

Automação do processo e testes funcionais de placas de televisores de uma empresa do polo industrial de Manaus

Weidson de Oliveira Feitoza * Carlos Nascimento * Nelson A. Gouvea* Dário da Silva Glória*

Ângela T. P. Lima ** Carla Oran F. de Souza **

Daniel Ferreira da Silva** Leonardo Morgado dos Santos **

(e-mail: weidson.feitoza@lge.com,
carlos.nascimento@lge.com, nelson.gouvea@lge.com, dario.gloria@lge.com).

** Fundação Desembargador Paulo dos Anjos Feitoza - FPF Tech,
Manaus, AM, Brasil (e-mail: angela.lima@fpf.br, coran@fpf.br,
daniel.ferreira@fpf.br,leonardo.morgado@fpf.br).

Abstract: Abstract: Industrial automation is a practice that offers numerous advantages to companies, enabling the optimization of production processes, cost reduction, increased productivity, and improved product quality, as well as ensuring worker safety and a safe working environment. This project aims to automate the inspection process of 32" and 55" television boards on an assembly line in a factory located in the Manaus Industrial Pole. Previously, the process did not allow for the integration of test results for decision-making, and it required excessive operator movement. However, with the automation of the process, the inspection for component absence and solder shorts has been optimized using a vision system, allowing for the integration of test results for more efficient decision-making. As a result, the automation of this process brings several advantages to the company, such as improved production line efficiency, reduced verification time, and consequently, increased productivity without compromising product quality or worker safety.

Resumo: A automação industrial é uma prática que oferece inúmeras vantagens às empresas, possibilitando a otimização dos processos produtivos, a redução de custos, o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade dos produtos, bem como a garantia da segurança dos trabalhadores e do ambiente de trabalho. Este projeto tem como objetivo realizar a automação para o processo de inspeção de placas em uma linha de montagem de televisores de 32" e 55" em uma fábrica situada no polo Industrial de Manaus. Anteriormente, o processo não permitia a integração dos resultados dos testes para tomada de decisão, além de demandar deslocamento excessivo do operador. No entanto, com a automatização do processo, a inspeção de ausência de componentes e curtos de solda foi otimizada com um sistema de visão, possibilitando a integração dos resultados dos testes para uma tomada de decisão mais eficiente. Com isso, a automação desse processo traz diversas vantagens para a empresa, como a melhoria da eficiência da linha de produção, a redução do tempo de verificação e, conseqüentemente, o aumento da produtividade, sem comprometer a qualidade dos produtos ou a segurança dos trabalhadores.

Keywords: Automate; Industrial Automation; Inspection; Television; Quality.

Palavras-chave: Automatizar; Automação Industrial; Inspeção; Televisor; Qualidade.

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 tem um alto impacto e traz uma gama de mudanças nos processos de fabricação, resultados e modelos de negócios, permitindo a customização em massa, aumento de produtividade, flexibilidade, velocidade de produção e melhoria na qualidade do produto. A automação industrial tem uma relação direta com a indústria 4.0 promovendo ganhos significativos em eficiência, capacidade de produção e redução de erros humanos, além de melhorar a produtividade e a competitividade das empresas, conforme Anzolin (2021) e International Federation of Robotics (2017).

Com o objetivo de garantir a produtividade, qualidade dos produtos fabricados e redução dos erros humanos no processo

produtivo, a fábrica situada no polo Industrial de Manaus decidiu automatizar uma das etapas de teste de defeitos dos televisores de 32" e 55" que é responsável por verificar se as placas PCBA Main (Printed Circuit Board Assembly) dos televisores estão apresentando algum defeito funcional em seus componentes, tais como: áudio, vídeo, conectores USB, HDMI, Ethernet, dentre outros. Essa etapa do processo produtivo não estava integrada a outras soluções existentes na fábrica, deixando os dados gerados nesse posto isolados. Essa característica representa um ponto cego para os gestores da planta, tornando difícil tomar decisões rápidas para reverter incidentes de não conformidade que ultrapassem os limites aceitáveis.

Para desenvolvimento dessa automatização, a empresa firmou parceria com o instituto de pesquisa e desenvolvimento Fundação Desembargador Paulo Feitoza (FPFtech). Assim, para dar início ao entendimento a automação do processo e testes funcionais das placas de televisores foram feitos *workshops* colaborativos baseados na metodologia *Lean Inception* que consiste em reunir o time técnico do instituto (engenheiro mecânico, engenheiro de automação, engenheiro de *software*, gerente do projeto e analista de testes) e colaboradores da fábrica para refinarem os requisitos e alinharem os objetivos do protótipo geral da automação conforme Caroli (2018).

• Nesse primeiro momento foi definido o protótipo geral da solução, conforme Fig. 1. O processo inicia com a PCBA *Main* na esteira (1) que também tem a função de *lift*, que levará a PCBA *Main* para o nível superior, alinhando com a esteira (2), em paralelo ao processo de *lift* na esteira (1) também ocorrerá a inspeção visual de ausência de componentes e curto-circuito na solda, por meio de câmeras (1). A esteira (2) possui duas funções: a primeira é a alimentação do magazine de *No Good* (NG) (3) que são das placas reprovadas na inspeção visual, a segunda função é a transferência da PCBA *Main* diretamente para a esteira (5), caso a placa seja aprovada, passando pelo buffer de linha (4) que armazena temporariamente a PCBA *Main*. Quando disponível a esteira (5), a PCBA *Main* é enviada para a esteira (5) e posicionada sobre um mecanismo para rotacionar a placa, chamado mesa rotativa (7), onde a garra a vácuo do robô (7) pegará a PCBA *Main*, levará para a quebra do *dummy* (8).

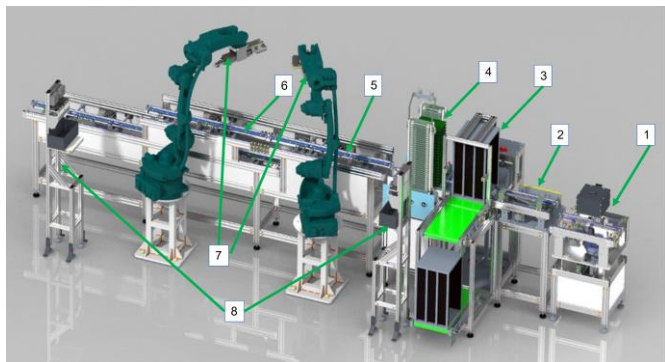


Fig. 1 Conceito: Visão Geral do Protótipo.

2. METODOLOGIA

O processo de desenvolvimento do protótipo teve início com a realização de uma pesquisa bibliográfica em livros e artigos especializados na área em questão. Durante essa fase, descreveram-se os termos técnicos utilizados no protótipo e apresentou-se na Fig. 1 como segue:

• Sistema de Visão ou Visão Computacional: é uma área da inteligência artificial que utiliza algoritmos e técnicas para que as máquinas possam interpretar e entender imagens e vídeos. Essa tecnologia possui diversas aplicações em diferentes áreas, como física (analisar imagens obtidas em experimentos de física de partículas e na análise de imagens astronômicas),

biologia (análise morfológica de célula, detecção de células cancerosas, entre outros), indústria (inspeção de produtos, falha de equipamentos, entre outros) e forças armadas (detecção de terrorista, reconhecimento de face (biometria), entre outros) Milano (2019).

• Mesa rotativa: É um dos mecanismos que tem como função facilitar o posicionamento de dispositivos industriais, mantendo o bom funcionamento da movimentação no ciclo de automação, com o máximo de precisão, agilizando a linha de produção e mantendo a qualidade do produto conforme (Gotlih et al., 2021).

• Garra a vácuo: As garras permitem temporariamente o contato com os objetos a serem manipulados para posicioná-los e acoplá-los ao equipamento de manuseio (Rachkov e Bebenin, 2018). São úteis para realizar tarefas de *pick and place*, onde peças são retiradas de um local e movidas para uma posição específica (Zeng et al. 2018; Imtiaz et al. 2022). Nesse protótipo, foram utilizadas garras de vácuo/sucção e, para gerar o vácuo necessário, as garras são conectadas a uma bomba de vácuo, que funciona por meio do movimento positivo: quando a câmara se expande, o vácuo natural é criado, resultando na aspiração de mais gás (Camargo, 2013).

• Quebra do *Dummy*: As PCBAs *Main* veem com uma aba, chamada de *dummy*, que precisa ser quebrada para permitir o encaixe no módulo de teste.

Dessa forma, foi possível garantir um embasamento sólido para a etapa seguinte do desenvolvimento, foi aplicado o levantamento de requisitos, projeto mecânico, de automação, de integração e testes conforme descritos a seguir:

2.1 Levantamento e Planejamento dos Requisitos

Para garantir um levantamento completo dos requisitos do protótipo, foram realizadas visitas técnicas na linha de produção para entender o processo atual e identificar pontos que poderiam e precisariam ser automatizados. Durante essas visitas, foram feitas observações detalhadas do fluxo de trabalho, bem como entrevistas com os colaboradores envolvidos no processo produtivo, a fim de compreender suas necessidades e expectativas.

Além disso, durante as visitas técnicas, foi possível mensurar o *takt time* da linha de produção, ou seja, o tempo máximo necessário para produzir uma unidade do produto (Ohno, 1997), o que permitiu identificar possíveis gargalos no processo e definir metas de produtividade mais realistas.

Após a etapa de levantamento e especificação dos requisitos, partiu-se para projetar conceitualmente as partes mecânicas, desenvolver os código-fonte da automação e do *software* de coleta dos resultados e integrar o protótipo.

2.2 Projeto, automação e integração

Serão descritos nesta etapa as ferramentas, documentos e peças utilizados e elaborados, conforme descrito:

• Para projeto mecânico conceitual e detalhado do protótipo, a equipe utilizou o aplicativo PTC CREO, que é um software de modelagem de sólidos com recursos paramétricos complexos

em 2D e 3D (Rider, 2018). Dessa forma, a utilização do aplicativo permitiu à equipe de projeto criar um modelo detalhado e preciso que pode ser facilmente ajustado e modificado durante todo o processo de desenvolvimento. Isso resultou em um produto de alta qualidade e adequado às necessidades específicas do projeto (Shih, 2013).

- O processo de automação iniciou com a definição da *Bill of Material* (BOM) ou Lista de Materiais que de acordo com Serrão (2016), é um documento que lista todos os materiais e componentes necessários para a produção de um produto ou sistema. O autor destaca que a utilização do BOM é fundamental para garantir a eficiência e qualidade do processo produtivo, além de assegurar que o produto esteja em conformidade com as especificações técnicas. No processo de automação, o BOM é utilizado para evitar atrasos na produção e garantir que todas as informações estejam disponíveis e atualizadas para os responsáveis pela automação. Depois da definição e aquisição da BOM, veio o desenvolvimento do *software* de controle da máquina, bem como do *software* de captura dos resultados dos testes.

- O processo de integração envolveu a montagem do protótipo, que consistiu em peças mecânicas fabricadas para os módulos, além de itens comerciais, tais como robôs, sensores, servo motores etc. As montagens desses módulos ocorreram em um laboratório, onde foram reunidos os componentes mecânicos e de automação necessários para a integração. Após essa integração física, foi feita a integração lógica responsável em fazer a comunicação dos módulos. Esse processo de integração é fundamental para garantir que todos os componentes trabalhem juntos de forma eficiente e sem problemas, e que o protótipo final cumpra as especificações e requisitos necessários para o seu funcionamento adequado. O processo de integração incluiu testes e ajustes para garantir a qualidade e a eficiência do sistema final.

3. DESENVOLVIMENTO DOS MÓDULOS

Para compreender o processo de desenvolvimento dos módulos, o início ocorreu com a criação dos desenhos 2D e 3D, seguido pela fabricação das peças propostas para o protótipo e, por fim, sua integração.

3.1 Módulo Lift e Sistemas de Visão

O lift foi o primeiro módulo desenvolvido para o protótipo proposto, com o objetivo de posicionar as PCBAs Main de maneira precisa no sistema de visão. Esse posicionamento foi essencial para permitir a execução da leitura do código de barras, que identifica o modelo da PCBA Main, bem como a inspeção dos componentes para verificar a ausência destes e de soldas para verificar a existência de curto-circuito.

O software utilizado para a parametrização do controlador CV-X é o CV-X Series Terminal Software. Para determinar o curto-circuito é definida uma área entre os pads de solda onde utiliza-se a técnica de binarização para diferencia solda e não solda. Depois de feita a binarização conta-se os pixels brancos (solda) dentro da área definida. Depois é definido os limites

inferior e superior para a quantidade de pixels brancos e caso esteja fora desse range houve um curto de solda.

Para a análise da falta de componente foi feita uma imagem de referência com todos os componentes (Fig. 9) e através da técnica de detecção de padrão de perfil, foi ensinado ao sistema os padrões de perfil que deveria ser buscado por exemplo (Fig.8), o próximo passo é analisar o índice de correlação para julgar OK ou NG.

Para a detecção do código de barra o CV-X Series Terminal Software usa uma função nativa ele usa o código de barra para gerar um histórico das análises da placa atrelado ao *serial number* (SN).

A Fig. 2 mostra o lift (1) e o sistema de visão (2). O lift (1) foi desenvolvido utilizando uma estrutura composta por perfis de alumínio 6030, peças usinadas em alumínio e aço carbono, além de eixos guias em aço cromo e fusos para ajustar a esteira e adaptá-la aos diferentes modelos de PCBAs Main com diferentes larguras. Para o movimento vertical, foram acoplados dois atuadores pneumáticos e amortecedores de impacto foram adicionados para a subida na esteira e para a descida de onde veem a PCBA Main. Além disso, o lift (1) conta com dois sistemas de visão (2), equipamentos disponíveis no mercado, para realizar a leitura do produto e a inspeção dos componentes e curto-circuito nas soldas.

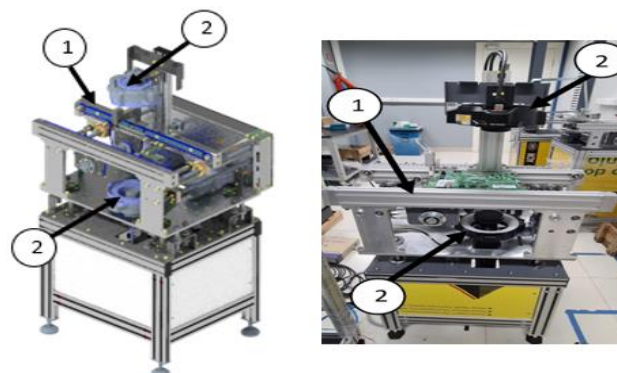


Fig. 2 Desenho: 3D e desenvolvimento do módulo de Lift (1) e Sistemas de Visão (2).

Após o desenvolvimento do lift e sistema de visão, foi desenvolvido mecanismo da mesa rotativa, descrito na seção 3.2.

3.2 Mesa rotativa

A mesa rotativa foi desenvolvida para atender à necessidade de girar as PCBAs Main (vem da esteira e precisa ser rotacionada) na posição adequada de pegada pela garra do robô. A mesa rotativa foi projetada para girar as PCBAs Main em um ângulo de 90 graus para a garra pegá-la e levar para a quebra do dummy.

A Fig. 3 apresenta as dimensões necessárias para a usinagem da mesa rotativa. Em uma análise mais detalhada, é possível observar que a mesa possui uma área de 280 x 171,40 mm, o que permite que ela acomode e gire diferentes modelos de PCBAs Main de maneira eficiente. Essas dimensões foram cuidadosamente calculadas para garantir que a mesa rotativa possa movimentar as PCBAs Main com segurança durante o

processo de giro e para garantir que ela possa ser integrada de maneira adequada na linha de produção.

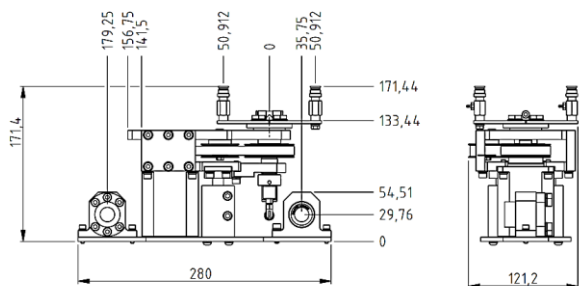


Fig. 3 Dimensionamentos: Mesa rotativa.

Feitos os dimensionamentos da mesa rotativa, partiu-se para o desenho 3D e o desenvolvimento como mostra a Fig. 4.

A mesa rotativa foi construída principalmente com peças em alumínio e utiliza um atuador pneumático para a elevação e servo motores para o controle do giro. A placa é fixada com vácuo por meio de ventosas (1) e a posição das ventosas pode ser ajustada (2) para diferentes modelos de placas.

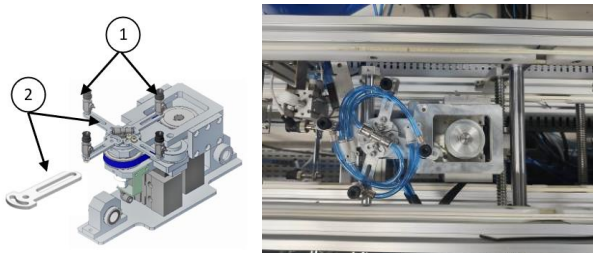


Fig. 4: Representação: desenho 3D e a peça usinada da mesa rotativa.

O processo seguinte foi desenvolver as garras dos robôs que são responsáveis por realizar a manipulação da PCBA Main por todo o protótipo.

3.3 Garras dos robôs

Antes de abordar as garras dos robôs, é importante destacar o critério de escolha do robô que é responsável pela movimentação dessas garras. A empresa trabalha com a marca de robô Yaskawa, e, primeiramente foi realizado simulações com o robô GP7 (More at al. 2017; Vigneshwaran et al. 2021). Entretanto, durante o teste, foi observado que as juntas do robô ficaram próximas ao seu limite mecânico ao tentar colocar a PCBA Main no módulo de teste mais distante da base do robô, o que configurou um risco para a movimentação. Além disso, o peso total das garras era muito próximo do payload (carga útil) máximo do robô GP7 de 7 kg. Diante dessa situação, uma nova simulação foi realizada com o robô GP12 que apresentou boa performance em todos os pontos de interesse.

Com base na escolha do robô para o protótipo, foram desenvolvidas duas garras de ventosa, levando em consideração diversos aspectos relacionados ao protótipo onde foram realizados estudos para definir as dimensões e

características ideais das ventosas, bem como a posição e a quantidade necessárias para garantir uma fixação segura das PCBAs Main durante o processo de produção.

A Fig. 5 apresenta o desenho 3D e o protótipo das garras de ventosa, que foi construída de material resistente, ou seja alumínio com tratamento eletroquímico por meio do processo de anodização capaz de suportar as condições do ambiente de produção. O desenvolvimento das garras de ventosa representou um avanço significativo no projeto do protótipo, contribuindo para a melhoria da qualidade e da produtividade da linha de produção.

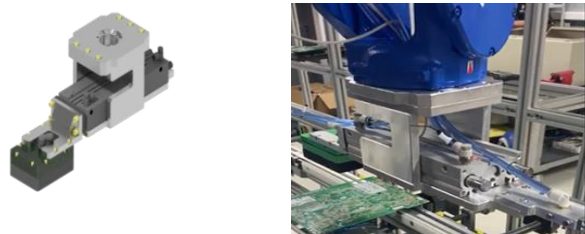


Fig. 5 Desenho da Garra: 3D e desenvolvimento do módulo das garras.

Esses módulos foram integrados por meio de *software* e *hardware*, que permitiram a programação e o controle do robô para realizar tarefas específicas de forma automatizada, como segue.

3.4 Integração dos Módulos

Os módulos do projeto DFT foram programados utilizando uma estrutura de modulação, onde cada módulo tem a sua lógica e funcionamento de forma independente. A integração entre os módulos acontece utilizando-se de bits virtuais que operam informando e recebendo informações: Produto Disponível na Máquina Anterior, Solicitar Produto da Máquina Anterior, Resultado de Teste na Máquina Anterior (caso seja necessário), Produto Disponível no Módulo, Resultado de Teste no Módulo (caso seja necessário), Máquina Posterior Solicitando Produto.

Como exemplo dessa integração dos módulos temos a Fig.6 onde o Produto Disponível na Máquina Anterior (1), Solicitar Produto da Máquina Anterior (2), Resultado de Teste na Máquina Anterior (caso seja necessário) (1), Produto Disponível no Módulo (2), Resultado de Teste no Módulo (é verificado se deu NG ou OK em (2)), Máquina Posterior Solicitando Produto.

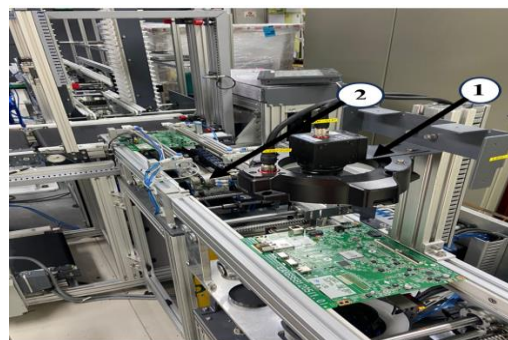


Fig. 6 Integração: módulos sistemas de visão (1), lift (2).

Após os desenvolvimentos dos demais módulos deu-se início a integração para validar o protótipo na sua totalidade a Fig. 7 mostra a integração física dos braços robóticos e das garras de ventosas. O processo de integração ocorreu da mesma forma descrita no início dessa seção.



Fig. 7: Braço robótico: GP12 Yaskawa e Garras.

Após integrações físicas e lógicas deu-se início aos testes para validação.

4. VALIDAÇÃO

Para validar a solução propostas foram gerados os cenários de testes gerais para validar a segurança e qualidade do protótipo, os quais permitiram gerar os Testes *lift* e sistema de visão, Testes da Mesa Rotativa e Testes das garras, os quais são apresentados nas seções 4.1, 4.2 e 4.3.

4.1 Testes *lift* e sistema de visão

Primeiramente foram ajustados os parâmetros no software CV-X Series Terminal Software como (posição, limite inferior e superior de julgamento (OK, NG)) para reconhecimento dos componentes e curto de soldas que deveriam ser inspecionados, conforme Fig. 8, respectivamente.

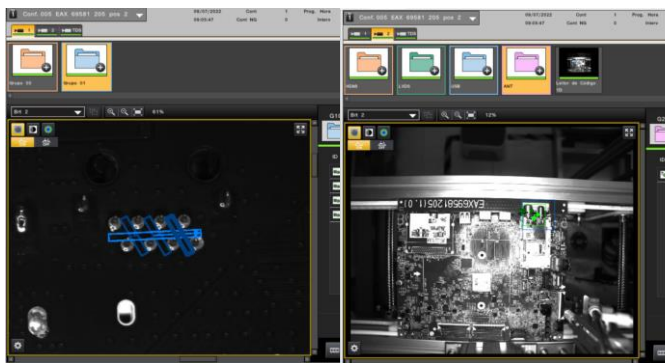


Fig. 8 Software CV-X: Ajuste dos parâmetros de testes.

Em seguida, iniciam-se os testes com dez amostras das PCBAs *Main* onde foram verificados os componentes: USB, HDMI1, HDMI2, LVDS1, LVDS2, Antena e Ethernet, que fazem parte da inspeção superior representada na Fig. 9 na seguinte ordem (1- LVDS1, 2 - LVDS2, 3 - Antena, 4 - HDMI1, 5 - HDMI2, 6 - USB, 7 - Ethernet), e quatro áreas de soldas que fazem parte da inspeção inferior representada na Fig. 10.

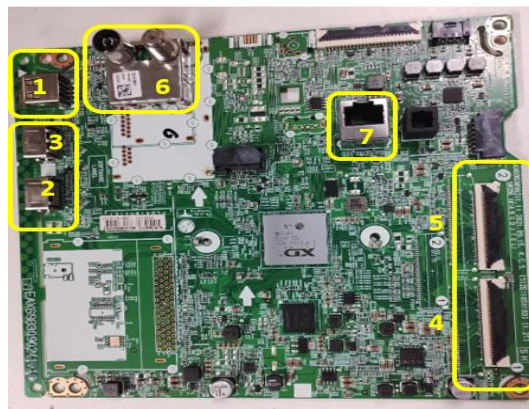


Fig. 9 PCBA : Com os 7 componentes.

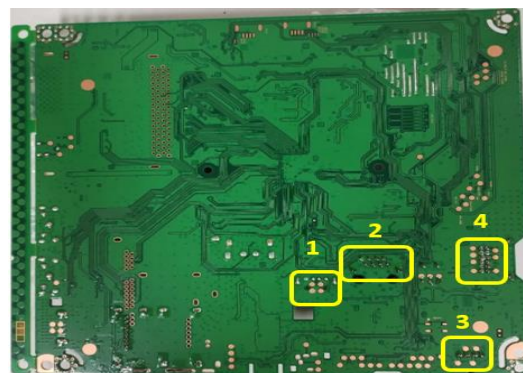


Fig. 10 Visão Inferior da PCBA: Solda em 4 áreas específicas da PCBA.

Durante os testes efetuados, de acordo com as informações apresentadas no Quadro 1, referente à parte superior, foram utilizadas placas OK (em conformidade) e NG (com defeito) a fim de validar a inspeção. Observou-se que os parâmetros fornecidos se mostraram adequados, uma vez que não resultaram em erros na leitura das placas pelo sistema de visão e no reconhecimento pelo software, refletindo os resultados obtidos.

Para a condução desses testes, os defeitos das placas foram visualmente verificados e documentados nas colunas que representam os resultados esperados. Em seguida, as placas foram submetidas ao *lift* e ao sistema de visão para validar os resultados, os quais estão refletidos nas colunas indicativas dos resultados alcançados.

No Quadro 2, também foi realizada uma verificação visual dos pontos de solda com e sem curto-circuito, conforme indicado nas colunas de resultados esperados. Observou-se que, nas colunas de resultados alcançados, cinco PCBAs *Main* não atenderam à detecção ou não detecção de falhas de forma precisa apresentando falhas onde não tem ou não detectando falhas. Nesse ponto, procedeu-se à reconfiguração dos limites e à adaptação da abertura da esteira (os ajustes foram feitos no CLP pois cada modelo tem um parâmetro específico para posição do servo motor).

As observações no Quadro 2 mostram onde ocorreu a falha e em que região e são ilustrados na Fig. 10.

Quadro 1: Teste de lift e Sistema de visão da parte superior das PCBAs Main

Placa	Serial Number (SN)	Resultados Esperados (Inspeção Superior)							Resultados Alcançados (Inspeção Superior)						
		USB	HDMI1	HDMI2	LVDS1	LVDS2	ANTENA	ETHERNET	USB	HDMI1	HDMI2	LVDS1	LVDS2	ANTENA	ETHERNET
1	A	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
2	B	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3	C	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4	D	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5	E	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
6	F	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
7	G	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
8	H	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG
9	I	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG
10	j	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG

Quadro 2: Teste de lift e Sistema de visão da parte inferior das PCBAs Main

Placa	Serial Number (SN)	Resultados Esperados (Inspeção Inferior)				Resultados Alcançados (Inspeção Inferior)				Observação
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	A	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
2	B	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
3	C	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	Não deveria ter acusado falha (Falha na área 4)
4	D	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	Não deveria ter acusado falha (Falha na área 4)
5	E	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG	Não deveria ter acusado falha (Falha nas áreas 3 e 4)
6	F	NG	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Não identificou a falha
7	G	NG	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	Identificou a falha na área 4, deveria ter encontrado na área 1
8	H	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

Após a realização desses ajustes, os testes foram repetidos e todos obtiveram resultados satisfatórios (não ocorreu, mas as falhas relatadas no Quadro 2), após a finalização desses passou-se para a realização dos testes na mesa rotativa.

4.2 Mesa Rotativa

Após a fabricação e a conclusão da integração física e lógica (usando um Controlador Lógico Programável - CLP) da mesa rotativa, os testes foram iniciados. O Quadro 3 exibe cinco amostras de PCBAs Main que foram submetidas à mesa rotativa para avaliação. Para chegar à mesa rotativa, o processo seguiu o fluxo descrito na coluna de resultados esperados: as PCBAs Main entraram na esteira principal, passaram pelo Buffer Linha (1) e foram posicionadas na mesa rotativa (2). As colunas de resultados alcançados demonstram que as PCBAs Main seguiram o fluxo previsto sem ocorrência de erros.

Quadro 3: Testes na Mesa Rotativa

Placas	Serial Number (SN)	Resultados Esperados		Resultados Alcançados	
		Buffer Linha (1)	Mesa Rotativa (2)	Buffer Linha (1)	Mesa Rotativa (2)
1	A	OK	OK	OK	OK
2	B	OK	OK	OK	OK
3	C	OK	OK	OK	OK
4	D	OK	OK	OK	OK
5	E	OK	OK	OK	OK

O próximo teste realizado foi a fixação e pegada das PCBAs Main pelas garras.

4.3 Testes das garras

No decorrer da integração foram realizados vários testes com as garras realizando a pegada nas PCBAs e foram observados os seguintes critérios.

A fixação e sucção para realizar o *pick and place* atendeu os requisitos necessários como:

- A capacidade das garras em manter firmemente a PCBAs Main durante o movimento de *pick and place*.
- A precisão das garras posicionarem as PCBAs Main no local desejado, garantindo alinhamento adequado.
- A segurança em garantir que a PCBAs Main seja seguro e não sofra danos durante o processo de fixação e sucção.
- A capacidade das garras de repetir o processo de fixação e sucção com consistência em diferentes ciclos.

A Fig. 11 mostra o teste das garras realizando o *pick and place*, fixação, sucção e movimentação das PCBAs Main.



Fig. 11 Teste: Pegada das Garras.

Após os testes individuais foi possível validar os módulos ao realizar a integração de forma satisfatória para realizar as atividades de maneira integrada.

CONCLUSÃO

O objetivo do projeto foi alcançado, pois a solução proposta foi desenvolver um protótipo funcional para realizar a inspeção visual de componentes e curtos de solda, coletando e apresentando os resultados dos testes, onde a integração de vários módulos permitiu realizar a movimentação das PCBAs *Main* para locais predeterminados, para realizar tarefas específicas executadas antes pelos operadores como: verificação de componentes, verificação de curto de solda, quebra no *dummy*, pega da PCBA *Main* e outros, todos de forma a garantir a padronização na entrega das placas e com qualidade na realização das tarefas.

Um dos desafios do projeto foi o sincronismo das tarefas a serem realizadas para movimentação das PCBAs *Main*, e o momento em que cada robô deve aguardar, após a retirada da PCBA *Main* do módulo que realiza testes e direcionar para a esteira de saída ou *buffer* NG saída. A mesa rotativa trouxe mais flexibilidade para a pegada da placa pela garra com mais precisão, rotacionando a PCBA *Main* para a direção adequada.

Após a confecção do protótipo estabeleceu-se uma programação (*Ramp Up*) para a inserção na linha de produção da empresa.

Com a concretização desse projeto, espera-se que o processo produtivo que envolve as placas de televisores, apresentem maior confiabilidade, além de disponibilizar em tempo real, os resultados dos testes realizados para tomadas de decisão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Desembargador Paulo Feitoza (FPFtech), por proporcionar um ambiente propício a pesquisa e desenvolvimento do projeto. Assim como a empresa do polo Industrial de Manaus por proporcionar os recursos necessários para o desenvolvimento desse projeto e a aplicabilidade do projeto no ambiente da indústria.

REFERÊNCIAS

- Anzolin, G. (2021). *The effects of automation in the apparel and automotive sectors and their gender dimensions*. Background Paper Series of the Joint EU-ILO Project. Editore: International Labour Organization, Background Paper n. 2.
- Camargo, J. W. (2013). *Atualização tecnológica de um robô cartesiano para encaixotamento automático*. Monografia (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, p. 72. 2013.
- Caroli, P. (2018). *Lean Inception: How to Align People and Build the Right Product*. 1 ed. Porto Alegre: Caroli, 2018.
- Gotlih, J., Brezocnik, M. and Karner, T. (2021). *Stiffness-Based Cell Setup Optimization for Robotic Deburring with a Rotary Table*. Applied Sciences. 11. 8213. doi: 10.3390/app11178213.
- Imtiaz, M. B., Qiao, Y. and Lee, B. (2022). Implementing Robotic Pick and Place with Non-visual Sensing Using Reinforcement Learning. 6th International Conference on Robotics, Control and Automation (ICRCA), pp. 23-28, doi: 10.1109/ICRCA55033.2022.9828993
- International Federation of Robotics (2017). *The Impact of Robots on Productivity*. Employment and Jobs: A Positioning Paper by the International Federation of Robotics. Viewed 14 January 2023, https://ifr.org/img/office/IFR_The_Impact_of_Robots_on_Employment.pdf
- Kamarul Bahrin, M. A., Othman, M. F., Nor Azli, N. H. and Talib, M. F. (2016). *Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic*, Jurnal Teknologi, 78 (6-13). doi: 10.11113/jt.v78.9285.
- Michael J. R. Ph.D. (2022). *Designing with Creo Parametric 9.0. Beginner - Intermediate*. 542 Pages. ISBN: 978-1-63057-533-5.
- Milano, D. de and Barrozo, L.(2022) . *Visão computacional*. Honorato UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas FT – Faculdade de Tecnologia. <https://www.academia.edu/9621896/VIS%C3%83O_COMPUTACIONAL_Palavras_Chaves>
- More A., Murkute V., Kulkarni S., Handu A. (2017). Pick and Place Robotic Claw for Engineering Applications. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume: 04 Issue: 06. e-ISSN: 2395 -0056. p-ISSN: 2395-0072. Disponível em:<https://www.irjet.net/archives/V4/i6/IRJET-V4I650.pdf>
- Ohno, T. *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- Rachkov, M. and Bebenin, V. (2018). *Automatic Two-Stage Vacuum Gripper System*. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), pp. 1-4, doi: 10.1109/ICIEAM.2018.8728733.
- Rider, M. J., (2018). *Designing with Creo Parametric 4. 0*. Taylor & Francis Group. Published September 13, 2022. Beginner - Intermediate. 542 Pages. ISBN: 978-1-63057-533-5.

- Serrão, C. (2016). *Codificação, Bill of Materials e Monitorização da Produção na Indústria da Automação*. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 25-37.
- Shih, Randy H. (2013). *Parametric Modeling with Creo Parametric 2.0*. SDC Publications; 1st edition. ISBN: 978-58503-818-3
- Vigneshwaran, K., Jothi Sivam, V.R., Ganesh, M.A. (2021). *Automated Cooperative Robot for Screwing Application*. In: Sharma, H., Saraswat, M., Yadav, A., Kim, J.H., Bansal, J.C. (eds) Congress on Intelligent Systems. CIS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1335. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6984-9_44
- Yaskawa Europe. *Série GP GP12*, (2023). https://www.yaskawa.eu.com/products/robots/handling-mounting/productdetail/product/gp12_693
- Zeng, A., Song, S., Yu, K.-T., Donlon, E., Hogan, F. R., Bauza, M., Rodriguez, A. (2018). Robotic Pick-and-Place of Novel Objects in Clutter with Multi-Affordance Grasping and Cross-Domain Image Matching. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. doi: 10.1109/icra.2018.8461044