.

E por fim foi realizada a atividade característica da aplicação dos robôs delta que é de “*pick and place*” (pegar e posicionar), neste teste foi fixado na base móvel um eletroímã e usado uma chapa metálica 3 mm x 2 mm como a peça de movimentação. Foi demarcado na mesa de trabalho três círculos e após isto foi programado o robô para que ele conseguisse alcançar estas posições demarcada. Sequentemente foi realizado esta atividade aonde o robô conseguiu pegar e posicionar a chapa dentro dos espaços demarcados, aprovando sua utilização no manuseio de peças ou ferramentas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. N., & MEGGIOLARO, M. (2008). **Desenvolvimento de um simulador de movimentos verticais com atuação pneumática**. p. 20. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2008.

BORTHOLOTTO, Júlio Cesar. (2009). **Integração de dispositivos robóticos a sistemas de apoio ao aprendizado utilizando a plataforma Arduino**. p. 21. Universidade Estadual de Campinas, 2009.

BLOGMOTOR. **Skate militar** Disponível em: <<http://blogmotor.net/2010/09/skate-militar/>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

CONSTRUTORAMODELO. **Drones: os robôs voadores que surgem para auxiliar o mercado imobiliário**. Disponível em: <<http://construtoramodulo.com.br/blog/?p=3598>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

CRUZ, Daniel Fontan Maia. (2007). **Implementação da Cinemática inversa de Robôs Redundantes Operando em Ambientes Confinados no Projeto Roboturb**. p. 136. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CUONG, Trinh Duc; THO, Tuong Phuoc; THINH, Nguyen Truong. (2013). **A Generalized Approach On Design And Control Methods Synthesis Of Delta Robot**. Research Notes in Information Science (RNIS), Volume 3, May 2013, p. 179-183.

DRCARLOSREY. **Medicina do futuro: Membros biônicos já parte da nossa vida**. Disponível em: <<http://drcarlosrey.blogspot.com.br/2007/08/medicina-do-futuro-membros-binicos-j.html>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

EYEROBOT. **Automação e robótica**. Disponível em:<<http://www.eyerobot.pt/robotica.php>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

FINOTTI, Gilson. (2008). **Cálculo Explícito dos Torques dos Atuadores de um Robô Paralelo Plano empregando o Método de Kane**. p. 199. Dissertação de mestrado - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FOCUS CÉLULA. **Robô torna 2**. Disponível em: <<http://www.focuscelulas.com.br/fotos/htm/tornookuma.htm>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

INOVAÇÃOTECNOLOGICA. **China planeja olimpíadas de robôs para 2010**. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=china-planeja-olimpiadas-robos-2010#.VXI9b89Viko>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

ISIDORO, Milton. (2014). **Abstração de uma Plataforma Robótica para Teste e Avaliação de Aplicações Java**. p. 234. Dissertação de mestrado - Mestre em Informática de Gestão, Instituto Politécnico de Setúbal, 2014.

LAZZARI, F. S., OLIVEIRA, H. R., & PAIXÃO, T. S. (2012). **Desenvolvimento de um robo paralelo tipo delta associado com uma visão computacional para aplicações pick and place**. p. 67. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

LOPES, Antônio Mendes. (2001/2002). **Modelação Cinemática e Dinâmica de Manipuladores de Estrutura em Série**. p. 101. Dissertação de mestrado em Automação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2001/2002.

M.A.R. **Parallel Robot (delta Robot)** Disponível em: <www.mar.ind.br/english/robotica_robos_Quattros650H.shtml>. Acessado em: 10 jul. 2015.

MELLO, Camila Bacellar. (2001). **Controle de Trajetória de uma Plataforma Stewart para simulação de Transferência de Carga fora do Porto**. p. 131. Dissertação de mestrado - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

OTTONI, A. L. (2010). **Introdução à robótica**. p. 7. Universidade Federal de São João Del-Rei, 2010.

PANDILOV, Zoran; DUKOVSKI, Vladimir. (2014). **Comparison of the Characteristics Between Serial and Parallel Robots**. ACTA TEHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering, Volume 7, 2014, p.143-160.

POPPEOVA, Viera; REJDA, Rudolf; URICEK, Juraj; BULEJ, Vladimir. (2012). **The design and Simulation of Training Delta Robot**. *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, Volume 16, 2012, p. 195-198.

PSCHEIDT, Elio Rubens. (2007). **Robô Autônomo - Modelo Chão de Fábrica**. p. 58. Monografia - Curso de Engenharia da Computação, Centro Universitário Positivo, Curitiba, 2007.

SALABARRIA, Miguel Herrera. (2007). **Robô Hiper-Redundante com Módulo de Arquitetura Paralela**. p. 118. Dissertação de mestrado, escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SALLES, Jonatas Bacelar Moreira. (2011). **Modelagem Cinemática de um Veículo Submarino de Operação Remota: Estudo de Caso**. p. 40. Monografia para o Curso de engenharia de Controle e Automação, Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

SECCHI, Humberto Alejandro. (2008). **Uma Introducción a Los Robots Móviles**. p. 91. Universidade Nacional de San Juan, Argentina, 2008.

TARTANI FILHO, Sylvio Celso. (2006). **Modelagem e Otimização de um Robô de Arquitetura Paralela para Aplicações Industriais**. p. 227. Dissertação de mestrado - Curso de Engenharia Mecatrônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TAUCITA, Fabrício de Mello; SANTOS Pâmela Marcelia de Siqueira; ALMEIDA Valquíria. (2013). **Presença de Robôs de Pintura na Indústria Automotiva**. Associação Educacional Dom Bosco, 2013.

UROLOGICAINDAIATUB. **Cirurgias robóticas**. Disponível em: <<http://www.urologicaindaiatuba.com.br/cirurgias-roboticas-sao-paulo-hospital-sirio-libanes>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

USATEGUI, J. A., & LEÓN, J. S. (1990). **Manual Prático de Robótica**. Editora Hemus. Volume 1. p. 165.

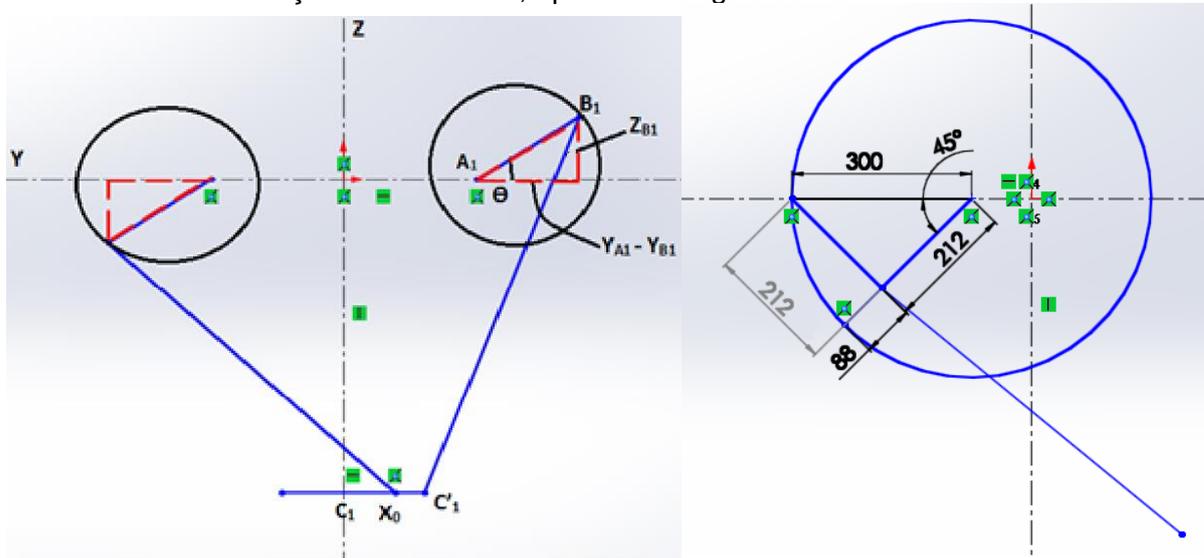
USP. **Novo robô aquático ajudará pesquisas brasileiras na Antártica**. Disponível em: <<http://www.usp.br/aun/exibir.php?id=5818>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

P3 PÚBLICO. **Braço artificial com ligações ao cérebro permite movimentos controlados.** Disponível em: <<http://p3.publico.pt/actualidade/ciencia/6783/braco-artificial-com-ligacao-ao-cerebro-permite-movimentos-controlados>>. Acessado em: 10 jul. 2015.

VAS, Daniel Alves Barbosa de Oliveira (2011). **Planejamento de Movimento Cinemático-Dinâmico para robôs móveis com rodas deslizantes.** p. 64. Dissertação de mestrado para obtenção do Título Mestre em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

APÊNDICE A

Cálculo de movimentação do robô delta, aplicado o ângulo de 45° nos motores.



$$\cos\theta = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\begin{aligned} \cos 45^\circ &= \frac{ca}{300} \\ ca &= 212\text{mm} \end{aligned}$$

$$\sin\theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\begin{aligned} \sin 45^\circ &= \frac{co}{300} \\ co &= 212\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (X_0)^2 &= (B_1)^2 - ((Y_{B_1} - Y_{C'_1})^2 + (Z_{B_1} - Z_{C'_1})^2) \\ (X_0)^2 &= (700)^2 - ((212 - 488)^2 + (212 - 488)^2) \\ (X_0)^2 &= (B_1)^2 - ((Y_{B_1} - Y_{C'_1})^2 + (Z_{B_1} - Z_{C'_1})^2) \\ (X_0)^2 &= (490000) - (76176 + 76176) \\ (X_0)^2 &= (490000) - (152352) \\ (X_0)^2 &= (337648) \\ (X_0) &= (581\text{mm}) \end{aligned}$$

APÊNDICE B

Dimensionamento da capacidade de carga.



Sendo assim, aplicando a equação 2 tem-se o seguinte resultado:

$$M = F \cdot d \quad (2)$$

$$F = M/d$$

$$F = (40Kgf/cm)/30cm$$

$$F = 1,33 \text{ kgf}$$

Fator de segurança: 12%

$$= 1,33 - (1,33 * 12\%)$$

$$= 1,17 \text{ kg}$$

Assim definido que a capacidade de carga do robô é de 1,17 kg.

Apêndice C

Códigos usados para fazer os testes do robô delta usando o programa arduino:

```
#include <AccelStepper.h>

// Define some steppers and the pins the will use
AccelStepper stepper1(AccelStepper::HALF4WIRE, 4, 3, 2, 12, 11);
AccelStepper stepper2(AccelStepper::HALF4WIRE, 7, 6, 5, A5, A4);
AccelStepper stepper3(AccelStepper::HALF4WIRE, 8, 9, 10, A3, A2);

int endPoint = 1024;
int serialValue;
long passoMotor1=0;
long passoMotor2=0;
long passoMotor3=0;
int passo = 8;
int micro = 1800;
long angulo1, angulo2, angulo3;
int cte = 360;
int eletroima = 13;

long x, y;
float t=0;

int maxValue=10000;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  stepper1.setMaxSpeed(maxValue);
  stepper1.setSpeed(maxValue);
  stepper1.setAcceleration(maxValue);
  stepper1.moveTo(10);
```

```

stepper2.setMaxSpeed(maxValue);
stepper2.setSpeed(2000);
stepper2.setAcceleration(maxValue);
stepper2.moveTo(10);

stepper3.setMaxSpeed(maxValue);
stepper3.setSpeed(maxValue);
stepper3.setAcceleration(maxValue);
stepper3.moveTo(10);

pinMode(eletoima, OUTPUT);

}

void loop() {

while(Serial.available()){
  serialValue = Serial.read();
  Serial.println(serialValue);
  if (serialValue == 119){//w
    stepper1.moveTo(1640); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
    stepper2.moveTo(1640); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
    stepper3.moveTo(-1560); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
  }

  if (serialValue == 115){//s
    stepper1.moveTo(-2200); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
    stepper2.moveTo(-2200); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
    stepper3.moveTo(2200); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
  }

  if (serialValue == 49){//1
    angulo1 = 18;
    passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;

```

```

passoMotor2 = (passo*micro*angulo1)/cte;
passoMotor3 = (passo*micro*angulo1)/cte;
Serial.print(" Motor1 = ");
Serial.println(passoMotor1);
Serial.print(" Motor2 = ");
Serial.println(passoMotor2);
Serial.print(" Motor3 = ");
Serial.println(passoMotor3);
stepper1.moveTo(-passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper2.moveTo(-passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper3.moveTo(passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 50){//2
  //stepper2.setMaxSpeed(200.0);
  //stepper2.setAcceleration(200.0);
  angulo1 = 21;
  angulo2 = 21;
  angulo3 = 12;
  passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;
  passoMotor2 = (passo*micro*angulo2)/cte;
  passoMotor3 = (passo*micro*angulo3)/cte;
  Serial.print(" Motor1 = ");
  Serial.println(passoMotor1);
  Serial.print(" Motor2 = ");
  Serial.println(passoMotor2);
  Serial.print(" Motor3 = ");
  Serial.println(passoMotor3);
  stepper1.moveTo(-passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper2.moveTo(-passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper3.moveTo(passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 51){//3
  //stepper2.setMaxSpeed(200.0);
  //stepper2.setAcceleration(200.0);

```

```

angulo1 = 16;
angulo2 = 24;
angulo3 = 16;
passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;
passoMotor2 = (passo*micro*angulo2)/cte;
passoMotor3 = (passo*micro*angulo3)/cte;
Serial.print(" Motor1 = ");
Serial.println(passoMotor1);
Serial.print(" Motor2 = ");
Serial.println(passoMotor2);
Serial.print(" Motor3 = ");
Serial.println(passoMotor3);

stepper1.moveTo(-passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper2.moveTo(-passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper3.moveTo(passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 52){//4
  //stepper2.setMaxSpeed(200.0);
  //stepper2.setAcceleration(200.0);
  angulo1 = 18.1;
  angulo2 = 18.1;
  angulo3 = 18.3;
  passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;
  passoMotor2 = (passo*micro*angulo2)/cte;
  passoMotor3 = (passo*micro*angulo3)/cte;
  Serial.print(" Motor1 = ");
  Serial.println(passoMotor1);
  Serial.print(" Motor2 = ");
  Serial.println(passoMotor2);
  Serial.print(" Motor3 = ");
  Serial.println(passoMotor3);
  stepper1.moveTo(-passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper2.moveTo(-passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper3.moveTo(passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}

```

```

}
if (serialValue == 53){//5
  angulo1 = 14;
  angulo2 = 30;
  angulo3 = 14;
  passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;
  passoMotor2 = (passo*micro*angulo2)/cte;
  passoMotor3 = (passo*micro*angulo3)/cte;
  Serial.print(" Motor1 = ");
  Serial.println(passoMotor1);
  Serial.print(" Motor2 = ");
  Serial.println(passoMotor2);
  Serial.print(" Motor3 = ");
  Serial.println(passoMotor3);
  stepper1.moveTo(-passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper2.moveTo(-passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper3.moveTo( passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 54){//6
  angulo1 = 16;
  angulo2 = 36;
  angulo3 = 16;
  passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;
  passoMotor2 = (passo*micro*angulo2)/cte;
  passoMotor3 = (passo*micro*angulo3)/cte;
  Serial.print(" Motor1 = ");
  Serial.println(passoMotor1);
  Serial.print(" Motor2 = ");
  Serial.println(passoMotor2);
  Serial.print(" Motor3 = ");
  Serial.println(passoMotor3);
  stepper1.moveTo(-passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper2.moveTo(-passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper3.moveTo( passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}

```

```

}
if (serialValue == 55){//7
  angulo1 = 30;
  angulo2 = 12;
  angulo3 = 30;
  passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;
  passoMotor2 = (passo*micro*angulo2)/cte;
  passoMotor3 = (passo*micro*angulo3)/cte;
  Serial.print(" Motor1 = ");
  Serial.println(passoMotor1);
  Serial.print(" Motor2 = ");
  Serial.println(passoMotor2);
  Serial.print(" Motor3 = ");
  Serial.println(passoMotor3);
  stepper1.moveTo(-passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper2.moveTo(-passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper3.moveTo( passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 100){//d
  stepper1.moveTo(-500); //+=sobe -=desce
  stepper2.moveTo(-1000); //+=sobe -=desce max = -1150
  stepper3.moveTo(-900); //+=desce -=sobe
}
if (serialValue == 97){//a
  stepper1.moveTo(-1200); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper2.moveTo(500); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper3.moveTo(1200); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 102){//f
  stepper1.moveTo(-500); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper2.moveTo(1200); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper3.moveTo(-1200); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 98){//b

```

```

stepper1.moveTo(1200); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper2.moveTo(1200); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper3.moveTo(500); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 103){//g
  angulo1 = 30L;
  passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;
  Serial.println(passoMotor1);

  stepper1.moveTo(passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper2.moveTo(passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
  stepper3.moveTo(passoMotor1); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 99){//c - Circulo
  x = micro*cos(2*PI*t);
  y = micro*sin(2*PI*t);
  t=t+0.01;
  passoMotor1 = ((passo*(x+y))/cte)*50;
  passoMotor2 = ((passo*(x+y))/cte)*50;
  passoMotor3 = ((passo*(x+y))/cte)*50;

  Serial.print(" X = ");
  Serial.println(x);

  Serial.print(" Y = ");
  Serial.println(y);

  Serial.print(" T = ");
  Serial.println(t);

  Serial.print(" Motor1 = ");
  Serial.println(passoMotor1);
  Serial.print(" Motor2 = ");
  Serial.println(passoMotor2);

```

```

Serial.print(" Motor3 = ");
Serial.println(passoMotor3);

stepper1.moveTo(passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper2.moveTo(passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper3.moveTo(passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 101){//e - eletroima
//stepper2.setMaxSpeed(200.0);
//stepper2.setAcceleration(200.0);
angulo1 = 22;
angulo2 = 22;
angulo3 = 22;
passoMotor1 = (passo*micro*angulo1)/cte;
passoMotor2 = (passo*micro*angulo2)/cte;
passoMotor3 = (passo*micro*angulo3)/cte;
Serial.print(" Motor1 = ");
Serial.println(passoMotor1);
Serial.print(" Motor2 = ");
Serial.println(passoMotor2);
Serial.print(" Motor3 = ");
Serial.println(passoMotor3);
stepper1.moveTo(-passoMotor1); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper2.moveTo(-passoMotor2); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper3.moveTo(passoMotor3); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 32){//space
stepper1.moveTo(0); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper2.moveTo(0); //+=sobe -=desce 45 = 1640 60=-2200
stepper3.moveTo(0); //+=desce -=sobe 45 = -1640 60= 2200
}
if (serialValue == 114){//r
int randomize = 2000;
if (stepper1.distanceToGo() == 0)

```

```
{
  // Random change to speed, position and acceleration
  // Make sure we dont get 0 speed or accelerations
  delay(1000);
  stepper1.moveTo(rand() % randomize);
  //stepper1.setMaxSpeed((rand() % 200) + 1);
  //stepper1.setAcceleration((rand() % 200) + 1);
}
if (stepper2.distanceToGo() == 0)
{
  // Random change to speed, position and acceleration
  // Make sure we dont get 0 speed or accelerations
  delay(1000);
  stepper2.moveTo(rand() % randomize);
  //stepper2.setMaxSpeed((rand() % 200) + 1);
  //stepper2.setAcceleration((rand() % 200) + 1);
}
if (stepper3.distanceToGo() == 0)
{
  // Random change to speed, position and acceleration
  // Make sure we dont get 0 speed or accelerations
  delay(1000);
  stepper3.moveTo(-(rand() % randomize));
  //stepper3.setMaxSpeed((rand() % 200) + 1);
  //stepper3.setAcceleration((rand() % 200) + 1);
}
}
if (serialValue == 111){ //o
  digitalWrite(eletoima, HIGH);
}

if (serialValue == 112){ //p
  digitalWrite(eletoima, LOW);
}
```

```
}  
stepper1.run();  
stepper2.run();  
stepper3.run();  
  
}
```