


Protótipo para automatizar o processo de aparafusamento em movimento nas tampas traseiras de televisores fazendo uso da técnica do conveyor tracking

 <https://doi.org/10.56238/sevned2024.010-065>

Weidson de Oliveira Feitoza

Pós-Graduado em Gestão de Projetos
Instituição: LG Electronics do Brasil
E-mail: weidson1.feitoza@lge.com

Darío da Silva Glória

Graduado em Engenharia de Controle e Automação
Instituição: LG Electronics do Brasil
E-mail: dario.gloria@lge.com

Carlos Wagner Alves Nascimento

Pós-Graduado em Data Science, Deep Learning e Machine Learning
Instituição: LG Electronics do Brasil
E-mail: carlos.nascimento@lge.com

Nelson Alexandre Gouvêa

Mestrado profissional em Design de Artefatos Digitais
Instituição: LG Electronics do Brasil
E-mail: nelson.gouvea@lge.com

Ricardo da Silva Moura

Mestre em Engenharia de Produção
Instituição: Fundação Amazônica de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Paulo dos Anjos Feitoza - FPFtech
E-mail: ricardo.moura@fpf.br

Alexandre de Magalhães Périco

Graduado em Engenharia de Controle e Automação
Instituição: Fundação Amazônica de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Paulo dos Anjos Feitoza - FPFtech
E-mail: alexandre.perico@fpf.br

Anderson Bentes Sodré

Graduado em Engenharia de Controle e Automação
Instituição: Fundação Amazônica de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Paulo dos Anjos Feitoza - FPFtech
E-mail: anderson.sodre@fpf.br

Ângela Timótia Pereira Lima

Mestra em Engenharia Elétrica
Instituição: Fundação Amazônica de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Paulo dos Anjos Feitoza - FPFtech
E-mail: angela.lima@fpf.br

Caio César de Araújo Gomes

Graduado em Engenharia de Controle e Automação
Instituição: Fundação Amazônica de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Paulo dos Anjos Feitoza - FPFtech
E-mail: caio.gomes@fpf.br

Juliana Marques Leão

Graduada em Engenharia Elétrica
Instituição: Fundação Amazônica de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Paulo dos Anjos Feitoza - FPFtech
E-mail: juliana.leao@fpf.br

Renato Souza de Lira

Pós-Graduado em Gestão de Projetos
Instituição: Fundação Amazônica de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Paulo dos Anjos Feitoza - FPFtech
E-mail: renato.lira@fpf.br

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo abordar a automatização do processo de aparafusamento da tampa traseira de televisores. Atualmente, essa tarefa é realizada manualmente, o que resulta em produção lenta, esforço repetitivo e concentração intensa por parte dos operadores. A solução proposta envolve o desenvolvimento de um protótipo que utiliza a técnica do conveyor tracking para automatizar o aparafusamento em movimento. Durante o desenvolvimento do projeto, foram enfrentados diversos desafios, como: controle preciso do torque para garantir que os parafusos sejam apertados com a força correta, implementação de um sistema de visão para utilizar câmeras para identificar os pontos de aparafusamento, sincronização com diferentes modelos na esteira para adaptar o sistema para lidar com diferentes tipos de televisores, alimentação automática dos parafusos para assegurar que os parafusos sejam fornecidos de forma contínua, atendimento aos tempos atuais da linha (Takt Time) para manter o ritmo de produção adequado e confirmação do aparafusamento em cada ponto do produto



para verificar se todos os parafusos foram corretamente apertados. A metodologia utilizada no desenvolvimento do módulo de aparafusamento abrangeu as seguintes etapas: especificação de requisitos e planejamento que tem como finalidade identificação das funcionalidades do protótipo e planejamento das atividades, o projeto mecânico que permitiu a criação de desenhos 3D e 2D do módulo de aparafusamento, o projeto de automação responsável pela elaboração de uma lista de materiais ou itens comerciais e o projeto de software etapa responsável pela programação da automação do módulo, incluindo a lógica de controle e comunicação com outros sistemas. A implementação bem-sucedida desse projeto resultará em diversos benefícios para a linha de produção, incluindo o aumento da produtividade, a redução da fadiga dos operadores e o aprimoramento da qualidade do produto. Em resumo, a pesquisa científica não apenas aprimora processos industriais, mas também enriquece a sociedade e fortalece a base de conhecimento acadêmico.

Palavras-chave: Automatização, Aparafusamento, Conveyor Tracking, Sistema de Visão.

1 INTRODUÇÃO

A automação industrial tem sido cada vez mais utilizada na indústria, com o objetivo de aumentar a eficiência e reduzir custos. Uma das aplicações da automação industrial é a técnica de aparafusamento, que pode ser realizada por meio de robôs ou sistemas automatizados.

De acordo com Andrade Jr (2021), o aparafusamento é uma técnica que exige precisão e cuidado para garantir uma fixação firme e segura. É fundamental escolher o tipo de parafuso adequado para o material a ser fixado e a força necessária para suportar a carga aplicada. O processo envolve a perfuração de um furo no material, seguido pela inserção do parafuso no furo e rosqueamento com a ajuda de uma ferramenta de aperto. Quando a rosca do parafuso entra em contato com o material, a fixação se torna firme, resultando em uma união forte e durável.

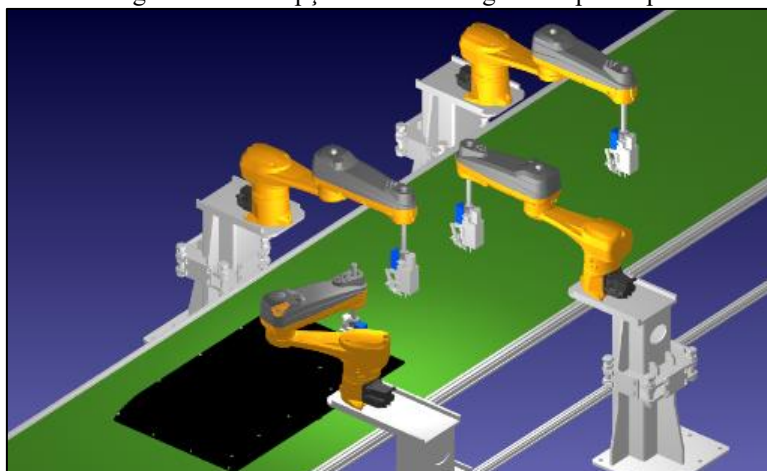
A fixação por meio de parafusos é uma técnica versátil que encontra aplicação em diversas áreas, como em (Costa, Penteado e Filippin, 2020), a fixação de componentes em equipamentos eletrônicos, na indústria automotiva, em Gaspar (2017) o aparafusamento do teto panorâmico de um veículo automotivo, em (Carvalho, Medeiros e Carvalho, 2018), o aparafusamento e fixação de prendedores de asa aeronáutica, em (Martinez, Al-Hussein e Ahmad, 2020), na edificação de estruturas na área da construção civil e em Oliveira et al. (2022), na área de aparafusamento do gabinete traseiro de televisores.

Além das diversas áreas de aplicação, o trabalho de (Dharmara, Monfared, Ogun e Jackson, 2018) apresenta o desenvolvimento de uma solução de montagem automatizada para realizar o aparafusamento de parafusos de diferentes tamanhos em furos roscados de tamanho correspondente, que podem estar localizados em posições aleatórias dentro de um espaço de trabalho definido.

O parafusamento pode ser cansativo e repetitivo para os trabalhadores, requerendo precisão e consistência para garantir a qualidade e segurança do produto. Uma solução eficaz é o uso do *conveyor tracking*, uma tecnologia que automatiza o rastreamento da posição dos parafusos na linha de produção, tornando o processo mais eficiente e automatizado.

Este artigo tem como objetivo desenvolver um protótipo que utiliza a técnica de *conveyor tracking* para identificar com precisão o local para o aparafusamento automático em televisores de 32" a 86" durante o movimento. A Figura 1 ilustra o conceito inicial do protótipo, mostrando a esteira em movimento com o produto iniciando o processo de parafusamento. Além disso, o texto aborda o processo de seleção dos materiais e métodos a serem utilizados no desenvolvimento desse sistema automatizado.

Figura 1 – Concepção do conceito geral do protótipo



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

2 METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se a metodologia utilizada no desenvolvimento do módulo de aparafusamento, abrangendo a especificação de requisitos e planejamento, o projeto mecânico, o projeto de automação e o projeto de *software* como segue:

- Aplicação da Pesquisa: Em relação à abordagem de pesquisa, foi adotado o método qualitativo e, de acordo com (Terence & Escrivão Filho, 2006), o objetivo é aprimorar o conhecimento sobre um determinado tema, levando em consideração a perspectiva dos indivíduos envolvidos que tiveram experiências diretas com o problema da pesquisa, sem se preocupar com a representação numérica. A próxima fase foi realizar o planejamento e levantamento dos requisitos.
- Planejamento e Levantamento de Requisitos: Essa etapa, envolveu o time responsável pelo andamento do projeto da FPFtech (Gerente de Projeto, *Product Owner*, Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Automação e Engenheiro Eletricista) que realizaram visitas a linha de produção para o levantamento de requisitos e, também, para coletar dados, tais como: modelos de produtos, *takt time* da linha, tipos de parafusos utilizados, controle de torque, entre outros. Além disso, para o planejamento dos requisitos foram realizados *workshops* colaborativos, baseado nas práticas de *Lean Inception* que, segundo Caroli (2018), trata do alinhamento de um time sobre o produto a ser construído. Os *workshops* permitiram a elaboração de um plano de desenvolvimento onde inclui um cronograma macro que envolve os projetos de mecânica, automação, *software*, montagem e integração dos módulos, entre outros.

Depois de identificar e planejar os requisitos necessários, a próxima etapa consistiu em iniciar o desenvolvimento que envolveu projeto e montagem.

- Desenvolvimento - Projeto e Montagem: Com base nos estudos realizados, foram desenvolvidos os módulos do protótipo, incluindo o módulo de aparafusamento que compreende o seletor, dispensador, cabeçote do aparafusamento e centralizador. Para o desenvolvimento mecânico desses módulos, foi utilizado o *software* de modelagem CREO *Parametric* que permite o desenvolvimento rápido de produtos segundo Gladkova, O. et al. (2021). A partir dessa ferramenta, foram criados os desenhos 2D e 3D de cada peça do módulo cortes e usinagens.
- Projeto de automação: No que diz respeito ao projeto de automação, inicialmente, foi elaborada a BOM (*Bill Of Material*), ou seja, uma lista de materiais ou itens comerciais que precisariam ser adquiridos para um fabricar ou montar produto conforme (Tozawa & Yotsukura, 2009), tais como servo motores, sensores, robôs, sistema de visão, entre outros.
- Projeto de *software*: foi feita a programação da automação do módulo por meio de um CLP (Controlador Lógico Programável) utilizando a linguagem de diagrama *Ladder* explicitada em Villagomez et al. (2018). Após a fabricação das peças mecânicas, foi realizada a montagem do módulo de aparafusamento.
- Resultados e discussões: Nesta etapa é a fase em que cada módulo desenvolvido é verificado para garantir que atenda às especificações do problema, por meio da elaboração de cenários de teste por Sommerville (2015) e da coleta de resultados.

As próximas etapas do processo de desenvolvimento levaram aos resultados e discussões do artigo conforme segue.

3 DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE APARAFUSAMENTO

Nesta seção, é descrito o processo atual de aparafusamento e suas limitações, assim como o levantamento das funcionalidades do protótipo, é realizada a concepção detalhada do projeto, as pesquisas, as simulações, o desenvolvimento do projeto mecânico e de automação para a construção.

3.1 PLANEJAMENTO E LEVANTAMENTO E REQUISITOS

- Processo manual de aparafusamento

Conforme a Figura 2, os aparafusamentos são realizados por vários operadores com a esteira em movimento. Cada operador tem seu ponto de fixação conforme o tamanho do televisor, segue exemplo de uma TV de 86": operadores 1, 2 e 4 fixam 4 parafusos; operador 3 fixa 3 parafusos e o operador 5 fixa 4 parafusos. Essa quantidade de aparafusamento e posições dos operadores são definidos conforme as posições das entradas dos parafusos na tampa traseira. do módulo do aparafusamento e a aplicação da técnica *conveyor tracking*.

Figura 2 – Cenário do processo manual



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A automatização do processo de aparafusamento é essencial para superar as limitações de produtividade operacional, eliminando os gargalos na linha de produção e aumentando significativamente a capacidade produtiva. Além disso, segundo Moura & Moura (2019), essa produção manual gera “dores” como risco ergonômico, Lesões por Esforço Repetitivo (LER), Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT), além do risco de detecção tardia de erro na montagem.

3.2 PROJETO DO MÓDULO DE APARAFUSAMENTO

O projeto prevê compartilhar a mesma parafusadeira para três tipos diferentes de parafusos. Para propor o dimensionamento desse fluxo, Parafuso – Tubo de Condução – Parafusadeira, foi realizado o método de medição através do paquímetro, considerando o modelo de parafuso mais crítico dessa implementação que é o parafuso M3x5.5 mm com o menor comprimento de rosca.

A primeira medição, conforme a Figura 3, foi realizada com um paquímetro digital de tolerância aproximada de 0,03 mm (1), primeiramente mensurou-se o comprimento do corpo da rosca do parafuso utilizando a haste de profundidade que resultou na medida aproximada de 5,18 mm (2).

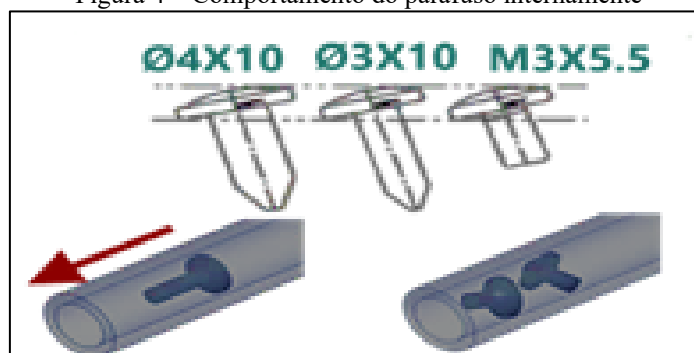
Figura 3 – Medição do parafuso
Medição utilizando a haste de profundidade (1) Indicação de medição no visor do paquímetro (2)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Feito o dimensionamento usando como parâmetro o menor parafuso, passou para a próxima etapa que foi o aparafusamento onde percebeu-se que o método convencional de parafusar provocaria um efeito colateral indesejado de movimentação interna involuntária do parafuso devido o modelo possuir um corpo de rosca menor que o diâmetro interno do tubo como ilustra a Figura 4.

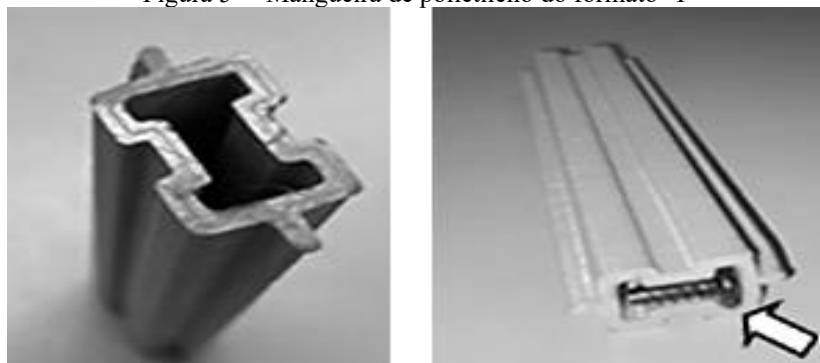
Figura 4 – Comportamento do parafuso internamente



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Foi desenvolvida uma solução para evitar a rotação dos parafusos dentro do tubo, permitindo que o parafuso siga o caminho correto até o bico da parafusadeira. Em contraste com os métodos convencionais, o projeto inovador propõe a fabricação de um tubo condutor com um perfil interno extrudado que corresponde às dimensões dos parafusos. Esse tubo possui as dimensões adequadas para os três modelos e garante o direcionamento preciso do parafuso até o bico da parafusadeira para a realização do aparafusamento, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Mangueira de polietileno do formato “T”



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A utilização da solução em forma de mangueira de polietileno no formato "T" levantou a necessidade de realizar um estudo para determinar o torque adequado para o processo de aparafusamento em diferentes modelos de televisores, que variam de 32" a 86", e utilizam tipos de parafusos distintos. O objetivo desse estudo é assegurar que o produto seja fixado de maneira apropriada, evitando possíveis falhas durante a sua utilização.

É fundamental encontrar o valor de torque ideal, pois aplicar uma força excessiva pode resultar na quebra da cabeça do parafuso ou na deformação das peças envolvidas no processo, conforme mencionado por Matos (2011).

O dimensionamento correto do torque é crucial para assegurar a qualidade do trabalho de aparafusamento, preservando a durabilidade do produto e evitando problemas futuros. Para isso, optou-se por dimensionar o estudo com base nas proporções do modelo de parafuso M3x5.5, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Seleção do tipo de parafuso e do torque

ESPECIFICAÇÃO	M3x 5.5 mm	Ø3x 10mm	Ø4x10mm
TORQUE (kgf.cm)	5~7	6~8	5~7
DESENHO			

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Finalizando os estudos sobre o comportamento dos parafusos e torque, passou-se para a próxima etapa que foi a escolha dos braços robóticos e dispensadores.

Após a seleção do modelo do braço robótico TS2-80, foram realizadas simulações computacionais do processo de aparafusamento para determinar quantos braços robóticos seriam necessários para realizar a tarefa com o mesmo volume de produção atual. Os parâmetros foram

avaliados utilizando-se 4 e 5 braços, conforme a Tabela I, mostra uma comparação entre duas configurações de braços robóticos.

Tabela I – Parâmetros de Simulação

Parâmetros	Configuração	
	4 braços robóticos	5 braços robóticos
Nº de aparafusamento por unid. Robô	5 (aprox.)	4
Sobrecarga	0	-20
Velocidade	2,5s	2,2s
Takt Time da linha	17,5s	17s
Capacidade de Eficiência sendo utilizada	100%	80%

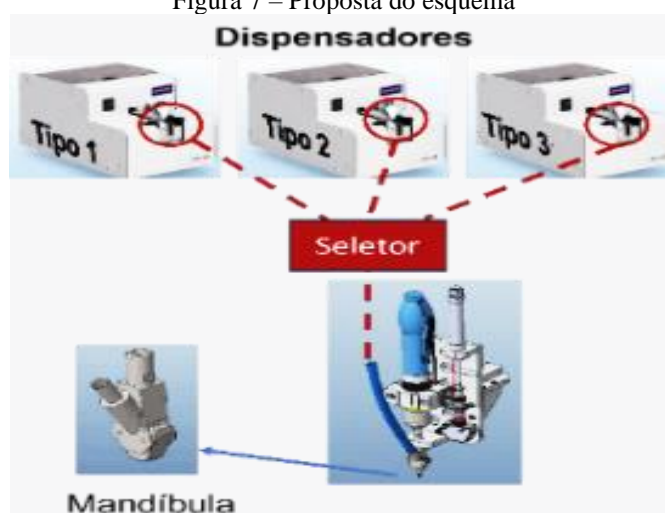
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A tomada de decisão foi a configuração com 4 braços robóticos por ser mais adequada para a empresa. A escolha alcançou o mesmo *takt time* que a simulação com 5 braços robóticos, mesmo usando 100% da capacidade de cada braço. A simulação demonstrou que um sistema com 4 braços robóticos é viável para a aplicação em questão e que a adição de um quinto braço robótico tornaria o sistema oneroso.

Definido a quantidade de braços robóticos, foi pensado em uma solução para variabilidade de parafusamento com o uso de dispensadores e seletor de parafusos como segue.

Os dispensadores são projetados para distinguir entre os três diferentes tipos de parafusos, o que resultou na necessidade de implementar um sistema que integra 3 dispensadores que compartilham a mesma parafusadeira e mandíbula, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Proposta do esquema

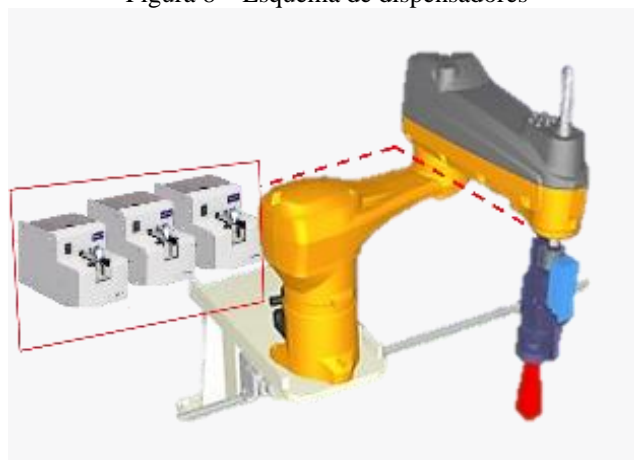


Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Isso permitiu que um mesmo robô se conectasse a esse sistema de mandíbulas com dispensadores, atendendo diferentes modelos de televisores, conforme Figura 8. Essa solução agrega

grande valor em função da característica de versatilidade de alimentação do parafuso e na autonomia da realização da atividade de aparafusamento em diferentes modelos.

Figura 8 – Esquema de dispensadores

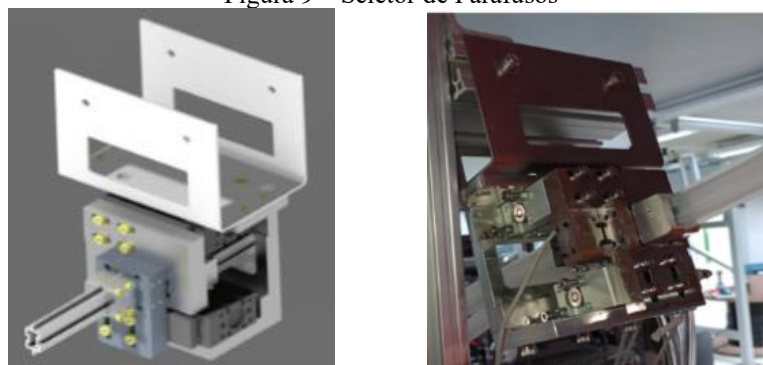


Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O seletor é responsável em automatizar o processo de seleção e orientação de parafusos. O seletor de parafusos do modelo de tubo extrudado será utilizado no processo de seleção de parafusos que demanda uma estrutura tanto de suporte quanto de acoplamento.

Para isso, foi desenvolvido o conjunto mecânico que fará parte do processo de seleção de parafusos como ilustra a Figura 9. A estrutura mecânica do seletor de parafusos tem como função interligar a mangueira dos três dispensadores com a mangueira do robô comutando as posições entre eles.

Figura 9 – Seletor de Parafusos



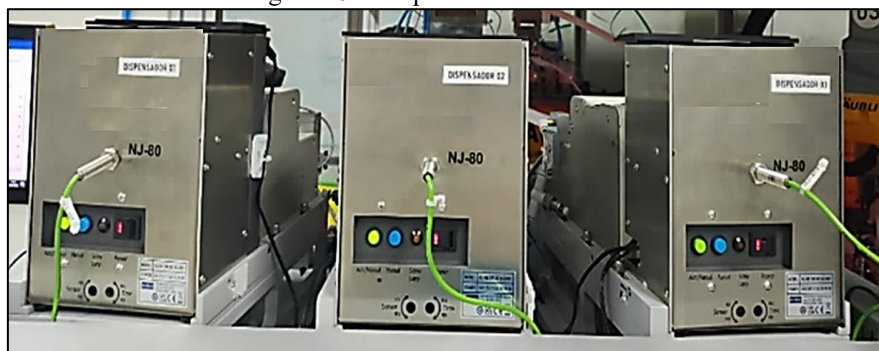
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A próxima etapa foi a estrutura mecânica do módulo de aparafusamento dispensador de parafuso.

3.3 ESTRUTURA MECÂNICA DO MÓDULO DISPENSADOR DE PARAFUSO

O dispensador de parafusos da Figura 10, é uma das peças que foi desenvolvida com a finalidade de comportar os diferentes tipos de parafusos utilizados no processo de aparafusamento. Foi projetado especificamente para se conectar ao mecanismo seletor de parafuso apresentado anteriormente.

Figura 10 – Dispensador de Parafusos



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Após a usinagem das peças do seletor e do módulo dispensador de parafuso foi realizada a montagem das duas peças sobre um *rack* projetado com a finalidade de agrupar cada componente para cada tipo de parafuso, conforme a Figura 11.

Figura 11 – Rack do dispensador



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Feito a estrutura mecânica do módulo, o próximo passo realizado foi a integração dos módulos.

3.4 INTEGRAÇÃO DOS MÓDULOS DE AUTOMAÇÃO

Em concordância com a empresa, foi escolhido o braço robótico TS2-80 da marca Scara ilustrado na Figura 12, devido à sua conformidade nos eixos X e Y e rigidez no eixo Z, sendo uma opção popular para aplicações de montagem em pequena escala. A configuração Scara é única e projetada para lidar com diversas operações de manuseio de materiais, segundo Carvalho et al. (2018).

Figura 12 – Robô TS2-80



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Após projeto mecânico do módulo de aparafusamento deu-se início *conveyor tracking* que irá transportar os televisores para serem parafusados.

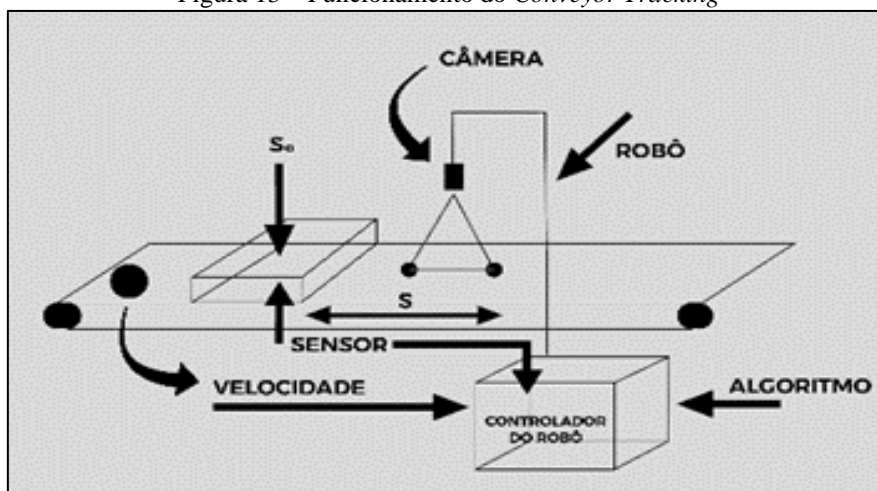
3.5 CONVEYOR TRACKING

O sistema de *conveyor tracking* consiste em uma esteira transportadora horizontal que movimenta os produtos ao longo de um percurso determinado e uma determinada velocidade. Ao longo da esteira, foram integrados sensores de presença e um sistema de visão que capturam informações sobre a posição e a orientação dos produtos em tempo real e envia para o controlador do robô.

O sensor detecta as marcações gerando pulsos elétricos que são convertidos em dados de posição pelo sistema. Esses dados são então utilizados para controlar a velocidade, a direção e a precisão do movimento do braço do robô.

A Figura 13 mostra no *conveyor tracking* a presença de um sensor de presença (s), controle de velocidade (*encoder*), a parafusadeira onde foram acoplados o sistema de visão (câmera) e o robô. Os sensores são responsáveis por detectar a presença dos produtos na esteira e fornecer dados sobre sua localização precisa. Enquanto isso, o sistema de visão computacional analisa as imagens capturadas para identificar os pontos específicos nos televisores onde os parafusos devem ser inseridos

Figura 13 – Funcionamento do *Conveyor Tracking*



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Segundo Milão (2022), o sistema de visão é uma área da inteligência artificial que utiliza algoritmos e técnicas para que as máquinas possam interpretar e entender imagens e vídeos. No sistema de visão foi acoplado na estrutura mecânica da parafusadeira uma iluminação vermelha por realçar tanto objetos plásticos quanto metálicos. O objetivo é um melhor contraste de imagem para a identificação do alvo de aparafusamento.

Ao utilizar a iluminação vermelha, é possível reduzir interferências e reflexos indesejados que poderiam dificultar a detecção e a análise do alvo de aparafusamento. Além disso, o contraste proporcionado pela iluminação vermelha pode ajudar a diferenciar o objeto alvo do restante do ambiente, facilitando sua identificação e rastreamento pelo sistema de visão.

A integração do sistema de parafusamento com o sistema de visão em tempo real possibilita uma identificação precisa dos pontos de parafusamento, mesmo quando os produtos estão em movimento na esteira, pois a atuação do *conveyor tracking* permite essa integração.

No entanto, para alcançar o ponto de parafusamento adequado, além do desenvolvimento da parte mecânica, foi realizado um estudo de parametrização das alturas de cada *back cover*. Esse estudo foi necessário, pois o projeto precisa ser configurado para acomodar diferentes modelos de televisão.

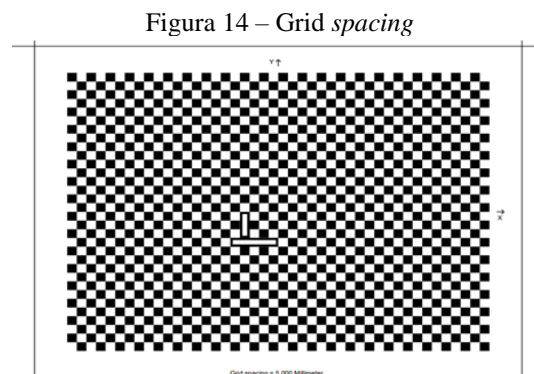
De acordo com Moura (2019), a parametrização é o processo de configurar parâmetros em sistemas, dispositivos ou programas de computador. Esses parâmetros são variáveis ajustáveis que influenciam o comportamento, características e configurações do sistema. Em ambientes industriais, a parametrização é utilizada para ajustar parâmetros de equipamentos, máquinas e sistemas automatizados, como velocidade, potência, limites de segurança e tolerâncias.

No projeto, essa parametrização, foi realizada através da interface homem máquina. Os valores das coordenadas de x e y de cada parafuso é passado para o robô para que o eixo z possa descer de forma correta.

Para estabelecer o sincronismo entre a câmera e o robô, foi realizado um processo de alinhamento no plano cartesiano, seguindo os passos abaixo:

1. Definição de um sistema de coordenadas usando um ponto de referência como origem.
2. Adoção de unidades de medida em milímetros para uma escala precisa.
3. Criação de um grid com linhas de referência para facilitar o alinhamento visual.
4. Marcação dos pontos de referência relevantes no grid.
5. Posicionamento do robô e da câmera de acordo com as coordenadas do grid.
6. Ajuste fino da câmera para alinhá-la perfeitamente com o grid.

A Figura 14, mostra o ponto de origem que deve servir como referência para o deslocamento da parafusadeira pelo robô. O contraste alto entre as quadrículas pretas e brancas permite que câmeras e sensores identifiquem com precisão a localização e a orientação do robô em relação ao padrão.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 15 mostra a parafusadeira acoplada no braço mecânico com o sistema de visão e iluminação vermelha. Esse alinhamento possibilitou a comunicação e coordenação eficiente entre o robô e a câmera, permitindo que trabalhassem juntos de maneira sincronizada.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O desenvolvimento do módulo de parafusamento levou ao resultado e discussão do referido projeto.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Para avaliar o desempenho e assegurar a funcionalidade do sistema de parafusamento, foram conduzidos testes unitários e modulares em um ambiente laboratorial e funcional para garantir a efetividade dessa integração.

4.1 TESTE LABORATORIAL

O teste começou com a definição do alcance do robô para executar o parafusamento. Com base no posicionamento estratégico dos robôs, foi definida uma área de atuação para cada um, visando alcançar pontos específicos de parafusamento no produto conforme ilustrado na Figura 16. Segue a distribuição dos pontos de cada robô:

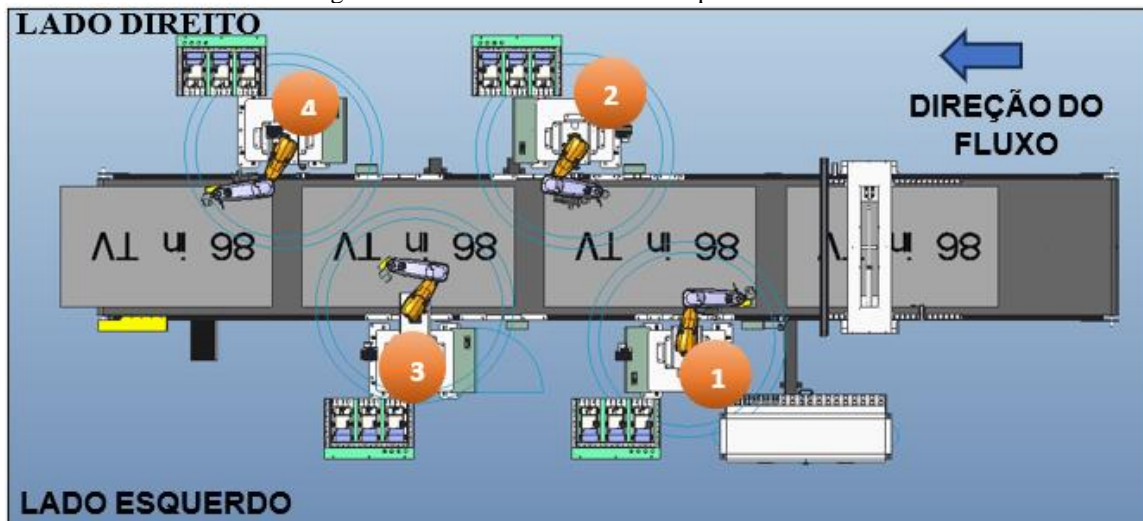
Robô 1: Responsável pelos pontos laterais esquerda do produto.

Robôs 2 e 4: Responsáveis pelos pontos das laterais direita do produto.

Robô 3: Responsável pelos pontos centrais do produto.

Essa divisão permitiu uma abordagem eficiente e coordenada, garantindo que todos os pontos de aparafusamentos sejam adequadamente atendidos.

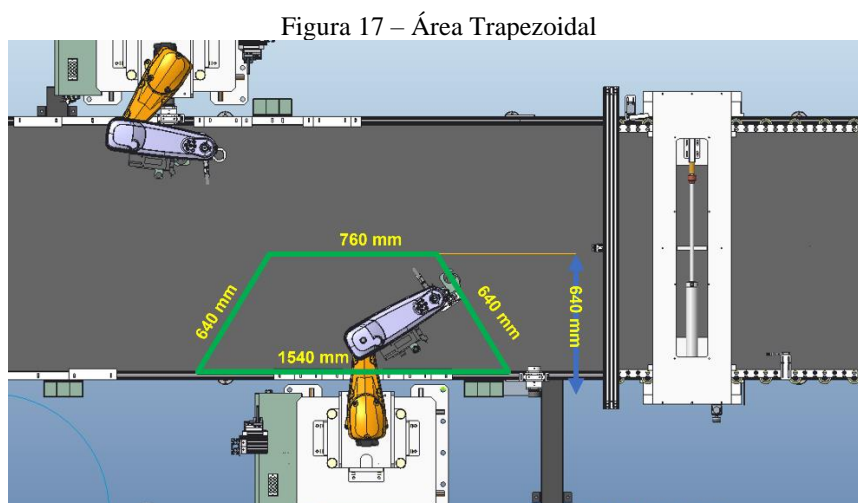
Figura 16 – Gabarito de dimensão e pontos Tv 65"



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Para avaliar a área trapezoidal foi definido o modelo de TV de 65" com suas respectivas dimensões e pontos que precisam ser parafusados. Cada robô foi projetado para ocupar uma área trapezoidal específica, a qual delimita sua região de atuação conforme a

Figura . Durante o processo de dimensionamento, também foram avaliadas possíveis colisões. A área trapezoidal marcada em verde é a zona de trabalho. As medidas de 1540 mm e 760 mm são as bases do trapézio, enquanto as medidas de 640 mm representam os lados não paralelos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Durante esses testes, foram avaliados a repetibilidade em relação ao **ciclo**, a **altura** e a **quantidade de parafusos** a serem fixados, bem como as **falhas**. Esses resultados estão ilustrados na Tabela II que mostra o desempenho de quatro robôs de parafusamento em vários ciclos de testes, destacando as falhas ocorridas durante o processo. Cada robô enfrentou desafios específicos, como parafusos que ficaram presos em um ângulo de 45°, e a tabela registra o número total de parafusos envolvidos no teste, bem como os que falharam ou caíram.

Por exemplo, para o Robô 01, não houve falhas nos ciclos de teste registrados. Já o Robô 03 apresentou várias falhas em ciclos diferentes, destacando-se um teste no qual 3 parafusos ficaram presos no ângulo de 45°, com um parafuso caindo no ciclo de 10 parafusos a uma altura de 51 mm.

Tabela II – Parâmetros dos Testes

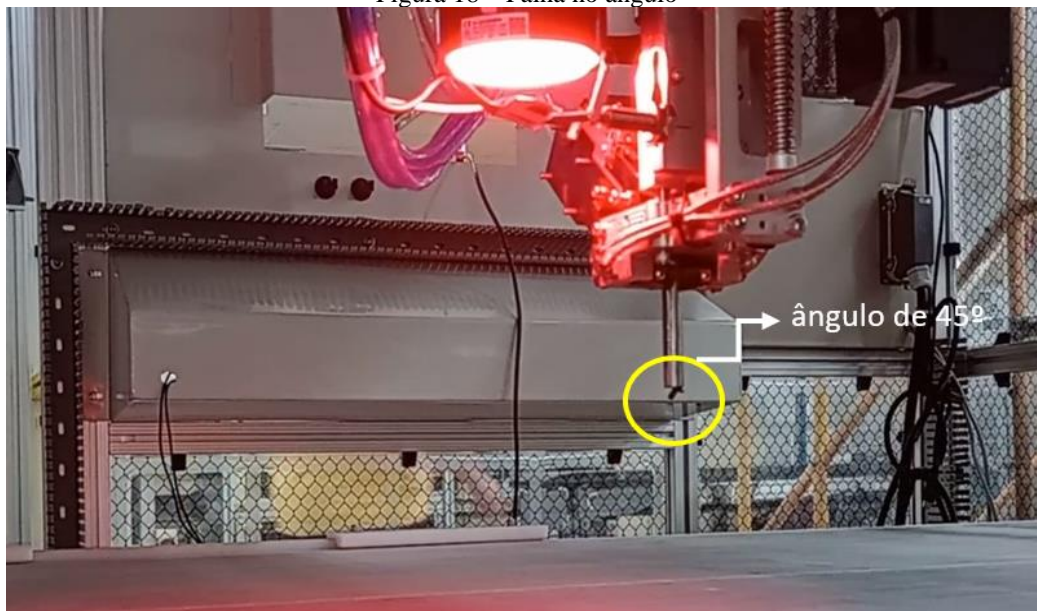
TESTES REALIZADOS SEM O PRODUTO					
	CICLO	ALTURA (mm)	PARAFUSOS	FALHAS (quant. de parafusos) / (parafusos que caiu)	
Robô 01	8	48	4	1 - Ficou preso no ângulo de 45°	0
	25	51	4	3 - Ficou preso no ângulo de 45°	0
	30	47	4	0	0
Robô 02	CICLO	ALTURA (mm)	PARAFUSOS	FALHAS (quant. de parafusos) / (parafusos que caiu)	
	30	48	3	0	0
Robô 03	CICLO	ALTURA (mm)	PARAFUSOS	FALHAS (quant. de parafusos) / (parafusos que caiu)	
	10	51	3	3 - Ficou preso no ângulo de 45°	1
	30	49	3	1 - Ficou preso no ângulo de 45°	2
	30	49	2	2 - Ficou preso no ângulo de 45°	1
	30	50	2	Usando temporizado ainda teve 2 - Ficou preso no ângulo de 45°	0
30	47	2	1 - Ficou preso no ângulo de 45°	1	

	30	57	2	3 - Ficou preso no ângulo de 45°	2
	30	50	2	Realizando o alinhamento da mandíbula ainda teve 1 - Ficou preso no ângulo de 45°	0
	40	47,5	2	3 - Ficou preso no ângulo de 45°	0
	30	46	2	0	0
Robô 04	30	47	2	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Durante a realização dos testes, as alturas correspondentes à posição de vácuo foram ajustadas a fim de alcançar uma taxa de falhas nula. Isso se deve ao fato de que certas falhas estavam associadas à angulação inadequada dos parafusos. Na Figura 18, ilustra o momento que o parafuso fica preso no ângulo de 45°.

Figura 18 – Falha no ângulo



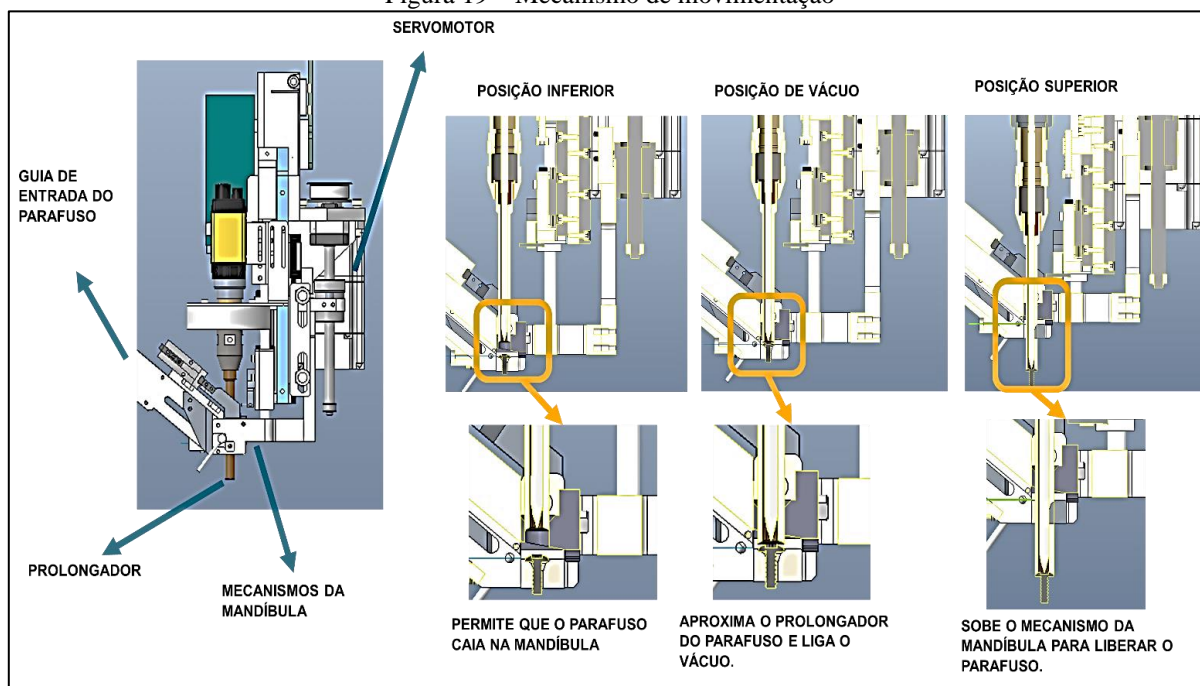
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Para exemplificar o funcionamento de um sistema de posicionamento a vácuo para parafusos, a Figura 19 apresenta um diagrama detalhado com os principais componentes.

1. À esquerda, temos uma visão detalhada dos componentes internos do sistema:
 - GUIA DE ENTRADA DO PARAFUSO: Permite que o parafuso seja direcionado corretamente.
 - PROLONGADOR: Faz a aproximação do parafuso e liga o vácuo.
 - MECANISMOS DA MANDÍBULA: Faz a subida para liberar o parafuso.
2. Na POSIÇÃO INFERIOR, o parafuso cai na mandíbula.
3. Na POSIÇÃO DE VÁCUO, o prolongador se aproxima para ligar o vácuo.
4. Na POSIÇÃO SUPERIOR, o mecanismo da mandíbula sobe para liberar o parafuso.

As setas laranjas indicam o fluxo do processo, e o retângulo laranja aponta para a parte da máquina que executa a ação crítica de parafusamento.

Figura 19 – Mecanismo de movimentação



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Novos testes foram efetuados após realizar ajustes na mandíbula e nas alturas correspondentes à posição de vácuo, empregando o mesmo modelo de televisão de 65 polegadas e 12 parafusos com os 4 robôs. Os resultados alcançados podem ser consultados na Tabela III.

Analisando a tabela observa-se que para o Robô 01 e o Robô 03, o resultado foi 0/0, indicando que não houve falhas nem quedas de parafusos. O Robô 02 teve uma falha registrada (um parafuso preso no ângulo de 45°), mas nenhum parafuso caiu. O Robô 04 teve uma falha registrada, indicada pelo número 0/1, significando que não houve falhas durante o parafusamento, mas um parafuso caiu. Com uma redução significativa das falhas da tabela II para a tabela III espera-se fazer os ajustes finos na linha de produção.

Tabela III – Resultados após correção

Robôs	CICLO	ALTURA (mm)	FALHAS (quant. de parafusos) / (parafusos que caiu)
Robô 01	30	47	0/0
Robô 02		48	1 - Ficou preso no ângulo de 45°/0
Robô 03		46	0/0
Robô 04		47	0/1

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

4.2 TESTES NO MÓDULO DE PARAFUSAMENTO

Ao iniciar o ciclo do parafusamento foi realizado o teste de alinhamento do *back cover* na esteira para que entre no módulo centralizado independentemente do tamanho do modelo de televisão, conforme ilustra a Figura 20.

Figura 20 – Centralizando a TV modelo 65"

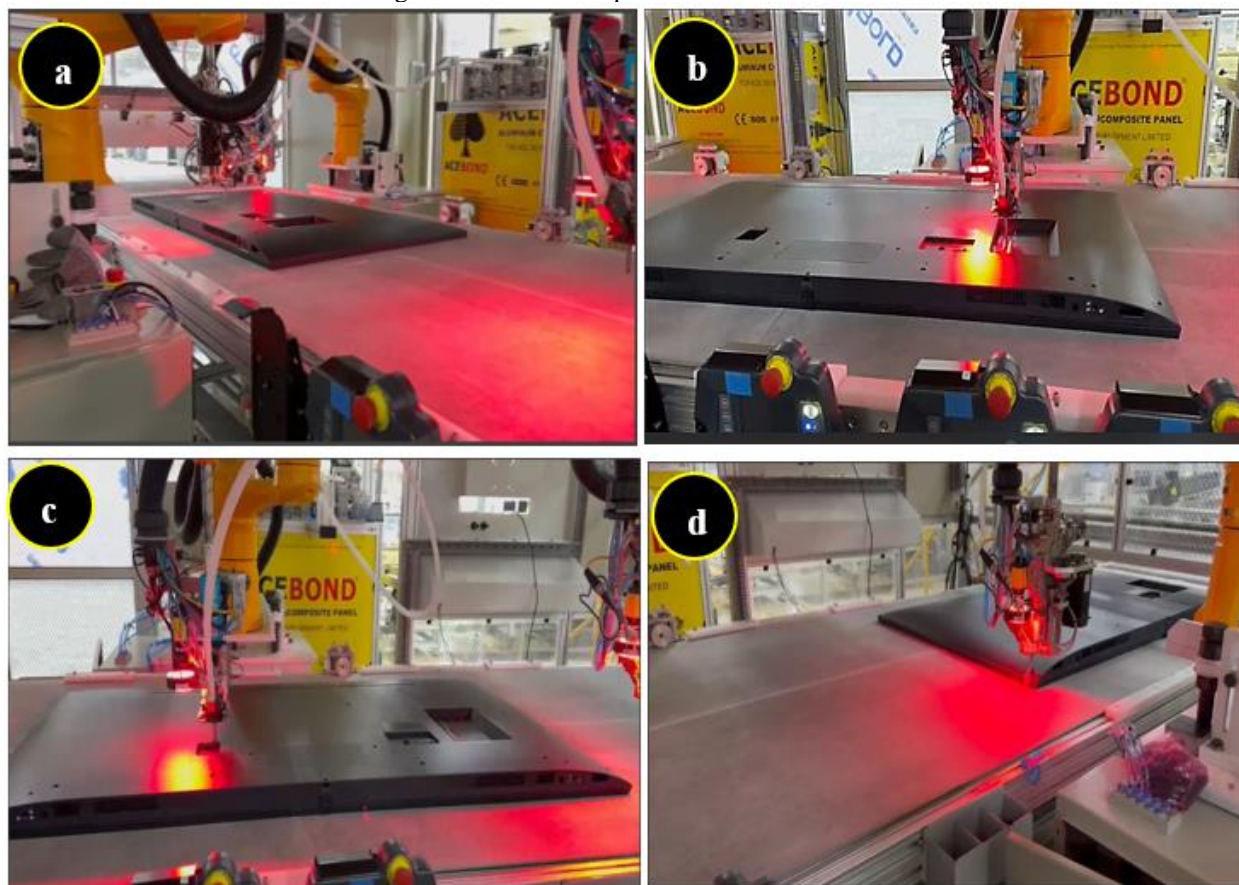


Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O teste envolveu o posicionamento do robô em diferentes distâncias em relação ao ponto de aparafusamento, avaliando sua precisão. O sistema de visão com câmera foi utilizado para localizar e posicionar corretamente o ponto de aparafusamento em tempo real.

O teste de *tracking* com a câmera foi essencial para verificar a eficiência e confiabilidade do sistema de parafusamento automatizado. Foram considerados critérios como taxa de sucesso na localização do ponto de parafusamento, tempo de resposta e precisão no posicionamento do robô em relação ao alvo. Os resultados obtidos conforme ilustrado na Figura 21 garantem um processo de parafusamento automatizado eficiente, mesmo em condições variáveis. Na Figura 21(a) o back cover passando pelo robô 1 para parafusar, na Figura 21(b) o back cover passando pelo robô 2 para parafusar, na Figura 21(c) o back cover passando pelo robô 3 para parafusar e na Figura 21(d) o back cover passando pelo robô 4 para finalizar o parafusar.

Figura 21 – Passos do parafusamento na Tv 65"



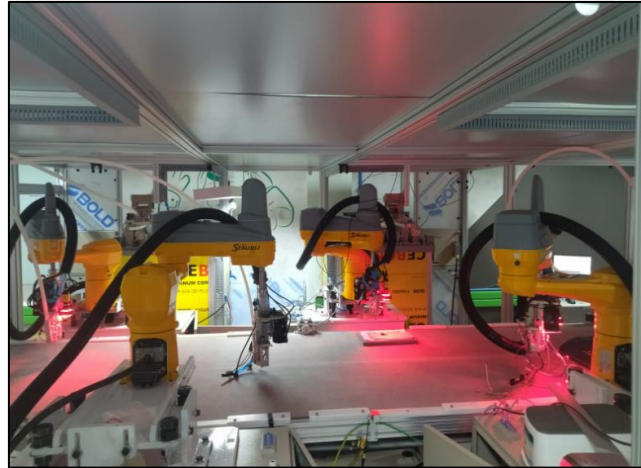
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Em resumo, este projeto envolveu uma série de etapas cuidadosamente planejadas e executadas, desde a concepção do conceito, estudo da técnica e realização de testes, tudo com o objetivo de atender à necessidade de aparafusamento. Cada etapa foi crucial para garantir que o parafusamento pudesse ser realizado de forma correta e eficaz.

5 CONCLUSÃO

O projeto apresenta uma importante contribuição tecnológica ao automatizar o processo de aparafusamento de diferentes modelos de televisores em movimento, eliminando a necessidade de intervenção humana. A inovação chave é a combinação sincronizada de automação para selecionar o parafuso adequado e o momento ideal para aparafusar cada produto, garantindo a eficiência produtiva. O método do *conveyor tracking* foi utilizado para integrar o sistema de visão com os robôs, conforme ilustrado na Figura 22, permitindo acompanhar o movimento dos produtos na esteira durante a realização do parafusamento automatizado utilizando diferentes tipos de parafusos. Esse módulo trabalha com esteiras programáveis e sensores para garantir o correto posicionamento dos produtos em movimento, maximizando o tempo sem interromper a produção.

Figura 22 – Integração dos robôs



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A combinação de parafusamento automatizado, sistema de visão, seletor, dispensador e *conveyor tracking* é essencial para a indústria, pois proporciona maior eficiência, precisão e qualidade nos processos de montagem e automação. Esses elementos trabalham em conjunto para otimizar a produção, assegurando a correta fixação dos componentes e acompanhando o fluxo dos produtos ao longo da linha de produção, o protótipo ainda se encontra em fase de implantação na empresa e com isso alguns ajustes devem ainda ser realizados.



REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. L. Jr, (2021). Artigos – Torque Residual, Revista do Parafuso. Edição 8. Recuperado em 02 março, 2023. Disponível em <http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=1331>
- BOCK, F. (n.d.). VISÃO COMPUTACIONAL Palavras-Chaves. www.academia.edu. Recuperado em 30 abril, 2023. Disponível em https://www.academia.edu/9621896/VIS%C3%83O_COMPUTACIONAL
- CAROLI, P. (2018). Lean Inception: How to Align People and Build the Right Product. 1 ed. Porto Alegre: Caroli, 2018.
- CARVALHO, C. M. de, MEDEIROS J. N. M. de, & CARVALHO E. N. de, (2018). Sistema de aparafusamento linear em Série automática de Baixo Custo. Recuperado em 23 março, 2023. Disponível em https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/sistema_de_aparafusamento_automatico_artigo_0.pdf
- CARVALHO, G. M., SANTOS, K. R. S., & VILLANI, E. (2019). View of robotic cell integration for screwing of aircraftwing panels. Recuperado em 15 maio, 2023. Disponível em https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/cba/article/view/518/481
- COSTA C. C., PENTEADO, R., & FILIPPIN, C. G. (2020), “Estudo de Caso: Reprovações Por Torque Elevado no aperto do Volante de um motor leve do Ciclo Otto”, *Brazilian Journal of Development*, vol. 6, no. 7, pp. 52919–52941.
- DHARMARA, K., MONFARED, R.P, OGUN, P.S & JACKSON, M.R (2018). *Robotic assembly of threaded fasteners in a non-structured environment*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 98, 2093-2107. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2363-5>
- GASPAR, J. T. de M. (2017). Desenvolvimento de Um Dispositivo Para Aparafusamento do Teto Panorâmico de um veículo automóvel, *Handle Proxy*, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. *unpublished*. Recuperado em 12 abril, 2023. Disponível em <http://hdl.handle.net/10362/29355>.
- GLADKOVA, O., PARKHOMENKO, A., MYRONENKO, N., PARKHOMENKO, A., ZALYUBOVSKIY, Y., & ANDREIEV, M. (2021). Adaptation of CAD-system CREO for development of individual spinal implant. *IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, 2021. doi:10.1109/cadsm52681.2021.9385210
- MARTINEZ, P., AL-HUSSEIN, M., & AHMAD, R. (2020). Intelligent vision-based online inspection system of screw-fastening operations in light-gauge steel frame manufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 109, no. 3–4, pp. 645–657. doi:10.1007/s00170-020-05695-y
- MATOS, P. F. (2011). Aparafusamento de Peças Plásticas na Produção em Série na Preh Portugal. Repositório Aberto da Universidade do Porto: Home, Recuperado em 25 março, 2023. Disponível em <https://repositorio-berito.up.pt/handle/10216/58407>.
- MILÃO, D. de & HONORATO, L. B. (2022). Visão computacional. Honorato UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas FT – Faculdade de Tecnologia. Disponível em https://www.academia.edu/9621896/VIS%C3%83O_COMPUTACIONAL_Palavras_Chaves



MOURA, J. L. & MOURA, R. A. (2019). Interação Humano-Máquina no Sistema Produtivo da Indústria 4.0 Visando Aumentar a produtividade e reduzir LESÕES Por Esforços repetitivos, *CIMATech*, vol. 1, no. 6, pp. 217–227, 2019. doi:10.37619/issn2447-5378.v1i6.213.217-227.

OLIVEIRA, J. P. de, ANDRADE de, M. L. L., TORNÉ, I. G., CARDOSO, F. S., SOBRINHO, A. M. F., & PRINTES, A. L. (2022). Desenvolvimento de um sistema para a identificação de furos do Gabinete Traseiro de televisores para inserção automática de parafusos, *Conjecturas*, vol. 22, no. 2, pp. 1266–1290, 2022. doi:10.53660/conj-835-f21

SOMMERVILLE, I (2015). *Software Engineering*. Editor Pearson: 10th Revised ed. edition. (24 março 2015). ISBN 10:0133943038.

TERENCE, A. C. F. & Escrivão, E. F. (2006). Abordagem Quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais - ABEPRO, Recuperado em 05 maio, 2023. Disponível em https://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR540368_8017.pdf

TOZAWA, Y. & YOTSUKURA, M. (2009), Integration of bills of material towards a communication tool, *WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering*. doi:10.1109/csie.2009.971

VILLAGOMEZ, H. I. INZUNZA, ARCE, B. P., RUIZ, I. S. HERNANDEZ, & CORELLA ,J. A. L.(2018). Design and implementation of a development environment on Ladder Diagram (HT-plc) for Arduino with ethernet connection, *IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*. doi:10.1109/ica-acca.2018.8609850