

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC Santo André
Tecnologia em Mecatrônica Industrial

EDUARDO DE PAULA OLIVEIRA
GEANDRO PAULO SOUZA

**POKA-YOKE: ANÁLISE DA EFICÁCIA DA PREVENÇÃO NO
ENVIO DE PEÇAS DEFEITUOSAS EM PROCESSOS NA
INDÚSTRIA METALÚRGICA**

Santo André
2026

**EDUARDO DE PAULA OLIVEIRA
GEANDRO PAULO SOUZA**

**POKA-YOKE: ANÁLISE DA EFICÁCIA DA PREVENÇÃO NO
ENVIO DE PEÇAS DEFEITUOSAS EM PROCESSOS NA
INDÚSTRIA METALÚRGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à
FATEC Santo André como requisito parcial
para obtenção do título de Tecnólogo em
Mecatrônica Industrial

Orientador: Prof. Me. Nicolino Foschini Neto

Santo André

2026

Souza, Geandro Paulo

Poka-Yoke: análise da eficácia da prevenção do envio de peças defeituosas em processos na indústria metalúrgica/ Geandro Paulo Souza, Eduardo de Paula Oliveira. – Santo André, 2026. – 44 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2026.

Orientador: Prof. Me. Nicolino Foschini Neto

1. Poka-Yoke. 2. Controle de qualidade zero. 3. Mecatrônica Industrial. 4. Sensores Indutivos. 5. Automação. I. Poka-Yoke: análise da eficácia da prevenção do envio de peças defeituosas em processos na indústria metalúrgica.

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 15 de junho de 2026.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: “POKA-
YOKE: ANÁLISE DA EFICÁCIA DA PREVENÇÃO NO ENVIO DE
PEÇAS DEFEITUOSAS EM PROCESSOS NA INDÚSTRIA
METALÚRGICA” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. NICOLINO FOSCHINI NETO _____

MEMBROS:

PROF. PAULO TETSUO HOASHI _____

PROF. PEDRO ADOLFO GALLANI _____

ALUNOS:

EDUARDO DE PAULA OLIVEIRA _____

GEANDRO PAULO SOUZA _____

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pela oportunidade e por nos capacitar, dando-nos forças para superar cada desafio encontrado nesta jornada.

Aos familiares, expressamos nossa profunda gratidão pela compreensão e apoio incondicional, especialmente nos momentos em que houve sobrecargas pelas exigências profissionais e acadêmicas. Este ciclo foi extremamente desafiador e o apoio de todos foi nosso alicerce.

Aos professores da FATEC Santo André, estendemos reconhecimento pelo suporte e pela dedicação ao longo do curso, sempre prontos a nos guiar com excelência pelo vasto mundo do conhecimento. Em especial, agradecemos ao Prof. Me. Nicolino Foschini Neto, pela paciência e orientação técnica, as quais foram fundamentais na construção deste trabalho. Também agradecemos ao Prof. Fernando Garup Dalbo, por ser uma fonte de inspiração e incentivo, fazendo-nos acreditar na nossa capacidade de alcançar grandes objetivos.

Por fim, agradecemos a todos os funcionários da instituição que, com maestria, mantêm um ambiente de estudos agradável, permitindo que pudéssemos focar integralmente em nosso aprendizado.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise sobre a aplicação do sistema *poka-yoke* como ferramenta estratégica para a garantia da qualidade na indústria metalúrgica. O objetivo central é investigar a eficácia de mecanismos de prevenção na contenção de peças defeituosas, fundamentando-se na filosofia de Controle de Qualidade Zero (ZQC). A fundamentação teórica explora a distinção entre erros humanos inadvertidos e defeitos, destacando a Inspeção na Fonte como pilar para a interrupção de ciclos de falhas. Na etapa prática, descreve-se o desenvolvimento de um dispositivo de controle automatizado composto por um Controlador Lógico Programável (CLP) e sensores indutivos, escolhidos por sua robustez em ambientes industriais severos e imunidade a contaminantes. O sistema utiliza métodos de detecção por contato e funções de regulamentação por controle, permitindo o travamento físico do processo e o intertravamento com a máquina de solda principal em caso de não conformidade. Os resultados reforçam que a combinação de inspeções 100% automatizadas e feedback imediato é essencial para atingir a meta de defeito zero e elevar a eficiência operacional.

Palavras-chave: Poka-Yoke. Controle de Qualidade Zero. Mecatrônica Industrial. Sensores Indutivos. Automação.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the poka-yoke system application as a strategic tool for quality assurance in the metallurgical industry. The main objective is to investigate the effectiveness of prevention mechanisms in containing defective parts, based on the Zero Quality Control (ZQC) philosophy. The theoretical framework explores the distinction between inadvertent human errors and defects, highlighting Source Inspection as a pillar for interrupting failure cycles. In the practical stage, the development of an automated control device composed of a Programmable Logic Controller (PLC) and inductive sensors is described, chosen for its robustness in harsh industrial environments and immunity to contaminants. The system utilizes contact detection methods and control regulatory functions, allowing for the physical lockout of the process and interlocking with the main welding machine in case of non-compliance. The results reinforce that the combination of 100% automated inspections and immediate feedback is essential to achieve the zero-defect goal and enhance operational efficiency.

Keywords: Poka-Yoke. Zero Quality Control. Industrial Mechatronics. Inductive Sensors. Automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo para gerenciamento de erros e defeitos.....	17
Figura 2 – Métodos de configuração do sistema <i>poka-yoke</i>	18
Figura 3 – Fluxograma do dispositivo <i>poka-yoke</i>	22
Figura 4 – Confecção da rampa.....	23
Figura 5 – Protótipo da rampa de posicionamento.....	24
Figura 6 – Rampa de posicionamento concluída.....	24
Figura 7 – Visualização superior da rampa de posicionamento.....	25
Figura 8 – Compartimento parcialmente aberto.....	25
Figura 9 – Trava elétrica.....	26
Figura 10 – CLP Delta DVP 14SS2.....	27
Figura 11 – Sensor indutivo BES00EF.....	28
Figura 12 – Sensor superior fixado na rampa de posicionamento.....	29
Figura 13 – Fonte chaveada PSK-LRS-50-24.....	29
Figura 14 – Demarcações dos furos na caixa de montagem.....	30
Figura 15 – Realização dos furos.....	31
Figura 16 – Componentes fixados na tampa.....	31
Figura 17 – Placa de montagem com componentes iniciais.....	32
Figura 18 – Painel elétrico finalizado.....	32
Figura 19 – Interior do painel elétrico.....	33
Figura 20 – Conexões dos LEDs e da chave seletora.....	33
Figura 21 – Parte frontal do painel elétrico.....	34
Figura 22 – Tela 1 da IHM.....	36
Figura 23 – Tela 2 da IHM.....	36
Figura 24 – Peça com a porca soldada.....	37
Figura 25 – Indicação de peça OK.....	38
Figura 26 – Indicação das entradas.....	38
Figura 27 – Indicação das saídas.....	39
Figura 28 – Peça sem a porca soldada.....	39
Figura 29 – Atualizações da IHM.....	40

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

CLP – Controlador Lógico Programável

IHM – Interface Homem-Máquina

LED – *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

NA – Normalmente Aberto

PNP – Positivo-Negativo-Positivo

SQC – *Statistical Quality Control* (Controle Estatístico de Qualidade)

ZQC – *Zero Quality Control* (Controle de Qualidade Zero)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo Geral.....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2 METODOLOGIA.....	12
2.1 Levantamento Bibliográfico (Polo Teórico).....	12
2.2 Desenvolvimento do Protótipo (Polo Técnico).....	12
2.3 Testes e Validação (Polo Morfológico).....	13
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
3.1 Definição e Filosofia Central.....	14
3.2 Origem Histórica e Evolução do Termo.....	14
3.3 Conceito ZQC (<i>Zero Quality Control</i>).....	15
3.3.1 A Busca pela Qualidade Zero e o Contraste com o SQC.....	15
3.3.2 Inspeção na Fonte como Pilar do ZQC.....	16
3.4 Métodos de Detecção (Funções de Configuração).....	18
3.4.1 Classificação das Funções de Configuração.....	18
3.4.2 Exemplos de Dispositivos e Técnicas de Detecção.....	19
3.5 Função Advertência e Função de Controle.....	20
3.5.1 Funções de Regulamentação e Primazia do Controle.....	20
3.5.2 O Poder e a Flexibilidade dos Métodos de Controle.....	20
4 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO.....	22
4.1 Concepção do Projeto.....	22
4.2 Geometria do Dispositivo.....	23
4.3 Especificação do Sistema de Detecção e Controle.....	26
4.4 Controlador Lógico Programável.....	27
4.5 Sensor Indutivo.....	28
4.6 Fonte de Alimentação.....	29
4.7 Painel Elétrico.....	30
4.8 Indicadores e Chave Seletora.....	34
4.9 Interface Homem-Máquina.....	35
5 RESULTADOS.....	37
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
7 PROPOSTAS FUTURAS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

A busca pela excelência na manufatura moderna exige métodos que transcendam a simples detecção de falhas e foquem na sua prevenção absoluta. O sistema *poka-yoke* (termo japonês que significa "à prova de erros") surge como um dos pilares mais eficazes para o alcance da qualidade superior, fundamentando-se na premissa de que o erro humano, embora previsível, não deve resultar em produtos defeituosos.

Além disso, esse sistema atua como uma barreira física e lógica essencial para garantir a qualidade total na linha de montagem. A motivação central para a implementação deste dispositivo é a prevenção de falhas humanas e operacionais, evitando que produtos incompletos avancem na cadeia produtiva, o que reduz custos com retrabalho e garante a satisfação do cliente final.

Seu funcionamento consiste em um sistema regido por uma sequência lógica de automação que não permite ambiguidades. O processo começa após uma detecção inicial de matéria prima, que no caso apresentado será uma chapa. Após isso, ocorre uma verificação de conformidade e liberação de uma trava mecânica caso a chapa contenha uma porca soldada.

Este mecanismo funciona como uma barreira de qualidade: a peça só é liberada para a próxima etapa da linha de produção se todos os requisitos forem atendidos.

A principal razão para utilizar este dispositivo é a procura de evitar quaisquer erros. Em linhas de produção de alta cadência, é comum que distrações resultem no esquecimento de pequenos componentes, como porcas por exemplo. O *poka-yoke* elimina essa variabilidade ao transformar a inspeção manual, que é falível, em uma inspeção 100% automatizada.

Ao impedir que uma peça defeituosa siga adiante, a empresa que utilizar o sistema evita um efeito cascata de desperdício, onde valor seria agregado a um produto que já está defeituoso. Em resumo, o dispositivo não apenas detecta o erro, mas o impossibilita, tornando o processo mais robusto, seguro e eficiente.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo que irá verificar a presença ou não de uma porca soldada em uma chapa, evitando a continuidade de uma peça fora de conformidade pela linha de produção. Com a execução desse processo a produção será beneficiada com um controle de qualidade na fabricação. Além disso, o uso desse dispositivo evitará que a fábrica e os clientes tenham transtornos relacionados a lotes com erros de montagem.

Outro ponto essencial relacionado ao objetivo do presente projeto é realização de uma pesquisa detalhada para compreender o sistema *poka-yoke*, sua história e seus fundamentos essenciais. Essas pesquisas irão permitir que o dispositivo consiga atender os requisitos necessários em relação a inspeção de erros, pausa na produção e fornecimento de *feedback* acerca do determinado defeito encontrado.

1.2 Objetivos Específicos

Elaborar um estudo sobre o sistema *poka-yoke*, focando na sua história, nos seus fundamentos e principais pontos de atenção para elaboração do projeto físico.

Criar um esquema elétrico com os dispositivos que serão conectados, determinando as ligações que deverão ser feitas e as cargas correspondentes que serão aplicadas.

Confeccionar um painel elétrico responsável pela alimentação das cargas que envolvem o dispositivo *poka-yoke*.

Garantir pleno funcionamento dos dois sensores indutivos, responsáveis pela detecção de erros na linha de produção.

Projetar uma rampa de posicionamento, por onde as peças produzidas serão movidas e passarão pelos dois sensores indutivos.

Desenvolver a programação que o controlador lógico programável irá executar relacionada ao funcionamento do sistema e as verificações necessárias.

A partir do uso de softwares, criar uma IHM (Interface Homem-Máquina) que fornecerá ao operador dados essenciais em relação ao funcionamento do dispositivo e do processo.

Realizar testes finais que validem toda a execução do sistema *poka-yoke* e certifiquem que todas as funções ocorram sem falhas.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como exploratória de abordagem qualitativa. De acordo com Souza (2025), a pesquisa qualitativa foca na essência do fenômeno, sendo predominantemente descritiva para captar o universo das interpretações em seu contexto.

Os procedimentos elaborados ao longo do projeto foram organizados em três fases principais, descritas logo abaixo.

2.1 Levantamento Bibliográfico (Polo Teórico)

Nesta etapa inicial, foi realizado um levantamento bibliográfico para a construção do polo teórico, visando compreender as principais abordagens e conceitos que circundam o *poka-yoke* e a filosofia de Controle de Qualidade Zero (ZQC).

A busca foi realizada em bases e ferramentas acadêmicas, como Google Acadêmico e SciELO. A fundamentação teórica foi desenvolvida com base na obra de Shigeo Shingo, com aprofundamento de seus conceitos centrais.

2.2 Desenvolvimento do Protótipo (Polo Técnico)

Esta fase compreendeu a operacionalização técnica e a descrição do processo de desenvolvimento do protótipo, apresentada de forma sequencial.

Foi descrita a concepção da rampa de posicionamento e a seleção dos componentes eletrônicos utilizados. O desenvolvimento do sistema foi realizado de forma sequencial, registrando-se as etapas de construção e integração dos componentes.

Foram estabelecidos critérios técnicos para avaliação do desempenho do dispositivo na prevenção de erros no fluxo produtivo.

2.3 Testes e Validação (Polo Morfológico)

A etapa final consistiu na análise do funcionamento do dispositivo e na avaliação dos resultados obtidos.

O funcionamento do protótipo foi avaliado por meio de observação direta, com registro sistemático do comportamento da rampa diante de uma peça com a porca soldada e uma sem a porca. Os resultados foram analisados em relação aos objetivos propostos, verificando se o dispositivo opera a eficácia como um sistema de controle de qualidade eficaz.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo explora a base filosófica dessa ferramenta, detalhando sua definição e o percurso histórico que a consolidou como um padrão global de eficiência operacional.

3.1 Definição e Filosofia Central

O *poka-yoke* é uma técnica fundamental que compõe a filosofia de Controle de Qualidade Zero (ZQC), sendo traduzido como "à prova de erros inadvertidos" (*mistake-proofing*) (SHINGO, 1986). Sua função principal é inspecionar a ocorrência de um defeito, interromper imediatamente o sistema de produção e fornecer feedback instantâneo. O objetivo final dessa interrupção e feedback é permitir que a causa raiz do problema seja identificada e corrigida, impedindo que o mesmo defeito ocorra novamente.

A essência do *poka-yoke* reside no reconhecimento da falibilidade humana. Shingo (1986) argumenta que, como os seres humanos não são perfeitos, é inevitável que eles se esqueçam de algo ocasionalmente e de forma inadvertida. O autor critica a abordagem comum nas fábricas de pedir aos trabalhadores para serem mais cuidadosos, pois isso equivale a exigir que possuam uma "infallibilidade divina". Tendo em vista que os erros humanos inadvertidos são impossíveis de eliminar, a solução deve ser incorporar mecanismos que sinalizem o erro antes que ele se concretize em um defeito (SHINGO, 1986).

3.2 Origem Histórica e Evolução do Termo

A ideia central do *poka-yoke* surgiu em 1961, inspirada por uma visita de Shingo à Yamada Electric, em Nagoya. Durante essa visita, o gerente da fábrica descreveu um problema crônico e irritante na montagem de um simples dispositivo de botão de pressão: ocasionalmente, os trabalhadores esqueciam-se de inserir uma pequena mola.

Ao observar a operação, Shigeo Shingo viu um trabalhador negligenciar a colocação da mola e concluiu que o esforço para evitar o esquecimento deveria ser incorporado ao processo. A solução sugerida foi a de utilizar um pequeno prato para

conter as duas molas necessárias antes da montagem; se, após a conclusão do trabalho, restasse alguma mola no prato, o trabalhador saberia imediatamente que a peça havia sido omitida, permitindo a correção do conjunto. Essa aplicação prática eliminou completamente o problema das molas ausentes. (SHINGO, 1986).

Originalmente, o conceito era denominado *babayoke*, que significava "à prova de tolos". Contudo, por volta de 1963, a pedido de um chefe de departamento após uma funcionária se sentir insultada pela conotação do termo, Shingo (1986) alterou o nome para *poka-yoke* (*mistake-proofing*). A nova terminologia enfatizava a prevenção dos *poka*—erros inadvertidos que qualquer pessoa pode cometer—reforçando que o objetivo era criar um dispositivo de controle que mitigasse falhas decorrentes da natureza humana.

3.3 Conceito ZQC (*Zero Quality Control*)

O Controle de Qualidade Zero (ZQC) representa uma mudança de paradigma ao substituir a aceitação estatística de defeitos pela meta da perfeição no processo produtivo. Diferente dos métodos tradicionais que reagem ao erro após sua ocorrência, o ZQC estabelece uma infraestrutura de controle em tempo real. A seguir, serão analisadas as diferenças fundamentais entre este sistema e o controle estatístico convencional, destacando a Inspeção na Fonte como a estratégia vital para interromper o ciclo de geração de desperdícios e falhas.

3.3.1 A Busca pela Qualidade Zero e o Contraste com o SQC

O Controle de Qualidade Zero (ZQC) é postulado como o sistema de produção ideal, tendo como objetivo central a não fabricação de nenhum defeito (SHINGO, 1986). Esta abordagem representa uma mudança revolucionária em relação aos sistemas de controle de qualidade mais antigos, como o Controle Estatístico de Qualidade (SQC), que Shingo (1986) descreve como sendo fundamentalmente baseado na crença de que algum nível de defeito era inerentemente inevitável e, portanto, aceitável.

A crença de que os defeitos eram inevitáveis era sustentada em parte pelo argumento de que a inspeção total, como 100% dos itens, seria muito trabalhosa e custosa. O SQC tentava contornar essa dificuldade utilizando a estatística indutiva,

realizando inspeções por amostragem e estabelecendo limites de controle, o que, embora racionalizasse o método de inspeção, não racionalizava a garantia de qualidade. Shingo (1986) chegou à conclusão de que o foco excessivo nas estatísticas — o feitiço de 26 anos — ocultou a função essencial da inspeção informativa e impediu o desenvolvimento de funções de controle de qualidade mais eficazes.

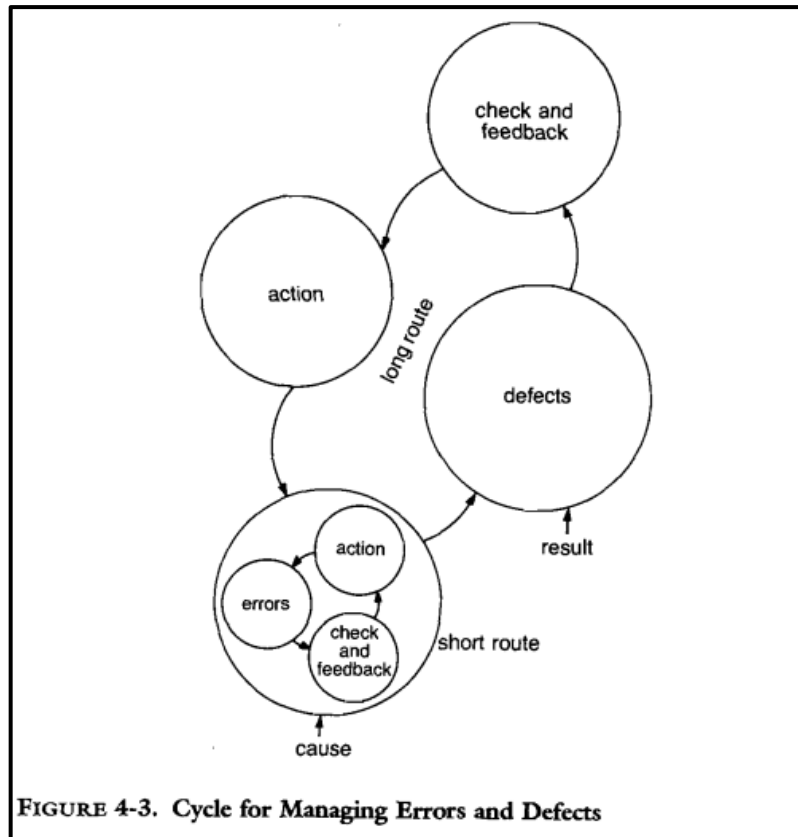
3.3.2 Inspeção na Fonte como Pilar do ZQC

Para alcançar o ZQC, duas condições são essenciais: a adoção de inspeções de 100% e a implementação de sistemas que permitam feedback e ação corretiva imediatos (SHINGO, 1986). O *poka-yoke* funciona como um recurso de prevenção de erros que permite as inspeções de 100% de forma simples e de baixo custo.

No entanto, a técnica para a eliminação total de defeitos é a Inspeção na Fonte (*Source Inspection*), uma ideia desenvolvida por Shingo (1986) por volta de 1967. O conceito se baseia na clara distinção entre erros, entendidos como causas, e defeitos, entendidos como resultados. Enquanto os erros inadvertidos cometidos por humanos são impossíveis de serem completamente eliminados, é absolutamente possível impedir que esses erros se transformem em defeitos.

Em vez de operar em ciclos de gestão longos — onde um erro leva a um defeito, que é então descoberto, seguido de feedback e ação corretiva —, a Inspeção na Fonte opera em ciclos curtos (SHINGO, 1986). O controle e o feedback são realizados no estágio do erro, antes que o resultado, isto é, o defeito, se materialize.

Figura 1 – Ciclo para gerenciamento de erros e defeitos.



Fonte: Shigeo Shingo (1986, p. 53).

A Inspeção na Fonte pode ser categorizada de duas formas:

1. Inspeções Verticais: Visam controlar processos a montante (*upstream*) que são a fonte das causas dos defeitos. Por exemplo, investigar o tempo insuficiente de "nutrição" de argila que levava ao empenamento de telhas cerâmicas em um processo posterior.
2. Inspeções Horizontais: Visam detectar e prevenir a fonte do erro dentro do próprio processo. Um exemplo notável é o sistema desenvolvido para a embalagem de aspiradores de pó, que utilizou sensores para verificar se todos os acessórios e manuais eram retirados das caixas antes da selagem, eliminando a fonte do erro- esquecimento de peças- antes que o produto fosse finalizado e classificado como defeituoso (SHINGO, 1986).

3.4 Métodos de Detecção (Funções de Configuração)

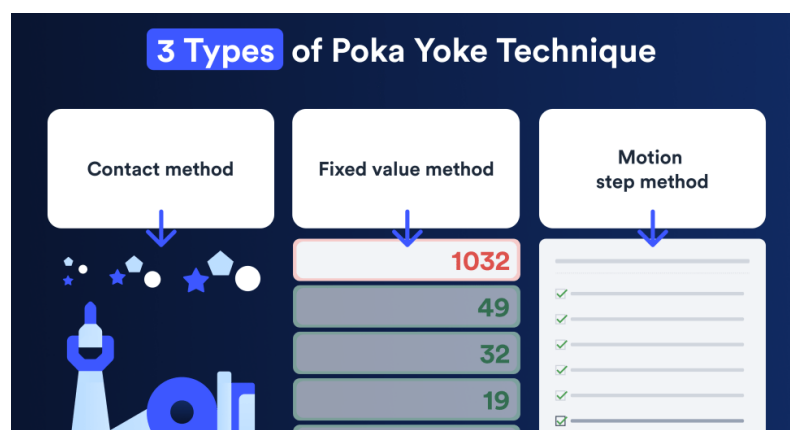
A eficácia prática de um dispositivo *poka-yoke* depende diretamente da maneira como ele interage com o processo e detecta anormalidades. Essas interações são tecnicamente categorizadas como funções de configuração, que atuam como os 'sentidos' do sistema produtivo. Neste tópico, serão detalhadas as classificações desses métodos, abordando desde o contato físico até o controle de etapas de movimento, acompanhados de exemplos de dispositivos sensores que materializam esses conceitos no chão de fábrica.

3.4.1 Classificação das Funções de Configuração

O sistema *poka-yoke* utiliza uma variedade de medidas de detecção que são classificadas em três funções de configuração com o propósito de realizar inspeções de 100% e identificar anormalidades. Essas funções determinam a forma como a anormalidade é detectada:

1. Métodos de Contato: Dispositivos de sensoriamento detectam anormalidades na forma ou dimensão do produto através do contato físico.
2. Métodos de Valor Fixo: A detecção ocorre verificando se o número especificado de movimentos ou ações foi repetido.
3. Métodos de Etapa de Movimento: Detectam anormalidades ao verificar se houve erro nos movimentos padrão predeterminados para a operação.

Figura 2 – Métodos de configuração do sistema *poka-yoke*.



Fonte: Fabriq (2025).

3.4.2 Exemplos de Dispositivos e Técnicas de Detecção

As técnicas de detecção são a base para a implementação do *poka-yoke* (SHINGO, 1986).

No âmbito dos Métodos de Contato, são amplamente utilizadas as Chaves Limite (*Limit Switches*) e as Mini-Chaves (*Mini-Switches*), que confirmam a presença e a posição de objetos, além de detectarem ferramentas quebradas. Algumas chaves limite são equipadas com lâmpadas para facilitar a manutenção e a identificação de movimento ou falta de movimento, especialmente útil quando os interruptores estão em locais de difícil acesso. Outro dispositivo importante é o Trimetron, que combina um medidor de mostrador com contatos elétricos, permitindo a fácil configuração de valores limite (positivo, negativo e posição verdadeira) para o controle automatizado e a classificação eletrônica de medições.

Os Métodos de Valor Fixo dependem da contagem. Por exemplo, para garantir que 10 tiras de fita isolante fossem aplicadas a um gabinete de televisão, as tiras eram pré-alinhadas em grupos de 10; se alguma sobrasse no suporte, o trabalhador seria alertado (SHINGO, 1986). Em processos como a soldagem de porcas, relés podem ser configurados para verificar se a corrente passou seis vezes, garantindo que todas as seis porcas foram soldadas. Para prevenir a falta de peças pequenas, uma escala de contagem pode ser usada para exibir o número de itens pesados, eliminando os erros que ocorriam quando a contagem dependia da comparação de peso de itens individuais.

Para os Métodos de Etapa de Movimento, que são altamente eficazes, podem ser usados sistemas que verificam a sequência e o tempo de uma ação. Por exemplo, um sistema de detecção pode utilizar sensores fotoelétricos (tipo reflexão), úteis para distinguir diferenças de cor, o que permite o controle de itens não ferrosos. Já as Chaves de Proximidade são usadas para detectar alterações na distância e no campo magnético, sendo adequadas para materiais ferrosos. Além disso, sensores diversos podem ser empregados, como sensores de dimensão (para medição sem contato de diâmetros externos) e sensores de vibração (para detectar a passagem de mercadorias ou fios rompidos).

3.5 Função Advertência e Função de Controle

Uma vez que uma falha ou anormalidade é identificada pelos sistemas de detecção, o *poka-yoke* deve exercer uma função regulamentadora para mitigar o impacto do erro. Essas funções dividem-se entre alertar o operador ou intervir diretamente na máquina, possuindo diferentes níveis de rigor e eficácia. Este capítulo discute a hierarquia entre os métodos de advertência e controle, demonstrando por que a interrupção ativa do processo é a escolha preferencial para organizações que almejam o selo de defeito zero."

3.5.1 Funções de Regulamentação e Primazia do Controle

Os sistemas *poka-yoke* exercem duas Funções de Regulamentação (*Regulatory Functions*) para lidar com as anormalidades detectadas (SHINGO, 1986).

1. Métodos de Controle: Estes representam a função de regulamentação mais poderosa. Quando uma anormalidade é detectada, a operação é interrompida, geralmente desligando máquinas ou travando grampos. Essa interrupção previne a ocorrência de defeitos seriais. A eficácia máxima na eliminação total de defeitos é alcançada através do uso destes sistemas.

2. Métodos de Advertência: Estes sistemas alertam os trabalhadores para as anormalidades ativando luzes ou *buzzers*. No entanto, Shingo (1986) considera que esta função é menos poderosa, pois os defeitos podem persistir se os trabalhadores ignorarem ou não perceberem os sinais. Os métodos de advertência devem ser considerados apenas quando o impacto das anormalidades for pequeno ou quando a implementação de métodos de controle for dificultada por fatores técnicos ou econômicos.

3.5.2 O Poder e a Flexibilidade dos Métodos de Controle

A escolha por métodos de controle é crucial para a filosofia ZQC, pois impede que um erro na execução se transforme em uma série de defeitos (SHINGO, 1986). Quando um defeito é detectado, a interrupção da linha é uma medida básica, pois permite que os gerentes identifiquem claramente o processo ofensivo, fornecendo uma liderança eficaz para a implementação rápida de melhorias. A paralisação

também aumenta a atenção do trabalhador, que se sente responsável pela interrupção.

Entretanto, o controle não se limita ao desligamento total. Em sistemas altamente automatizados ou quando o defeito é isolado e corrigível, Shingo (1986) sugere que o sistema pode simplesmente marcar o produto defeituoso e permitir que a máquina continue a operar, separando o item para correção manual posterior, o que pode resultar em um aumento da taxa de trabalho.

Em última análise, a adoção dos Métodos de Controle, juntamente com a Inspeção na Fonte, é o caminho para o ZQC. O sistema *poka-yoke*, ao ser combinado com a Inspeção na Fonte, impede a progressão do erro para o defeito, garantindo que o sistema não apenas informe, mas regule ativamente a produção. Foi através da combinação de inspeção na fonte e dispositivos *poka-yoke* que, em 1977, a fábrica de máquinas de lavar da Matsushita Electric alcançou um registro de zero defeitos mensais em um processo de 30.000 unidades, comprovando a validade do ZQC (SHINGO, 1986).

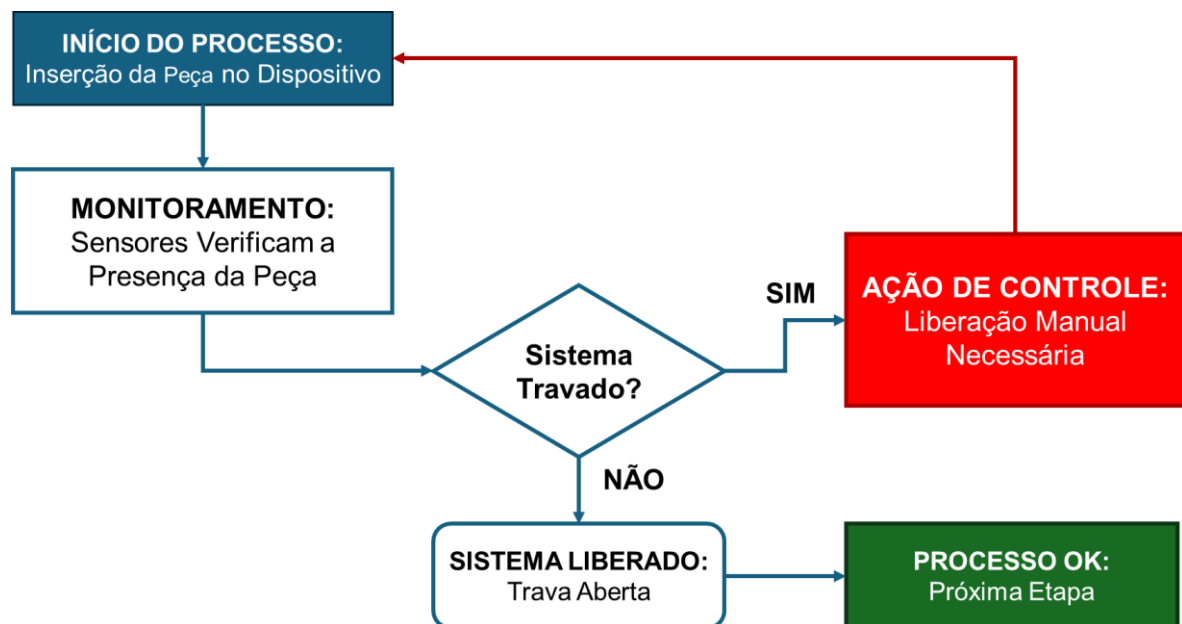
4 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

Nesta etapa, descreve-se o desenvolvimento do dispositivo de controle de qualidade, focado na prevenção do envio de peças defeituosas.

4.1 Concepção do Projeto

Antes do desenvolvimento do protótipo foi elaborado um fluxograma para descrever as principais etapas no funcionamento do dispositivo. Dessa forma, a ilustração permite um melhor entendimento em relação ao seu funcionamento e os pontos de atenção que deveriam ser verificados nas etapas de teste e validação.

Figura 3 – Fluxograma do dispositivo *poka-yoke*.



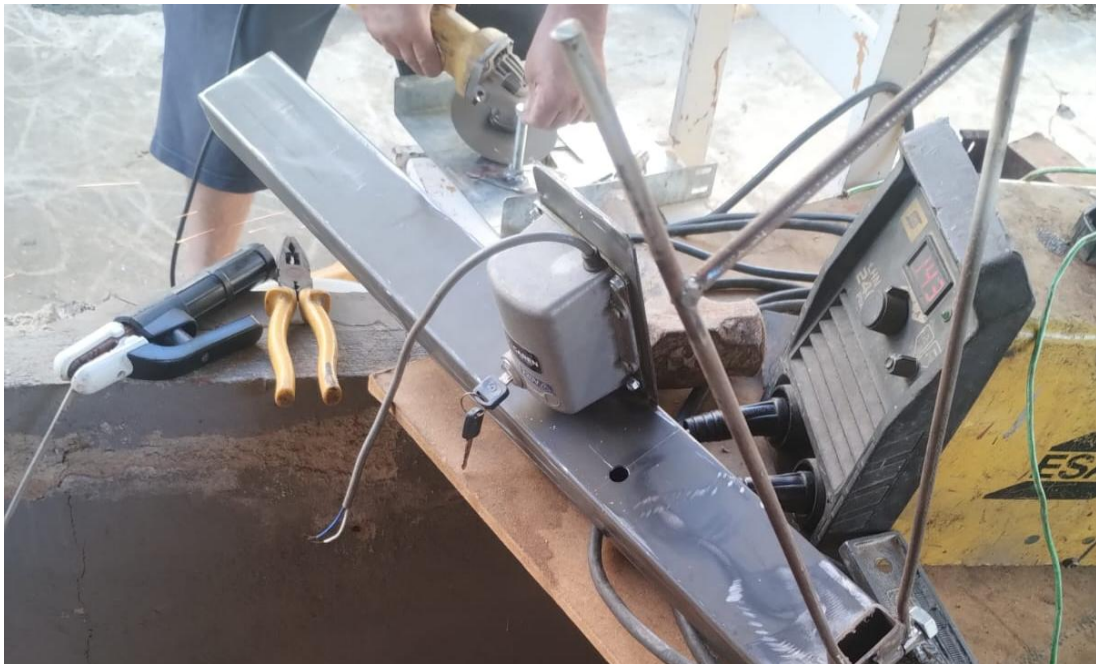
Fonte: Autor, 2026.

4.2 Geometria do Dispositivo

Para garantir a repetibilidade da leitura, foi projetada uma rampa de posicionamento com a geometria negativa da peça original. O objetivo deste design é assegurar que a peça seja acomodada sempre na mesma coordenada espacial, eliminando variáveis de distância que poderiam comprometer a sensibilidade do sensor. O projeto mecânico foi desenvolvido visando a ergonomia do operador e a precisão do alinhamento entre o componente (porca) e a face ativa do sensor.

Ainda sobre a estrutura da rampa, sua inclinação permite a descida da peça após a verificação dos dois sensores indutivos, indicando a presença da peça e que ela está com a porca soldada.

Figura 4 – Confecção da rampa.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 5 – Protótipo da rampa de posicionamento.



Fonte: Autor, 2026.

Após a confecção e soldagem do protótipo, realizamos o acabamento e pintura da rampa de posicionamento e as conexões dos sensores indutivos.

Figura 6 – Rampa de posicionamento concluída.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 7 – Visualização superior da rampa de posicionamento.



Fonte: Autor, 2026.

Além da rampa, também foi desenvolvido um compartimento ao final dela. Seu objetivo é armazenar as peças que descerem após a verificação dos sensores indutivos. Graças a uma abertura na parte superior é possível abrir o compartimento e realizar a retirada da peça.

Figura 8 – Compartimento parcialmente aberto.



Fonte: Autor, 2026.

Para impedir a passagem de peça em caso de não conformidade, foi fixada uma trava elétrica na estrutura da rampa. Ao ligar o dispositivo, a trava já inicia avançada. Se os dois sensores indicarem presença de peça e que ela está com a porca soldada nela, a trava abaixa e a peça desce pela rampa.

Figura 9 – Trava elétrica.



Fonte: Autor, 2026.

4.3 Especificação do Sistema de Detecção e Controle

O sistema utiliza um sensor indutivo para a detecção da presença da porca metálica. A escolha deste sensor justifica-se pela sua robustez em ambientes industriais de soldagem, onde há presença de respingos e campos eletromagnéticos.

O gerenciamento da lógica de detecção é realizado por um Controlador Lógico Programável (CLP) centralizado em um painel de comando exclusivo. O fluxo lógico opera sob o seguinte algoritmo:

Condição de Conformidade: Se o sensor detectar a presença da porca, o sistema libera o fluxo produtivo.

Condição de Não Conformidade: Caso a porca esteja ausente, o CLP executa o travamento imediato do dispositivo e aciona um alarme visual via LED, sinalizando o erro ao operador e impedindo que a peça defeituosa siga para a próxima etapa.

4.4 Controlador Lógico Programável

Para realizar o controle e detecção do processo foi utilizado o CLP Delta DVP 14SS2. As principais motivações para a escolha desse controlador foram sua alta velocidade de execução, apresentar um tamanho compacto e funcionar como uma solução econômica para o sistema.

Figura 10 – CLP Delta DVP 14SS2.



Fonte: Irmãos Salfatis, 2026.

Um ponto importante em relação ao CLP é como realizar a integração e intertravamento, oferecendo flexibilidade na arquitetura do sistema. Sobre essa parte, a saída do CLP pode ser configurada de duas formas:

1. Modo Autônomo: O dispositivo atua de forma independente, realizando o travamento físico e visual no próprio painel *poka-yoke*.

2. Modo Integrado: Através de um relé de interface, o sinal de erro é enviado à máquina de solda principal, permitindo o intertravamento direto (*Stop Machine*), garantindo que a máquina não inicie um novo ciclo até que a falha seja sanada.

A programação desse CLP para controle do *poka-yoke* foi feita no *ISPSoft*. Sendo o principal software da Delta Electronics para programação dos seus CLPs, permite o uso de diferentes linguagens. Um exemplo é a linguagem *Ladder Diagram* (Ld), a qual foi usada no nosso projeto.

4.5 Sensor Indutivo

A opção pelo sensor indutivo neste projeto fundamenta-se na especificidade da aplicação, que envolve o monitoramento de componentes metálicos em ambiente industrial severo. Conforme aponta Prudente (2011), o sensor indutivo oferece a melhor relação custo-benefício quando o alvo é condutor e a distância de detecção é curta. Sua escolha justifica-se pela imunidade a contaminantes não metálicos, como poeira e óleos, que poderiam causar acionamentos falsos em sensores ópticos. Além disso, a ausência de peças móveis e o invólucro selado garantem a repetibilidade necessária para a precisão do sistema automatizado proposto, minimizando paradas para manutenção.

Para desenvolvimento do protótipo foi escolhido o sensor Balluff BES00EF. Suas principais especificações técnicas são um alcance de 4mm, a saída de comutação sendo PNP contato NA (Normalmente Aberto) e uma frequência de comutação de 2500 Hz.

Figura 11 – Sensor indutivo BES00EF.



Fonte: BALLUFF, 2020.

Na rampa de posicionamento das peças a serem verificadas foram feitas duas aberturas, nas quais os sensores indutivos foram fixados. Dessa forma, ao passar uma peça dentro da rampa um sensor conseguirá identificá-la, enquanto o outro sensor terá como função verificar se a peça contém a porca soldada ou não. O primeiro sensor, localizado na parte inferior da rampa, é o responsável pela contagem de peça, enquanto o segundo sensor, localizado na parte superior da rampa, é responsável por verificar a presença de porca.

Figura 12 – Sensor superior fixado na rampa de posicionamento.



Fonte: Autor, 2026.

4.6 Fonte de Alimentação

Para funcionamento dos componentes eletrônicos, foi escolhida a fonte de alimentação PSK-LRS-50-24 da marca Kalatec. Ela é uma fonte comumente usada em painéis elétricos, CLPs, sensores e em diferentes automações industriais.

Sua tensão de saída (Vcc) é de 24V, corrente nominal de saída de 2,2A e potência nominal de 50W podendo chegar a até 52,8W. Além de uma eficiência de 88%, esse modelo conta com diferentes proteções, como proteção de sobrecarga, proteção de sobretensão e de sobretemperatura.

Figura 13 – Fonte chaveada PSK-LRS-50-24.



Fonte: Kalatec Automação, 2026.

4.7 Painel Elétrico

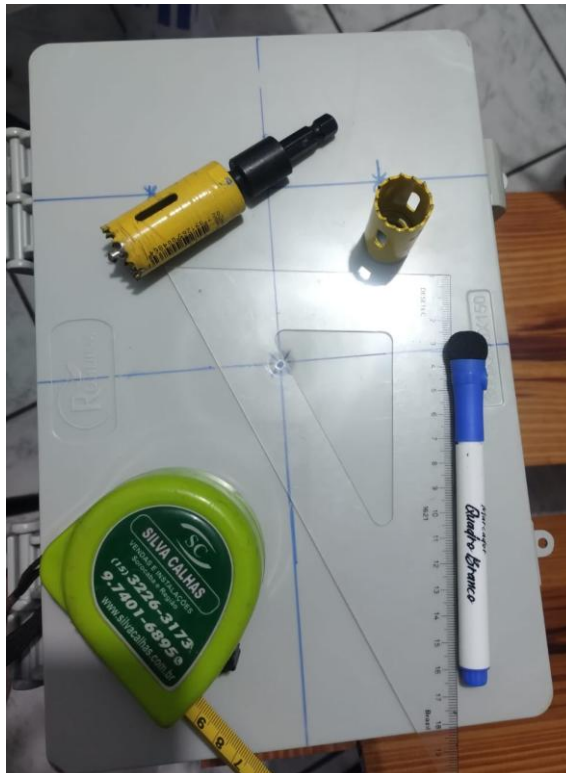
O painel elétrico é uma estrutura responsável pela distribuição de energia elétrica para as diferentes cargas presentes no projeto. Além disso, o painel garante uma melhor organização dos componentes, eficiência e segurança.

Para a realização do dispositivo *poka-yoke* foi fundamental a confecção de um painel elétrico, responsável por abrigar o CLP, dois relés de interface, disjuntor, fonte, LEDs, chave seletora e as ligações elétricas.

Primeiramente, escolhemos uma caixa em PVC para montagem do painel elétrico. O modelo é da marca Rohdina, com dimensões de 300mm de altura, 200mm de largura e 150mm de comprimento. Nessa caixa fizemos três furos na tampa, de forma a deixar acessível dois LEDs e uma chave seletora.

Após isso, retiramos a placa de montagem da caixa para colocarmos os primeiros componentes, como o CLP, relés de interface, bornes para conexão, disjuntor e a fonte.

Figura 14 – Demarcações dos furos na caixa de montagem.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 15 – Realização dos furos.



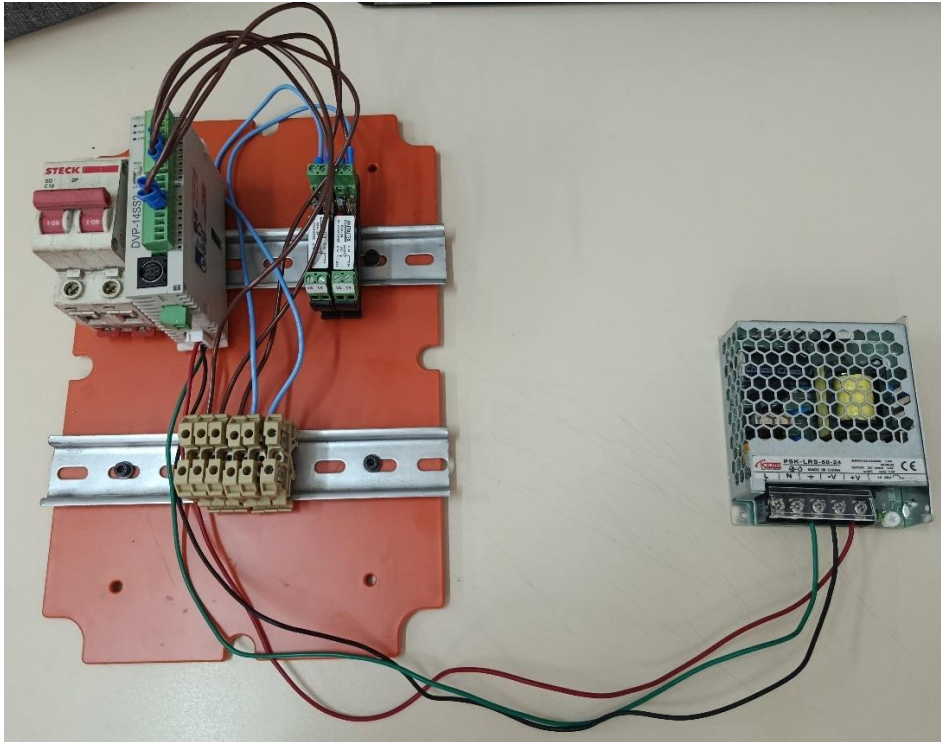
Fonte: Autor, 2026.

Figura 16 – Componentes fixados na tampa.



Fonte: Autor, 2026

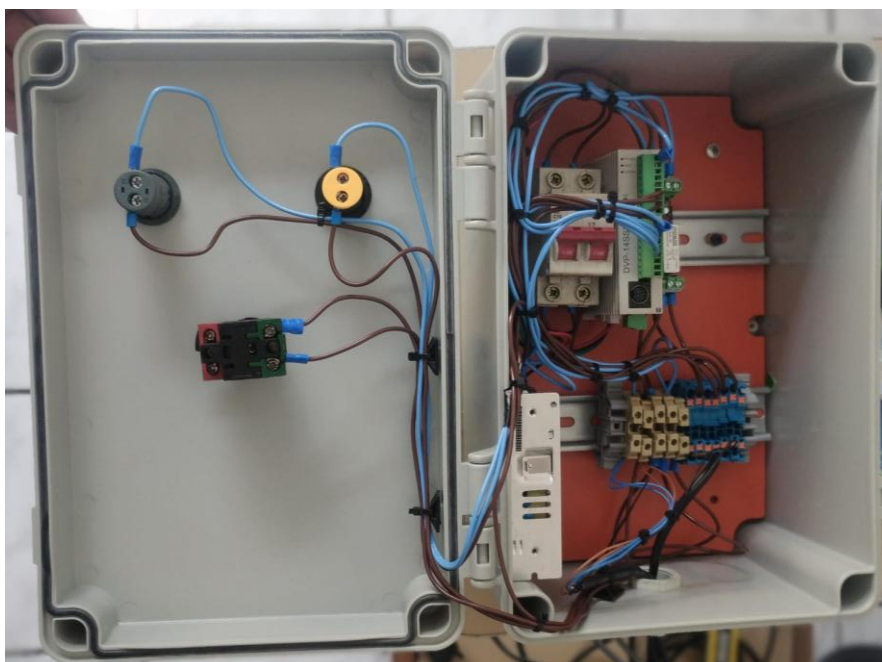
Figura 17 – Placa de montagem com componentes iniciais.



Fonte: Autor, 2026.

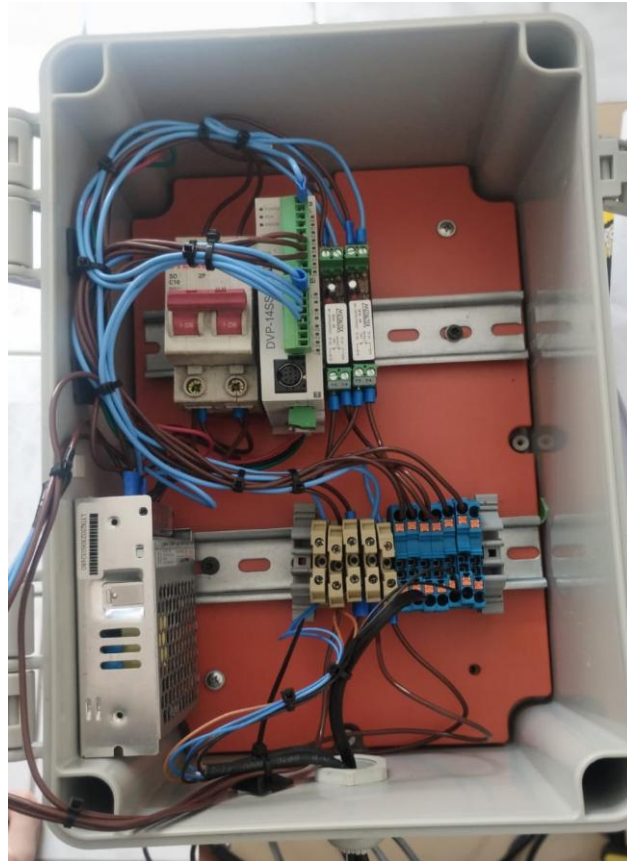
Após a conclusão dos primeiros testes, realizamos a montagem dentro do painel elétrico, organizando todas as conexões necessárias.

Figura 18 – Painel elétrico finalizado.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 19 – Interior do painel elétrico.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 20 – Conexões dos LEDs e da chave seletora.



Fonte: Autor, 2026.

4.8 Indicadores e Chave Seletora

Para fácil acesso do operador e indicação direta do funcionamento do dispositivo, foram fixados dois LEDs no painel elétrico. O LED verde, posicionado no canto esquerdo, mostra que a peça conta com a presença da porca.

O LED vermelho, posicionado no canto direito, indica peça em falha. Basicamente, esse LED acende na condição em que o primeiro sensor indutivo capta a presença de peça, mas o segundo sensor indica que não há presença da porca.

Além dos LEDs, outro componente de fácil acesso e grande importância para o funcionamento do *poka-yoke* é uma chave seletora. Ela funciona como um *reset* do dispositivo. O *poka-yoke* já inicia precisando acionar a chave seletora para funcionar. No caso de identificar uma peça com defeito também precisa acionar a chave para o dispositivo reiniciar. Essa função pode ser realizada tanto pela chave seletora quanto pela IHM (Interface Homem-Máquina), que será abordada mais adiante.

Após a fixação e conexão desses componentes ao painel elétrico, foram posicionadas etiquetas de identificação para fácil entendimento do operador.

Figura 21 – Parte frontal do painel elétrico.



Fonte: Autor, 2026.

4.9 Interface Homem-Máquina

“Uma interface homem-máquina (*Human Machine Interface*, HMI) é o ponto de contato entre usuários e máquinas. Essas interfaces permitem que os usuários operem máquinas, monitorem processos e, em alguns casos, intervenham.” (ECOM INSTRUMENTS, 2025).

Ao projetar o dispositivo *poka-yoke*, percebemos a necessidade de desenvolver uma IHM para que o usuário consiga acessar também de forma alternativa o funcionamento da máquina, com a possibilidade de realizar o reset além do acionamento da chave seletora.

A implementação de uma IHM também permite a indicação e registro de importantes dados referentes ao processo. Alguns exemplos são: Indicação da quantidade de peças produzidas, porcentagem de peças com a porca soldada, porcentagem de peças sem a porca e definição de um *setpoint* para a produção.

Graças ao software DOPSoft, conseguimos projetar e simular uma IHM que comunica com o CLP utilizado no projeto. Por conta do preço elevado de uma IHM física e possibilidade de simulação, optamos pelo uso de um notebook para sua representação.

Foram criadas duas telas que o usuário pode interagir. A primeira tela indica se o estado atual do dispositivo, contagem de peças com a porca soldada e não soldada, porcentagem das respectivas peças, *setpoint* e botões para reset de falha, reset de produção atingida e reset das contagens. A segunda tela indica os sinais das entradas e saídas do CLP que estão sendo utilizadas.

Figura 22 – Tela 1 da IHM.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 23 – Tela 2 da IHM.



Fonte: Autor, 2026.

5 RESULTADOS

Após toda montagem mecânica, eletrônica e programação do dispositivo como um todo, foram realizados testes focados no funcionamento do *poka-yoke*.

Inicialmente foi posicionada uma peça com a porca soldada. Primeiro ela desceu até a metade da rampa de posicionamento, onde estão localizados os dois sensores indutivos e a trava elétrica. Ao receber os sinais que indicam presença de peça e presença da porca, o LED verde acende no painel elétrico e o CLP envia um sinal para liberação da trava, permitindo a peça descer e chegar até o compartimento ao final da rampa.

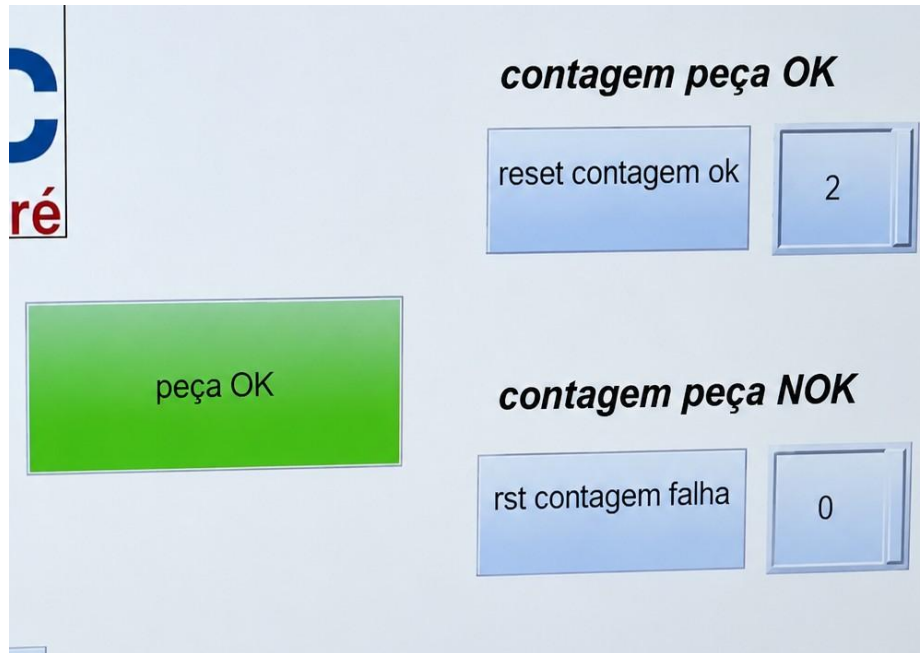
Figura 24 – Peça com a porca soldada.



Fonte: Autor, 2026.

No mesmo momento que acende o LED verde no painel, o bloco de indicação na primeira tela da IHM que demonstrava aguardar peça agora indica peça OK. Ainda na IHM, após a trava elétrica ser liberada, esse mesmo bloco volta a indicar que aguarda peça e o bloco de contagem de peças com a porca soldada é atualizado. Outros blocos que também mudam de estado nesse momento são os de peças produzidas e o de porcentagem de peças OK.

Figura 25 – Indicação de peça OK.



Fonte: Autor, 2026.

Já na segunda tela da IHM, durante o processo são indicados os sinais de entradas e saídas do CLP. Quando a peça com a porca chega nos dois sensores indutivos, os blocos responsáveis pela indicação dos seus sinais ficam na cor verde.

Figura 26 – Indicação das entradas.



Fonte: Autor, 2026.

Após isso, os blocos de acionamento das duas saídas e do LED verde também acendem, sendo desligados depois que a trava elétrica libera a peça para descer pelo restante da rampa.

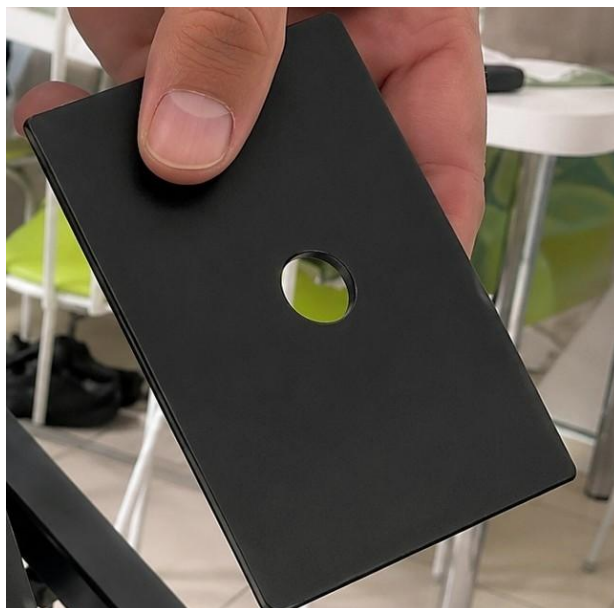
Figura 27 – Indicação das saídas.



Fonte: Autor, 2026.

O próximo teste de verificação foi realizado utilizando uma peça com a ausência de porca.

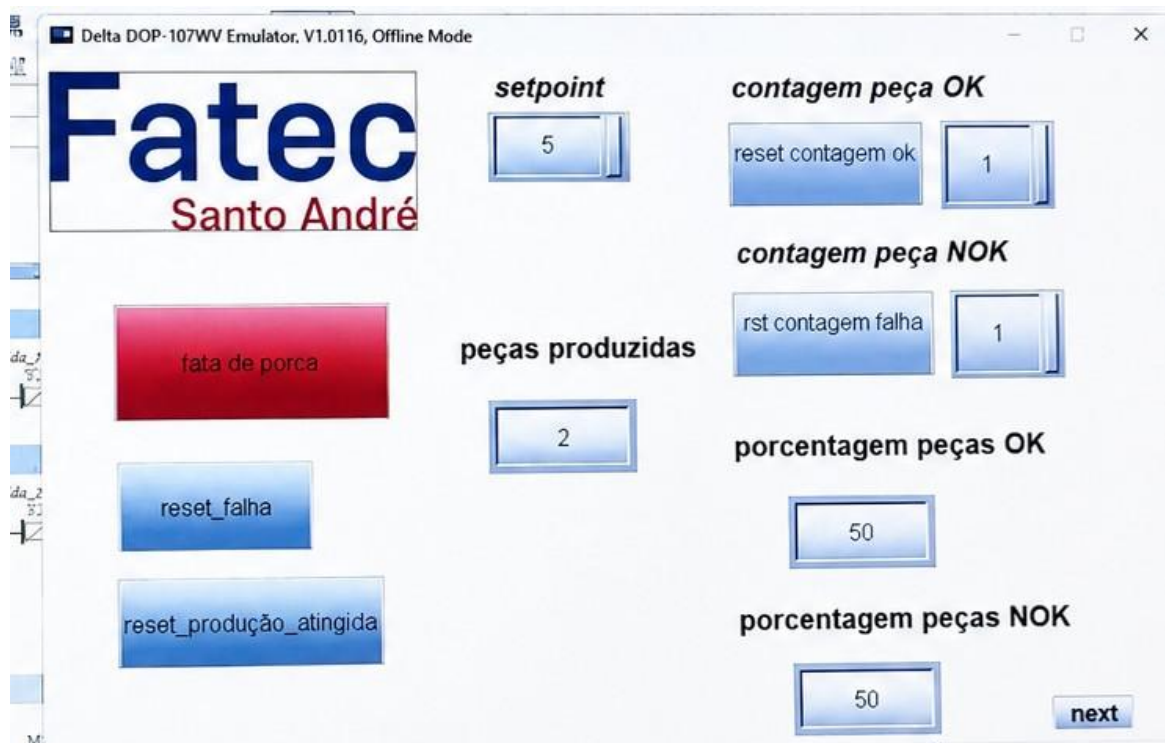
Figura 28 – Peça sem a porca soldada.



Fonte: Autor, 2026.

No momento que essa peça desce pela rampa de posicionamento, o sensor inferior capta a presença da peça, mas o sensor superior não identifica a presença de uma porca. Com isso, o LED vermelho é aceso e a tela 2 da IHM acende os blocos indicadores de presença de peça e do LED vermelho. Também é atualizado o estado da máquina, mudando o bloco que indicava aguardar peça para agora falta de porca. Outras atualizações que ocorrem nesse momento envolvem a contagem de peças produzidas, peças sem a porca e porcentagem de peças não OK.

Figura 29 – Atualizações da IHM.



Fonte: Autor, 2026.

Com as duas situações possíveis da peça sendo testadas, a próxima verificação foi em relação ao comando de reset após a falha. Ao clicar no botão de reset presente na IHM, ele não libera enquanto não retirar a peça da rampa de posicionamento. A peça deve ser retirada através do acionamento manual da trava elétrica, girando a chave dela.

Logo após a remoção da peça o programa permite o reset pela IHM ou pelo painel elétrico. As duas condições foram testadas e funcionaram, com o bloco que indicava falta de porca mudando para o estado de aguardar peça depois de utilizar qualquer uma das opções de reset.

Por último, testamos os botões de reset por produção atingida, reset de contagem das peças com a porca e de peças sem ela. Todos eles funcionaram perfeitamente, concluindo então todas as opções presentes na IHM.

Os resultados de todas as verificações relacionadas ao funcionamento do dispositivo foram satisfatórios, conseguindo alcançar nosso objetivo delimitado no início do projeto ao identificar a ausência ou presença da porca na peça

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade relacionada a produção industrial é algo que deve receber um foco especial, pois é a partir dela que as produções conseguem alcançar uma padronização cada vez maior, evitando desperdícios e futuros transtornos para a indústria e para os clientes.

Podemos considerar que aplicação do dispositivo *poka-yoke* soluciona um de inúmeros casos que a percepção humana pode falhar, afetando toda uma linha de produção. Erros de montagem de um produto podem até não ser tão impactantes quando o resultado afeta somente um pequeno ponto na estética dele, mas podem desencadear um perigoso efeito em cadeia quando principalmente o erro afeta o funcionamento de equipamentos que dependem dessa peça.

O desenvolvimento da pesquisa relacionada ao tema nos possibilitou observar como problemas que ocorrem atualmente já haviam sido notados e analisados por Shigeo Shingo. A técnica *poka-yoke* é fundamental para a área industrial, sendo altamente recomendada tanto para pequenas aplicações, como indústrias de pequeno porte, quanto em escalas maiores, onde os benefícios certamente serão ainda maiores.

7 PROPOSTAS FUTURAS

O resultado do dispositivo nos permitiu observar pontos que podem ser acrescentados, otimizando ainda mais o *poka-yoke* e o tornando aplicável para diferentes usabilidades.

Primeiramente, toda a estrutura do painel elétrico poderia futuramente funcionar para diferentes receitas, com o CLP podendo comunicar com sensores de outros dispositivos. Essa possibilidade pode ser muito interessante ao utilizar outros equipamentos *poka-yoke*, mas que verificam outros parâmetros de diversos tipos de peças.

Outra alteração que visaria otimizar as verificações das peças seria em relação a estrutura do dispositivo. Em casos que diversas peças são produzidas em um curto espaço de tempo, a verificação de peça por peça atrasaria o ritmo de todo o processo fabril. Uma rampa com espaço maior e o uso de mais sensores indutivos seria um bom ponto de partida para o desenvolvimento de um equipamento adequado a um ritmo de produção acelerado.

Com essas alterações, a usabilidade do dispositivo poderia atender escalas cada vez maiores, focando em diversas indústrias que necessitam de verificação nos inúmeros processos produtivos, principalmente nos quais ocorrem alta repetibilidade humana e apresentam porcentagem maior de erros.

REFERÊNCIAS

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

ECOM INSTRUMENTS. **Interface Homem-Máquina**. 2025. Disponível em: <https://www.ecom-ex.com/pt/seguranca-intrinseca/biblioteca-glossario/termo/hmi/>. Acesso em: 07 mar. 2026.

FABRIQ. **Poka-Yoke: the Lean Manufacturing Tool for Mistake-Proofing**. Fabriq, 13 jun. 2025. Disponível em: <https://fabriq.tech/en/2025/06/13/poka-yoke-the-lean-manufacturing-tool-for-mistake-proofing/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas de dados e automação**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2011.

GEORGINI, Marcelo. **Automação Aplicada: Descrição e implementação de sistemas sequenciais com PLCs**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2007.

PRUDENTE, Francesco. **Automação Industrial: PLC - Teoria e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

SHINGO, Shigeo. **Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System**. 1. ed. Stamford, CT: Productivity Press, 1986.

SOUZA, Juliana Nazaré Alves. **Escrita Científica**. 1. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2025.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais: Fundamentos e aplicações**. 8. ed. São Paulo: Érica, 2011.