

VISÃO COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO APLICADA EM MEDIÇÃO DIMENSIONAL NA INDÚSTRIA DE MANUFATURA ELETRÔNICA

Peterson Patrick Sales Oliveira ⁽¹⁾ (2019001964@ifam.edu.br), Roberto Canedo Rosa ⁽¹⁾
(roberto.rosa@ifam.edu.br)

⁽¹⁾ Instituto Federal do Amazonas (IFAM); Departamento de Processos Industriais

RESUMO: *A visão computacional é uma ferramenta crucial na automação industrial, especialmente na medição dimensional de componentes eletrônicos. O estudo apresentado explora o uso dessa tecnologia para desenvolver um sistema automatizado, eficiente e de baixo custo, utilizando câmeras comuns e software em Python, eliminando a necessidade de sensores físicos tradicionais. A inovação reside na utilização de recursos acessíveis, permitindo a implementação de soluções avançadas de medição sem altos custos. O objetivo é aumentar a exatidão e a eficiência das medições na indústria eletrônica. A metodologia inclui a captura contínua de imagens, pré-processamento por conversão para escala de cinza e limiar adaptativo, identificação de contornos e calibração da câmera para converter pixels em milímetros. Os resultados demonstram que o sistema proposto mede com precisão as dimensões dos objetos sob diferentes condições, atendendo aos padrões de qualidade da indústria. Esta abordagem oferece uma solução automatizada que eleva a eficiência operacional e a confiabilidade das medições dimensionais, contribuindo para a excelência industrial e competitividade no mercado. A adoção de sistemas de visão computacional na medição dimensional pode transformar processos industriais, tornando-os mais precisos, rápidos e economicamente viáveis.*

PALAVRAS-CHAVE: VISÃO COMPUTACIONAL, METROLOGIA DIMENSIONAL, AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, PROCESSAMENTO DE IMAGEM

LOW-COST COMPUTER VISION APPLIED TO DIMENSIONAL MEASUREMENT IN THE ELECTRONICS MANUFACTURING INDUSTRY

ABSTRACT: *Computer vision is a crucial tool in industrial automation, especially in the dimensional measurement of electronic components. This study explores the use of this technology to develop an automated, efficient, and low-cost system, utilizing common cameras and Python software, eliminating the need for traditional physical sensors. The innovation lies in the use of accessible resources, allowing the implementation of advanced measurement solutions without high costs. The objective is to increase the accuracy and efficiency of measurements in the electronics industry. The methodology includes continuous image capture, preprocessing by conversion to grayscale and adaptive thresholding, contour identification, and camera calibration to convert pixels to millimeters. The results demonstrate that the proposed system accurately measures object dimensions under different conditions, meeting industry quality standards. This approach offers an automated solution that enhances operational efficiency and reliability of dimensional measurements, contributing to industrial excellence and market competitiveness. The adoption of computer vision systems can transform industrial processes, making them more precise, faster, and economically viable.*

KEYWORDS: COMPUTER VISION, DIMENSIONAL METROLOGY, INDUSTRIAL AUTOMATION, IMAGE PROCESSING

1. INTRODUÇÃO

A visão computacional desempenha um papel fundamental na indústria moderna ao processar imagens para detectar e medir variáveis essenciais. Utilizada principalmente em sistemas de monitoramento e medição física, essa tecnologia emprega sensores visuais, como câmeras, para capturar e processar imagens, extrair informações cruciais como falhas em produtos e contagem de elementos na linha de produção (Feliciano *et al.* 2005). A sua aplicação tem transformado processos industriais ao oferecer soluções avançadas para automação, controle de qualidade e eficiência operacional. Ao possibilitar inspeções automatizadas, medições precisas e orientação de robôs, a visão computacional contribui significativamente para melhorar a produtividade, reduzir custos e assegurar a qualidade dos produtos fabricados.

Uma área em rápida expansão para o uso dessa tecnologia é a medição de dimensões de objetos em ambientes industriais, onde a conformidade com especificações técnicas e regulatórias é crucial para garantir a funcionalidade e segurança dos produtos finais, além de evitar retrabalhos e desperdícios. Métodos tradicionais de medição por contato, como paquímetros e micrômetros, apresentam limitações como erros humanos, desgaste das peças e inadequação para medições em superfícies delicadas ou complexas (Holak *et al.* 2011). Por outro lado, a medição sem contato via visão computacional oferece vantagens como maior precisão, velocidade, segurança e versatilidade (Alegria e Serra, 2000).

A exploração do potencial da visão computacional na indústria eletrônica visa oferecer uma solução eficiente para medições dimensionais automatizadas. Esta necessidade é crucial para atender às exigências do mercado moderno, que demanda altos padrões de qualidade em processos produtivos. A qualidade é um fator essencial para o sucesso das empresas industriais, pois contribui para a satisfação do cliente e a melhoria da competitividade (Pereira de lima *et al.*, 2023).

Apesar das suas vantagens, a aplicação da visão computacional em medições de objetos enfrenta alguns desafios. Como destacado por Santos *et al.* (2020), variações na iluminação que afetam a qualidade das imagens e reflexos em superfícies reflexivas interferem na precisão das medições. Para garantir exatidão, são essenciais algoritmos precisos e ajustados no processamento das imagens. A complexidade de formas e texturas dos objetos pode dificultar a extração de informações relevantes, tornando crucial a calibração da câmera e a correção de distorções. Superar esses desafios demanda o uso de soluções avançadas em hardware, software e técnicas de processamento de imagem para garantir confiabilidade.

O trabalho apresentado visa explorar o desenvolvimento de um sistema utilizando visão computacional para automatizar a medição de dimensões de objetos em linhas de produção e ambientes de controle de qualidade. O sistema proposto utiliza câmeras de baixo custo e software em Python, uma linguagem amplamente empregada em desenvolvimento web, automação e análise de dados, e especialmente destacada na visão computacional. A linguagem dispõe de várias

bibliotecas, facilitando a implementação de sistemas complexos de processamento de imagens e aprendizado de máquina (Sen et al. 2020).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos comumente usados nesse projeto envolvem técnicas de visão computacional. Assim, a proposta consiste em desenvolver um sistema de medição de baixo custo, capaz de determinar as dimensões de objetos a partir de imagens capturadas por câmeras plug-and-play de alta resolução. A escolha dessas câmeras é justificada pela ampla disponibilidade, custo acessível e capacidade de produzir imagens de alta qualidade para análise. O termo ‘plug-and-play’ refere-se a dispositivos que podem ser conectados e usados imediatamente, sem a necessidade de configuração adicional, facilitando sua integração em diversos sistemas (Irgang, 2023). A alta resolução das câmeras aumenta a precisão das medições, o que é vital para a sua confiabilidade.

A simplicidade e a flexibilidade do sistema proposto são refletidas na escolha da linguagem Python como linguagem de programação do projeto. Python é muito popular na comunidade científica devido à sua sintaxe simples e fácil manejo (wptraiz.com.br). A linguagem inclui uma quantidade significativa de bibliotecas especializadas – por exemplo, OpenCV e NumPy – o que torna o processamento de imagens e cálculos matemáticos muito simples. Essas bibliotecas são bem documentadas e desenvolvidas, o que assegura a manutenção a longo prazo do sistema.

Outro pilar para este projeto é a acessibilidade. O uso de ferramentas de código aberto ajuda a tornar a tecnologia mais acessível para uma audiência mais ampla, desde pesquisadores em instituições com dificuldades financeiras até entusiastas ou mesmo na educação à distância.

2.1 Tecnologias e Ferramentas

Para o sistema proposto, são utilizadas duas câmeras USB de alta resolução (Tabela 1) para captura de imagem e um notebook para processamento das medições (Tabela 2).

TABELA 1. Descrição das Câmeras Utilizadas.

Modelo	Descrição
Webcam Brio Ultra HD Pro	- Resolução: 4K/30 fps, 1080p/30 ou 60 fps, 720p/30, 60 ou 90 fps
	- Foco: Automático com lente de vidro
	- Campo de Visão: Ajustável entre 90°, 78° e 65°
Webcam Logitech C922 Pro	- Resolução: 1080p/30 fps, 720p/60 fps
	- Foco: Autofoco HD com correção de luz

Fonte: Autor (2024).

TABELA 2. Especificações do Notebook Utilizado.

Modelo	Descrição
Notebook HP EliteBook 840 G8	- Processador: Intel Core i5-1145G7 de 11ª geração, 2.60GHz - Memória: 16 GB de RAM - Portas USB: USB 2.0

Fonte: Autor (2024).

A seleção do hardware foi determinada pela disponibilidade de recursos, utilizando-se do sistema de computador já existente e disponível. Este enfoque assegura que o sistema de medição possa ser implementado sem a necessidade de aquisição de novos equipamentos, destacando a viabilidade e adaptabilidade em ambientes com recursos limitados. A capacidade de operar com hardware já disponível não apenas simplifica a replicação do sistema, mas também reforça o compromisso do projeto com soluções acessíveis e sustentáveis.

O sistema de medição de objetos desenvolvido utiliza uma combinação de hardware e software para capturar e analisar as dimensões de objetos em tempo real. Abaixo estão as principais características e ferramentas utilizadas no desenvolvimento:

2.1.1 Bibliotecas e Módulos

- OpenCV (versão 4.5.2): Essencial para manipulação e análise de imagens em tempo real. Utilizado para detecção de objetos com base em contornos.
- NumPy (versão 1.20.3): Usado para operações matemáticas e manipulação eficiente de arrays multidimensionais, garantindo precisão nas medições de dimensões dos objetos.
- threading: Módulo para execução paralela, permitindo sincronização eficiente entre captura de imagem e processamento.
- datetime: Biblioteca para obtenção e formatação da data e hora atuais, utilizada para registrar o momento exato das medições realizadas.
- signal: Módulo utilizado para gerenciar sinais de interrupção do sistema, garantindo encerramento seguro dos scripts.

2.1.2 Sistema Operacional

- Windows 10 Enterprise: Uma edição do sistema operacional Windows 10 da Microsoft voltada para grandes organizações e empresas que necessitam de recursos avançados de segurança, gerenciamento e produtividade, oferecendo estabilidade e compatibilidade necessárias para operação do software.

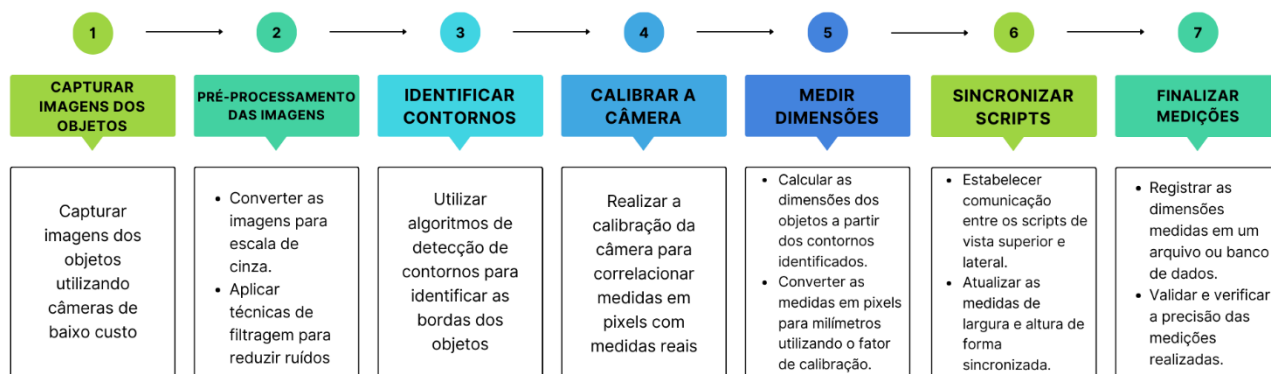
2.1.3 Softwares

- Python (versão 3.9): Linguagem de programação escolhida devido à sua simplicidade, flexibilidade e vasta comunidade de suporte, ideal para aplicações científicas e de engenharia.
- PyCharm (versão 2022.1.4): Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) utilizado para desenvolver e depurar o código Python, oferecendo recursos avançados para facilitar o desenvolvimento e gerenciamento de projetos.

2.2 Metodologia aplicada

A Figura 1 ilustra o fluxo de etapas do sistema proposto para medição dimensional automatizada, detalhando desde a captura das imagens até a finalização das medições. Essas etapas são fundamentais para assegurar a confiabilidade do processo, integrando técnicas de visão computacional e processamento de imagens.

FIGURA 1: Metodologia de trabalho para a medição dimensional de objetos utilizando visão computacional.



Fonte: Autor (2024).

O pré-processamento das imagens começa com a captura contínua de frames pelas câmeras. Cada frame é imediatamente convertido para a escala de cinza usando a biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library). Essa conversão é fundamental, pois simplifica o processamento subsequente ao reduzir a complexidade da imagem, facilitando a identificação de contornos e características.

Em seguida, aplica-se um limiar adaptativo, uma técnica que ajusta o limiar de binarização da imagem conforme as condições de iluminação locais. Isso resulta em uma máscara binária onde os objetos são claramente separados do fundo. Esse passo é crucial para garantir que as características

dos objetos sejam destacadas de maneira consistente, independentemente das variações de iluminação no ambiente.

Utilizando algoritmos de detecção de bordas da OpenCV, os contornos dos objetos em uma imagem binarizada são identificados. Em seguida, cada contorno é analisado em termos de área para filtrar objetos irrelevantes com base em um valor mínimo predefinido. Apenas contornos com área superior a esse limiar são considerados objetos de interesse.

Para cada objeto de interesse identificado pelos seus contornos, o script determina as dimensões do retângulo delimitador mínimo. Esse retângulo é o menor retângulo que pode conter completamente o objeto. As dimensões deste retângulo, que são medidas em pixels, são então utilizadas para calcular suas dimensões em milímetros. Esse cálculo é feito através da aplicação de um fator de conversão obtido durante a calibração do sistema. A Equação 1 utilizada é:

$$\text{Dimensão em mm} = \frac{\text{Dimensão em pixels}}{\text{Densidade de pixels por mm}} \quad (1)$$

Esse processo de calcular as dimensões do retângulo delimitador mínimo permite que o script relacione as medidas obtidas na imagem com suas correspondentes medidas reais.

Após a determinação das dimensões em milímetros, o próximo passo é a calibração da câmera. Durante este processo, um objeto padrão com dimensões conhecidas é usado para estabelecer um fator de conversão entre pixels e milímetros. O objeto é posicionado no campo de visão da câmera, e várias imagens são capturadas em diferentes condições de iluminação e ângulos.

A precisão da calibração é confirmada quando as medidas em pixels se alinham de maneira consistente e precisa com as dimensões reais do objeto. Uma vez confirmada a precisão, o sistema está calibrado e pronto para realizar medições de outros objetos com base nas suas dimensões em pixels.

Calibrações periódicas foram realizadas para garantir que o sistema continuasse a operar com eficácia, ajustando-se a eventuais mudanças ambientais e mantendo a precisão das medições.

Após a calibração do sistema e a determinação das dimensões em milímetros, o próximo passo envolve a utilização de dois scripts interconectados: o script de Vista Superior e o script de Vista Lateral.

O script de Vista Superior inicia o processo realizando a captura inicial e análise das imagens dos objetos. Ele identifica as dimensões dos objetos através do menor retângulo que pode envolver cada um deles, utilizando as dimensões calculadas anteriormente. As medidas de largura obtidas são então enviadas para o script de Vista Lateral.

O script de Vista Lateral utiliza as informações de largura recebidas. Com base nessa medida fixa, calcula a altura dos objetos aplicando proporções conhecidas entre a largura e a altura, estabelecidas durante a calibração do sistema. Aplicou-se a Equação 2 para calcular a altura:

$$\text{Altura calculada} = \text{Altura medida} \times \frac{\text{Largura medida}}{\text{Largura fixa}} \quad (2)$$

Essa comunicação direta entre os scripts é essencial, pois permite que operem de forma independente, mas sincronizada. Isso garante que as medições de largura e altura sejam consistentes entre si, proporcionando uma análise completa dos objetos.

Finalmente, as medições são registradas, utilizando timestamps (marcações de tempo) para cada registro. A biblioteca datetime é empregada para apontar o momento exato das medições, garantindo que os dados coletados sejam precisos e possam ser rastreados ao longo do tempo. Para encerrar a coleta de dados de maneira segura, são implementadas estratégias para lidar com sinais de interrupção do sistema, como aqueles gerados por eventos imprevistos ou comandos de encerramento, garantindo que os scripts possam finalizar suas operações de forma controlada e sem perda de dados.

A avaliação da precisão do sistema foi realizada comparando as medições automatizadas com as dimensões reais conhecidas de objetos padrão. O processo envolveu a coleta de dados das medições do sistema desenvolvido e das medições de referência para cada ponto de dados. A partir desses dados, foi calculado o desvio padrão das medições para determinar a consistência do sistema. A diferença entre as medições automatizadas e as medições de referência foi analisada para avaliar a precisão geral do sistema.

3. RESULTADOS

Este projeto foi desenvolvido para aplicação no processo de controle de qualidade na produção de placas eletrônicas para máquinas de cartão. Os testes e análises realizados foram aplicados a variações dessas placas, garantindo que todas obedecessem aos critérios dimensionais fornecidos pelo cliente.

3.1 Captura e Pré-Processamento de Imagens

Durante a fase inicial do projeto, as câmeras USB de alta resolução Brio Ultra HD Pro e Logitech C922 Pro capturaram imagens em resoluções de até 4K e 1080p, respectivamente, garantindo qualidade para análises detalhadas de objetos.

O pré-processamento das imagens envolveu a conversão dos frames para escala de cinza e a aplicação do método de limiar adaptativo para binarização das imagens. Esta abordagem foi fundamental para separar os objetos de interesse do fundo variável, facilitando análises posteriores.

A Figura 2 mostra o resultado do pré-processamento de uma imagem, mostrando a transformação de um frame original para a versão binarizada após a aplicação do limiar adaptativo. Esta etapa foi fundamental para garantir a qualidade dos dados utilizados nas análises subsequentes, preparando as imagens para a identificação de contornos e medição das dimensões dos objetos.

FIGURA 2: Pré-processamento de Imagem.



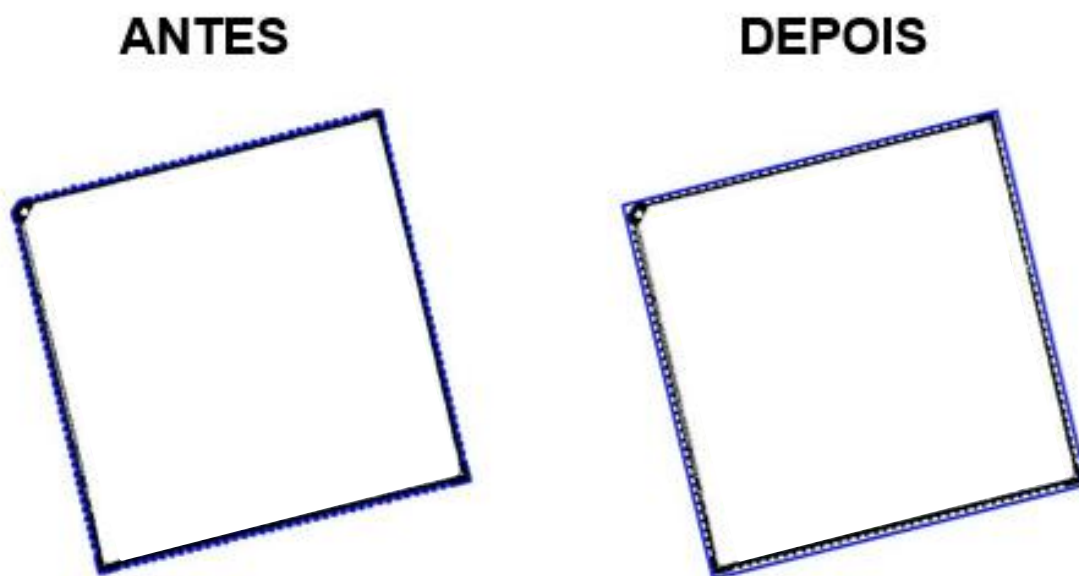
Fonte: Autor (2024).

3.2 Identificação de Contornos

Utilizando a biblioteca OpenCV, os contornos das placas foram detectados nas imagens binarizadas resultantes do pré-processamento. Cada contorno identificado foi analisado quanto à sua área, sendo filtrados aqueles que não atendiam ao critério mínimo predefinido, correspondente às dimensões especificadas pelo cliente.

A Figura 3 apresenta os contornos identificados na imagem pré-processada, destacando como a filtragem por área ajuda a selecionar apenas os componentes de interesse. Durante os testes, foi observado que o script apresentou menor variação na identificação dos contornos quando o fundo das imagens era branco. Este resultado foi obtido através de testes comparativos, onde diferentes cores de fundo foram utilizadas.

FIGURA 3: Identificação de contornos utilizando a biblioteca OpenCV.



Fonte: Autor (2024).

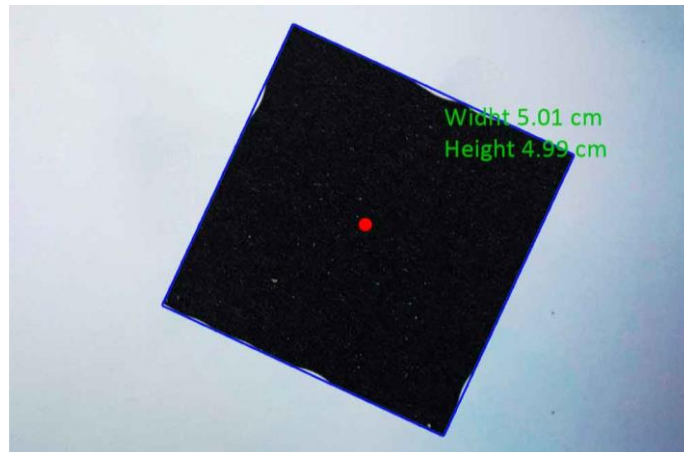
O fundo branco resultou em uma menor variação na correspondência dos contornos, evidenciando a importância de um ambiente uniforme e de alto contraste para a precisão do sistema de visão computacional. A escolha de um fundo branco para as imagens de teste resultou em uma detecção mais consistente e precisa, minimizando erros de identificação causados pelas variações de cor.

3.3 Calibração da câmera

Durante as sessões de calibração, um objeto padrão foi posicionado nos campos de visão das câmeras em diferentes condições de iluminação. Para garantir a precisão do processo, as câmeras foram fixadas em locais estáticos: a câmera superior foi posicionada a 90º em relação ao piso da cabine, enquanto a lateral permaneceu a 0º, rente ao piso, onde o objeto era posicionado.

Para realizar a calibração, foi utilizado um quadrado de referência de 5cm x 5cm desenvolvido especificamente para este fim (Figura 4). O valor da densidade de pixels foi ajustado no script até que o sistema identificasse corretamente as dimensões do quadrado como sendo 5cm x 5cm, quando convertidas de pixels para cm. Verificou-se que o fator de conversão obtido foi consistente e preciso, com variações mínimas observadas mesmo sob condições de iluminação variáveis. A precisão da calibração foi avaliada através da comparação das dimensões medidas em pixels com as dimensões reais conhecidas do objeto padrão.

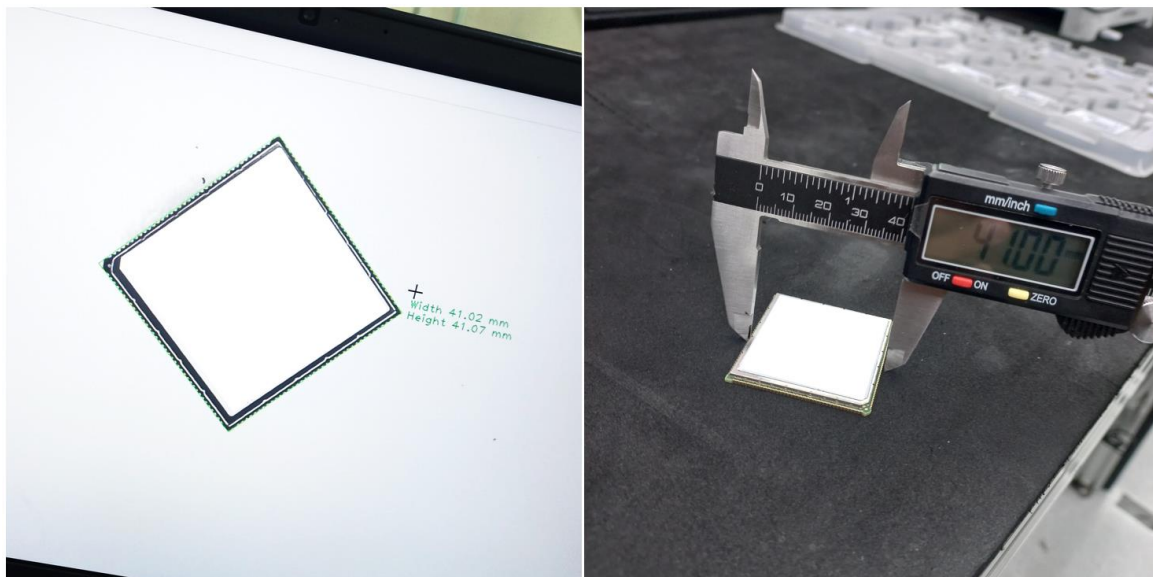
FIGURA 4: Calibração do Script com objeto de 5cm x 5cm.



Fonte: Autor (2024).

Foram realizadas várias medições para cada objeto, e o desvio padrão dessas medições foi calculado para avaliar a precisão do sistema. A diferença entre a dimensão real e a medida foi então calculada e registrada conforme Figura 5. Observou-se uma correspondência altamente precisa, com uma margem de erro inferior a 1/10 de mm. Além disso, utilizou-se um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm para as medições de referência, garantindo que as medidas de comparação fossem altamente confiáveis e adequadas para avaliação metrológica.

FIGURA 5: Avaliação da precisão da Calibração superior.



Fonte: Autor (2024).

Além da avaliação da calibração da câmera superior, ilustrada na Figura 5, também foi realizada uma análise similar para a câmera lateral, conforme Figura 6. Ambas as avaliações

demonstraram alta precisão na identificação das dimensões dos objetos, reforçando a consistência do sistema de visão computacional implementado.

FIGURA 6: Avaliação da precisão da Calibração lateral.



Fonte: Autor (2024).

Para melhor verificação, alguns outros objetos de diferentes formas e tamanhos foram testados (Tabela 3).

TABELA 3: Resultados de teste de medição com a Visão Computacional.

Objeto Testado	Dimensão Real (mm)	Dimensão Medida (mm)	Erro (mm)
Placa Eletrônica B	50 x 70	50.31 x 70.27	< 0.1
Conector C	20 x 20	19.94 x 20.10	< 0.1
Componente D	10 x 15	10.1 6x 15.01	< 0.1

Fonte: Autor (2024).

3.4 Integração e Automação na Linha de Produção

Com o sistema de visão computacional implementado, a medição das placas de máquinas de cartão passou a ser automatizada. Anteriormente, a validação das dimensões era realizada de forma manual, utilizando um JIG, o que não garantia a sistematicidade e a precisão necessárias para atender aos critérios fornecidos pelo cliente.

O novo sistema não só aumentou a precisão das medições, mas também reduziu significativamente o tempo necessário para a validação de cada módulo. Isso resultou em um aumento na eficiência da linha de produção, permitindo que a equipe se concentrasse em outras tarefas críticas, enquanto o sistema automatizado cuidava da inspeção dimensional.

4. CONCLUSÃO

Este estudo explorou o uso da visão computacional como uma ferramenta para medição automatizada na indústria eletrônica. A aplicação de técnicas de processamento de imagens, como a conversão para escala de cinza, limiar adaptativo, identificação de contornos e calibração de câmera, demonstrou ser eficaz na obtenção de medidas precisas e consistentes de objetos em ambientes industriais.

Ao longo do trabalho, foi evidenciado que a visão computacional oferece vantagens significativas sobre métodos tradicionais de medição por contato. Além de maior precisão e rapidez, permite lidar com objetos delicados ou complexos, melhorando substancialmente a eficiência operacional, reduzindo custos e assegurando a conformidade com padrões regulatórios. Especificamente, os resultados mostraram um erro estimado de menos de 0.1 mm nas medições, validando a alta precisão do sistema desenvolvido.

Além disso, o uso de tecnologias de código aberto, como Python e bibliotecas como OpenCV, proporcionou uma abordagem acessível e flexível para o desenvolvimento do sistema de medição. Essa abordagem não apenas facilita a replicação e implementação em diversos contextos industriais, como também promove a inovação contínua e a adaptação às novas tecnologias emergentes. Por exemplo, empresas de manufatura podem facilmente integrar esses sistemas em linhas de produção variadas, ajustando-os conforme necessário para diferentes produtos.

As descobertas deste estudo destacam a importância crescente da visão computacional na indústria eletrônica, não apenas como uma ferramenta de controle de qualidade e automação, mas também como um facilitador de melhorias contínuas nos processos industriais. As empresas que adotarem essas tecnologias estarão mais bem posicionadas para enfrentar os desafios futuros e aproveitar as oportunidades emergentes no mercado global.

Em suma, este trabalho não apenas contribui para o avanço da pesquisa em visão computacional aplicada à medição dimensional, mas também oferece um guia prático para a implementação bem-sucedida dessas tecnologias. A contínua evolução e aprimoramento desses sistemas são vitais para promover a excelência industrial e fortalecer a competitividade.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ALEGRIA, F. C.; SERRA, A. C. Automatic calibration of analog and digital measuring instruments using computer vision. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 49, n. 1, p. 94-99, 2000.

FELICIANO, F. F.; SOUZA, I. L.; LETA, F. R. Visão computacional aplicada à metrologia dimensional automatizada: considerações sobre sua exatidão. *Engevista*, v. 7, n. 2, p. 38-50, 2005.

HOLAK, K.; KOHUT, P.; MARTOWICZ, A.; UHL, T. An uncertainty analysis for developed measurement vision system aided by numerical simulations. *Mechanics and Control*, v. 30, n. 2, 2011.

IRGANG, A. L. Projeto de uma plataforma educacional de mira assistida baseada em visão computacional. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023.

PEREIRA DE LIMA, G.; LIMA DA SILVA, K. L.; CORDEIRO DE SOUZA, M. D. A importância da qualidade para a melhoria contínua na indústria. *Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal)*, v. 16, n. 12, p. 1, 2023.

SANTOS, T. T.; BARBEDO, J. G. A.; TERNES, S.; CAMARGO NETO, J.; KOENIGKAN, L. V.; SOUZA, K. X. S. Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas, Embrapa, Brasília, DF, Cap. 6, p. 146-161, 2020.

SEN, J.; SARKAR, B.; HENA, M. A.; RAHMAN, M. H. Face recognition using deep convolutional network and one-shot learning. *SSRG International Journal of Computer Science and Engineering SSRG-IJCSE*, v. 7, n. 4, p. 23-28, 2020.

WPraiz Brasil - José Ícaro. IA com Python: aplicações de visão computacional e reconhecimento de padrões. Disponível em: https://wpraiz.com.br/ia-com-python-aplicacoes-de-visao-computacional-e-reconhecimento-de-padroes/#google_vignette. Acesso em: 12 jul. 2024.