

SISTEMA DE VISÃO COM IA INTEGRADA: uma solução eficiente para a detecção e otimização do modo de falha em processos industriais

VISION SYSTEM WITH INTEGRATED AI: an efficient solution for detecting and optimizing failure modes in industrial process

Júlia Bittencourt de Paula¹, Gustavo Ferreira Rabelo Garcia²

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido a partir de um estudo bibliográfico seguido de uma pesquisa-ação que propõe a melhoria em um processo produtivo. A pesquisa analisa a implementação de um sistema de visão com inteligência artificial integrada em uma célula produtiva de componentes automotivos, localizado na cidade de Varginha, Sul de Minas Gerais, como método de *poka yoke* para detectar falhas em processos operacionais manuais. A iniciativa surgiu mediante a um alerta vindo da montadora sobre a qualidade do produto em busca de otimização de processos e redução de modos de falha. Os resultados indicam que a automação pode transformar práticas industriais, e o sistema poderá ser expandido para outros produtos, contribuindo para um ambiente de produção mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Inteligência artificial; Otimização e *Poka Yoke*

ABSTRACT

The work was developed based on a bibliographical study followed by action research that proposes improvements in a production process. The research analyzes the implementation of a vision system with artificial intelligence integrated into an automotive components production cell, located in the city of Varginha, South of Minas Gerais, as a poka yoke method to detect failures in manual operational processes. The initiative came about following an alert from the automaker about product quality in search of process optimization and reduction of failure modes. The results indicate that automation can transform industrial

¹ Graduanda do Curso de Engenharia de Produção no Centro Universitário do Sul de Minas. E-mail: julia.paula@alunos.unis.edu.br

² Prof. Orientador do Centro Universitário do Sul de Minas. E-mail: gustavo.garcia@professor.unis.edu.br

practices, and the system can be expanded to other products, contributing to a more efficient and sustainable production environment.

Keywords: *Artificial Intelligence; Optimization and Poka Yoke.*

14/11/2024

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente demanda por eficiência e qualidade nas linhas de produção tem impulsionado a adoção de tecnologias inovadoras nas indústrias. A implantação de sistemas de visão com inteligência artificial integrada se destaca como uma solução promissora, capaz de identificar falhas em processos operacionais manuais, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade dos produtos. Este trabalho apresenta a implementação do sistema de visão com IA integrada como método de *poka yoke*, em uma célula produtiva dedicada à fabricação de pestanas externas, componentes de vedação essenciais no ramo automotivo da empresa em questão, localizada na cidade de Varginha, Sul do estado de Minas Gerais.

O objetivo desta pesquisa é analisar a eficácia do sistema integrado com inteligência artificial na detecção de falhas durante a produção, visando otimizar os processos e minimizar erros. A iniciativa para a implementação deste sistema surgiu a partir de um plano de ação gerado por um alerta enviado pela montadora, que identificou e notificou a necessidade de melhorias na qualidade do produto. Assim, busca-se avaliar o impacto da automação na qualidade do produto e na eficiência operacional da célula a ser trabalhada. O problema central a ser abordado refere-se à alta taxa de falhas em processos manuais, que podem comprometer a qualidade dos produtos e aumentar os custos de produção. Este trabalho se propõe a investigar como a tecnologia pode transformar práticas industriais tradicionais, contribuindo para uma produção com baixa margem de erro.

Além disso, o sistema implementado foi acompanhado durante um período pré-determinado para validar sua eficácia. Diante desse cenário, a presente pesquisa não só se mostra relevante para a empresa, mas também contribui para o avanço das práticas industriais, promovendo um ambiente de produção mais inteligência e sustentável.

No decorrer do artigo foram abordadas metodologias utilizadas para o desenvolvimento de ações e implantação do sistema de visão com IA integrada, além dos

testes *in loco* realizados, os resultados e conclusões da inserção do sistema de *poka yoke* na célula de produção das pestanas externas.

2 INDÚSTRIA 4.0

A indústria 4.0 vem representando o avanço das revoluções industriais, marcada como quarta revolução, chega integrada de tecnologias digitais voltada aos mais diversos processos industriais onde máquinas se comunicam, se adaptam e tomam decisões autônomas, fábricas inteligentes lideram o futuro do mercado. Estas fábricas podem ser consideradas pontos-chave para a Indústria 4.0, na busca pela criação de produtos, processos e procedimentos inteligentes se tratando de plantas capazes de realizarem desafios maiores, menores interrupções de processo e sincronia entre homem e máquina (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013).

Com base na representatividade da indústria 4.0, nos tópicos seguintes serão apontadas metodologias, ferramentas e aplicações que apresentam o intuito de reintegrar e inserir tecnologias aos processos industriais.

2.1 Inteligência Artificial Integrada

A inteligência artificial integrada é uma constante fusão entre tecnologias existentes ou ainda em desenvolvimento e sistemas de inteligência artificial com outros tipos de processos, permitindo assim que a inteligência seja utilizada de forma eficaz melhorando a funcionalidade e desempenho em suas diversas aplicações. Segundo Gomes (2010), a inteligência artificial é um ramo da computação cujo interesse é fazer com que os computadores pensem ou se comportem de forma inteligente.

Ramificações são pontos garantidos quando se trata de inteligência artificial, visto que apresenta uma variedade de aplicações no meio industrial sendo em sistemas especializados ou visuais. O sistema visual envolve constantemente *hardware* e *software* que permitem a captura, armazenamento e manipulação de imagem ou dados. Esses sistemas são capazes de reconhecer características perante perspectiva mediante infravermelhos, fazendo com que os computadores ou áreas de armazenagem possam capturar imagens tridimensionais da área ou objeto escaneado (Stair; Reynolds, 2006).

2.3 Sistemas de Visão com IA Integrada

Os sistemas de visão com IA integrada oferecem soluções rápidas de visão mecânica para uma ampla gama de aplicações em qualquer nível de experiência. O software simples de usar também permite a configuração rápida de uma variedade de inspeções para ferramentas de IA e de visão baseadas em regras, com essa configuração simplificada e interface fácil de usar, o sistema fornece soluções de visão otimizadas e eficazes (Keyence, 2024).

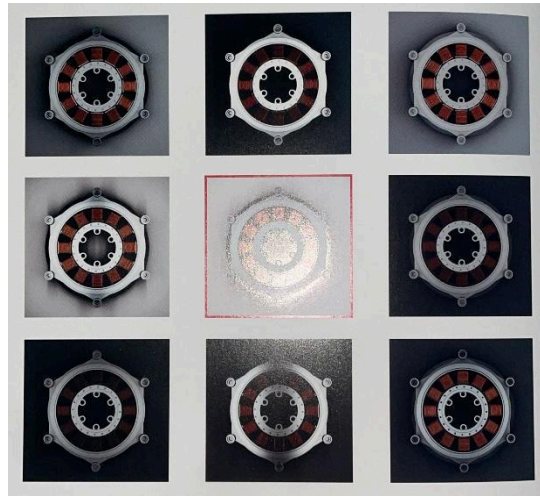
Figura 01 – Câmera inteligente



Fonte: Keyence (2024).

O sistema incorpora tecnologia avançada de controle de lentes, gerenciando efetivamente 19 lentes em uma câmera inteligente. Essa inovação elimina a necessidade de seleção manual de lentes ou ajustes físicos, permitindo que um único modelo de câmera se adapte perfeitamente a vários requisitos de imagem com o clique de um botão. Para geração de imagem (figura 02) a IA extrai automaticamente a imagem recomendada entre mais de 1000 condições e as relaciona em três fatores, cor, formato e velocidade para a extração recomendada (Keyence, 2024).

Figura 02 – Geração de imagem



Fonte: Keyence (2024).

A detecção com base na inteligência artificial vem de um fluxo básico de configuração para as condições mais estáveis, onde deve ser selecionado a área de detecção, registro dos produtos conformes e não conformes gerando automaticamente a identificação da IA as características dos produtos OK (conformes) e NG (não conformes) para efetuar a geração automática das melhores configurações em cerca de três segundos (Keyence, 2024).

2.4 Ferramentas da Qualidade

Através da análise e compreensão de dados, as ferramentas da qualidade permitem identificar a causa raiz de um ou demais problemas, compreendê-los e propor soluções eficazes, possibilitando a otimização e melhoria nos processos operacionais além de tomada de decisões embasadas em uma estrutura concreta (Daniel; Murback, 2014).

Daniel (2014) identifica como ferramentas da qualidade todos os processos empregados na obtenção de melhorias e resultados positivos, permitindo-lhes uma melhor exploração de seus produtos de mercado. Serão abordados como ferramentas da qualidade as metodologias 8D para tomada de decisões, estruturação dos cinco porquês, diagrama de causa e efeito para identificação de causa raiz e sistema *Poka Yoke* de inspeção e conformidade de produto e processo.

2.4.1 Método 8D

A exigência por inovação e crescimento tecnológico, regulamentação e a necessidade de atender as expectativas dos clientes, influenciaram na busca por melhoria contínua dos processos, em particular, o setor automotivo, onde apresentam altos índices de competitividade fazendo com que as organizações procurem alcançar seus melhores resultados, sendo assim, a metodologia 8D passou a ser utilizada pelos fornecedores a fim de auxiliar na resolução e identificação dos problemas e suas causas raízes (Chies; Buneder, 2019).

Segundo Vargas (2017), a ferramenta consiste em um sequenciamento de ações que devem ser executadas desde a identificação do problema até a resolução e implementação de melhorias, além de habilitar a aprendizagem individual e organizacional por meio das informações.

2.4.2 Cinco Porquês

A metodologia dos cinco porquês é uma abordagem científica utilizada pelo sistema Toyota de produção sendo uma ferramenta simples de resolução de problemas para se chegar a verdadeira causa raiz, geralmente escondida através de sistemas evidentes, consistindo em formular o questionamento cinco vezes para compreender a ocorrência dos fatos (Ohno, 1997).

Para realizar a análise dos cinco porquês, embora seja denominada assim, pode-se utilizar um quantidade inferior ao padrão de acordo com a necessidade usando um conjunto específico de etapas, com instrumentos associados para assim encontrar a causa primária do problema, de como que determine o que ocorreu, por que isso aconteceu e como reduzir a probabilidade de uma nova ocorrência (Weiss, 2011).

2.4.3 Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Ishikawa ou diagrama de causa e efeito se configura como uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre o resultado de um processo, referindo-se ao efeito e os fatores que possam ter modificado o resultado desse mesmo processo, validando todo o problema com suas respectivas causas, devendo ser analisadas e

testadas individualmente a fim de comprovar qual está realmente causando o problema (efeito) que se quer eliminar (Werkema, 1995).

A sistemática desta ferramenta consiste em identificar graficamente fatores de influências sobre determinados problemas através da construção do diagrama, tendo como base os 6Ms sendo método, máquina, medida, meio ambiente, material e mão de obra, para assim realizar análises com principal objetivo de identificar a causa raiz de um problema e elaborar um plano de ação sobre ele (Junior, 2010).

2.5 Sistema *Poka Yoke*

O sistema de poka yoke nada mais são que dispositivos (gabaritos, sensores ou alarmes), juntamente aos procedimentos, técnicas e métodos detectam, eliminam e corrigem erros de processo no mais alto nível de controle, podendo ser usados em áreas diferentes da manufatura como saúde, tecnologia da informação e atividades corriqueiras (Hinckley, 2007).

O método de controle é assim denominado perante a detecção de uma variabilidade não esperada no processo interrompendo a operação com os objetivos de evitar a produção de defeitos e não conformidades em série, além de criar senso de urgência de controle, levando o operador a não possuir graus de liberdade para tomada de decisão, sendo assim, induzindo a realização correta da operação (Vidor; Saurin, 2011).

McGee (2005) propõe cinco etapas para elaboração do sistema de poka yoke, iniciando pela identificação do defeito e o impacto disso sobre o cliente, identificação em qual etapa do processo o defeito foi apontado posteriormente evidenciando em qual etapa foi criado, reconhecimento da causa raiz que originou o defeito, elaboração de um brainstorming para eliminar desvios de processo e por fim, criar, testar, validar e implementar o dispositivo de poka yoke. De forma a complementar, Connor (2006) aponta que a implantação desse sistema está vinculada também à filosofia kaizen, onde tem por princípio a melhoria contínua dos dispositivos a fim de suprir alterações e variações ocorridas no processo.

3 METODOLOGIA

Nesta análise, foi implementado um sistema de visão com inteligência artificial integrada com intuito a detecção da não conformidade de peças que apresentam a ausência de componentes como *end cap* e *sealer*, detalhados em seguida no trabalho. A metodologia empregada envolveu o conhecimento básico do processo produtivo de pestanas externas –

produto em estudo; descrição de alertas de qualidade vermelho bem como sua função; elaboração e execução de ações na metodologia 8D; identificação da causa raiz por meio do 6M; estudo e cotação do sistema de visão integrado e aplicação da melhoria proposta seguida de acompanhamento contínuo após finalização.

3.1 Processo Produtivo

O pesquisa traz uma abordagem significativa apontando falhas corriqueiras no processo de acabamento das vedações de porta, de forma específica, pestanas externas (figura 03).

Figura 03 – Pestana Externa



Fonte: O autor.

O ponto crítico ocorre no processo manual de acabamento onde são inseridos os *end caps* na extremidade do perfil (figura 04), juntamente com *sealer* maior e menor, com o propósito respectivo de acabar visualmente a peça e realizar a vedação, impedindo a entrada de resíduos.

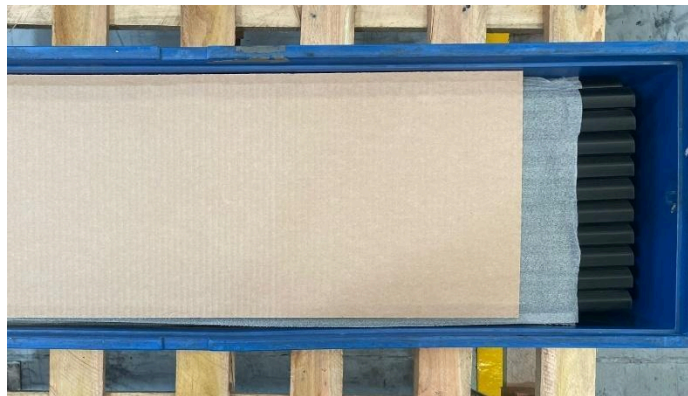
Figura 04 – *End cap*



Fonte: O autor.

O processo é realizado mediante etapas conforme a Instrução Operacional (IO) da célula, onde descreve o processo a ser realizado mediante separação por etapas. Inicialmente deve ser inserido o *sealer* maior, posicionado na parte interior da pestana, em seguida é introduzido o *end cap*, aplicando sua trava e de forma subsequente, é anexado o *sealer* menor sobreposto ao *end cap*. Ambos os processos são realizados na extremidade do perfil, que são posicionados com a parte interna para cima, para que assim seja possível realizar as operações. A cada encerramento de operação, deve ser executada uma marcação na extremidade, que comprova a existência e posicionamento correto de todos os itens. Após a finalização de inserção dos componentes, a peça deve ser posicionada com a parte interna para baixo, sendo possível prosseguir com a limpeza e polimento. Em seguida, as peças são postas em um conjunto de dez por camada. A montagem é realizada mediante as disposições de uma camada de papelão, uma camada com dez peças com a parte interna para baixo, uma leve camada protetora de polietileno por cima e outra camada de papelão, finalizando a operação (figura 05).

Figura 05 – Montagem



Fonte: O autor.

De forma subsequente, ao finalizar as oito camadas, as caixas são enviadas para a área de inspeção final, onde os operadores retiram peça a peça para que seja possível analisar as conformidades e não conformidades dos produtos antes de serem enviados ao cliente final. Neste tipo de operação, tem-se alertas de qualidade, que apontam quais os defeitos ou falhas encontradas, o lote, o nome da peça e do cliente e qual operador é responsável por aquela remessa, que são disponibilizados a todos os engenheiros de processo e qualidade para que as devidas medidas possam ser tomadas. Os alertas podem ser notificados de forma *in loco*,

sendo detectados na inspeção final do produto por colaboradores internos ou notificação externa, apontadas diretamente da linha de montagem do cliente.

3.2 Alerta de Qualidade Vermelho – AQV 631-24

Referente ao processo abordado no tópico 3.1, foi enviado pelo fornecedor direcionado a célula de produção da pestana externa, um Alerta de Qualidade Vermelho (apêndice A), no dia 05 de agosto de 2024 apontando a falta de end caps em um total de 11 peças em uma única caixa.

De forma seguinte ao recebimento do AQV 631-24 (Alerta de Qualidade Vermelho) foi apurado o histórico de reclamação do cliente voltado para a célula em questão, para averiguar se a falha já ocorreu anteriormente ou se enquadra em um caso corriqueiro. Após a extração de dados (quadro 01), concluiu-se que o problema apresentado se torna contínuo, em pequenos intervalos de ocorrência e que as medidas de segurança e contenção não estavam trazendo soluções eficazes.

Quadro 01 – Histórico de reclamações

Histórico de Reclamações			
Alerta	Código	Data	Motivo
AQA	009-24	22/02/2024	Duas peças sem o <i>sealer</i> menor
AQA	017-24	10/03/2024	Três peças sem o <i>sealer</i> maior
AQA	020-24	30/05/2024	Duas peças sem o <i>sealer</i> menor
AQV	381-24	03/06/2024	Dez peças sem o <i>sealer</i> maior
AQV	414-24	14/06/2024	Cinco peças sem o <i>sealer</i> menor
AQV	544-24	03/07/2024	Dez peças sem o <i>sealer</i> maior
AQV	558-24	29/07/2024	Vinte peças sem o <i>sealer</i> menor
AQV	631-24	05/08/2024	Onze peças sem <i>end cap</i>

Fonte: O autor.

Foi apontado além do histórico de reclamações, o custo por peça (quadro 02), baseando-se no custo travado individual, o tempo de peça produzida e a quantidade devida para fechamento da caixa, visto que se trata de um perfil caro para a produção e desenvolvimento, o que pode afetar negativamente o saldo da organização tendo em vista a quantidade de peças perdidas.

Quadro 02 – Custo de perda

Peça	Custo p/PC	Turno (hora)	Qtd. Produzida	Qtd. De Caixa	Turno	
					Qtd. PC Prod.	Custo Prod.
Pestana Externa Esquerda	R\$ 15,18	8	80	2	1280	R\$ 19.430,40
Pestana Externa Direita	R\$ 15,18	8	80	2	1280	R\$ 19.430,40
Total de custo/peças produzidas em um turno					2560	R\$ 38.860,80

Fonte: O autor.

Posteriormente, houve a realização de reuniões entre os setores de engenharia, qualidade e liderança de produção para que fosse possível destrinchar o problema apontado pela montadora e desempenhar a elaboração do 8D e de forma subsequente encontrar a causa raiz.

3.3 Elaboração do Método 8D

Referente ao desempenho e elaboração abordados no tópico 3.2, foi utilizado um modelo de 8D (apêndice B), pré-determinado pela empresa e que foi desenvolvido em três dias corridos, apresentando uma finalização total de todas as ações e melhorias em um prazo de quarenta dias. De forma subsequente será apresentado cada etapa da metodologia e como foram destrinchados no decorrer de sua elaboração (quadro 03).

Quadro 03 – Metodologia 8D

D1	Time de trabalho
Foram destrinchados os responsáveis e envolvidos no plano de melhoria no processo de falha, pontuados pelo nome, área correlata e função exercida na empresa.	
D2	Descrição da não conformidade
Foram pontuados os itens de não conformidade apresentados. São respectivamente: data em que a reclamação foi reportada pelo cliente; origem da reclamação, podendo ser interna ou externa; qual o cliente e sua localização; código da peça; rastreabilidade da peça por meio da gravação no perfil; qual foi a ocorrência; o porquê de a ocorrência ser um problema; quem detectou; onde foi detectado; quando houve a detecção e quantas peças estavam não conforme.	

D3	Ações de contenção provisória
<p>Tem-se as ações de contenção provisória mediante a ocorrência reportada, baseando-se em duas partes, ocorrência e detecção, onde são apontadas as descrições das ações, os responsáveis, o prazo para realização das atividades, status, o responsável pela validação das ações implementadas, a data que foi validado e o status.</p>	
D4	Análise de causa raiz
<p>É apresentado de forma destrinchada os três porquês após a análise, execução e conclusão do diagrama de causa e efeito, obtendo a causa raiz do problema. Nesta disciplina deve ser disponibilizado o porquê da ocorrência do problema, porque não foi detectado e porque não foi previsto, além de pontuar as causas raízes para a ocorrência, não detecção e sistêmica.</p>	
D5	Ações corretivas/sistêmicas
<p>Tem-se a implementação das ações corretivas e sistêmicas voltadas para a ocorrência. Estas ações baseiam-se em três seções: descrição das ações para ocorrência, descrição das ações para não detecção e descrição das ações sistêmicas. Ambas as pontuações abordam as ações, os responsáveis, o prazo e o status.</p>	
D6	Validação da eficácia das ações
<p>É abordado a validação de todas as ações realizadas no D5 – Ações Corretivas/Sistêmicas. Esta validação baseia-se em cinco seções padrão: descrição da ação de validação, o responsável por tal ação, área e data juntamente com o status de andamento das ações.</p>	
D7	Ações preventivas (documentos modificados por análise)
<p>É apresentado as documentações que são necessárias atualizações mediante ações tomadas para resolução da ocorrência reportada e as validações destas ações preventivas. Mediante análise e necessidade de atualização, foi possível observar a possibilidade e demanda de implementação de <i>Poka Yoke</i> para inspeção visual nas caixas das pestanas externas, visto que apresentam um histórico nefasto de ocorrências por ausência de componentes obrigatórios no acabamento da peça. Determinou-se, mediante acordo entre engenharia e qualidade, que se teria um prazo de um mês e quinze dias para a realização de cotações e implementação inicial do sistema na célula, tendo um prazo posterior para controle e análise contínua dos resultados após adequação.</p>	

D8	Avaliação de eficácia das ações corretivas aplicadas
Tem-se a avaliação de eficácia das ações corretivas aplicadas como um resultado geral, onde são enviadas evidências para o time da qualidade no qual serão validadas e atualizadas no 8D, sendo assim, todas e quaisquer mudanças realizadas na célula devem ser documentadas e registradas para histórico.	

Fonte: O autor.

De forma a assegurar o fechamento do documento 8D deve ser desempenhado pelo supervisor de qualidade o reconhecimento do time e validação de todas as evidências coletadas e que estejam disponíveis para auditorias escaladas, além de contemplar a conclusão de todas as etapas do processo.

3.4 Identificação da causa raiz

A identificação da causa raiz da ocorrência reportada pelo cliente é realizada no intermeio do método 8D, estando presente após a realização das ações de contenção provisória e antes da análise de causa raiz. O diagrama de causa e efeito (apêndice C), destrinchado pelo 6M (método, mão de obra, matéria prima, máquina, meio ambiente e medição) é desenvolvido pelo time de engenharia juntamente com a qualidade com o propósito de identificar o principal problema que acarretou a ocorrência reportada pelo cliente.

Após inserção das possibilidades observadas, é identificado mediante as cores vermelha, amarela e verde, respectivamente a sua causa comprovada, potencial e não comprovada, sendo possível encontrar a causa raiz do problema por meio das perspectivas com marcação vermelha. Em seguida, se dá como concluída a análise de causa e efeito, dando seguimento as disciplinas faltantes no 8D em busca de sua finalização.

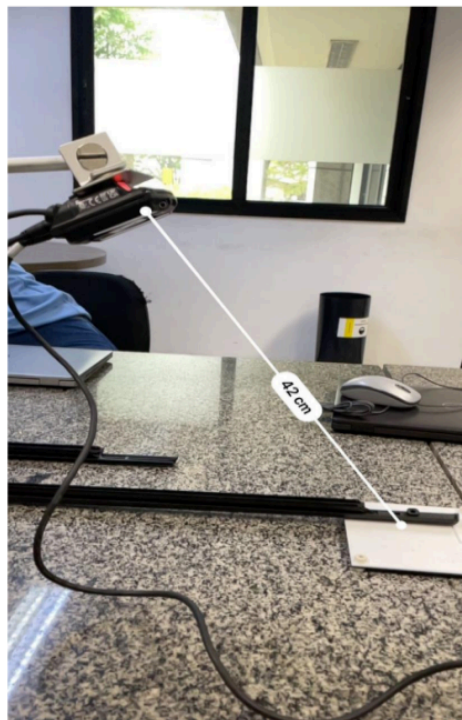
3.5 Estudo e Cotação – Sistemas de Visão

Visando a possibilidade e demanda de implementação de *Poka Yoke*, perante vasto histórico de ocorrências, viu-se a oportunidade de contatar um fornecedor já vinculado a empresa, apresentando como diferencial o conhecimento prático e teórico do processo de fabricação e suas exigências. Após contatação via e-mail e breve descrição dos

acontecimentos e necessidades da organização, o representante esteve presente para realizar uma demonstração dos produtos que poderiam atender às especificações apontadas, além de um vasto catálogo com os mais diversos produtos e suas funcionalidades. Dentre as amostras apresentadas, tem-se o Sistema de Visão com IA Integrada escolhida perante suporte de todas as necessidades encontradas na célula.

Foi realizado um teste inicial com uma amostra da pestana externa sem os componentes inseridos e uma outra que deve ser considerada como correta, utilizando o Sistema de Visão com IA Integrada para detectar os itens faltantes quando comparado à peça ideal. O modelo de sensor selecionado foi o IV3-G600MA, com iluminação externa LG6M sem filtro polarizador. O sensor foi posicionado a uma distância da peça de 420 mm em um ângulo de 45° para que fosse possível detectar toda a extremidade da peça (figura 06)

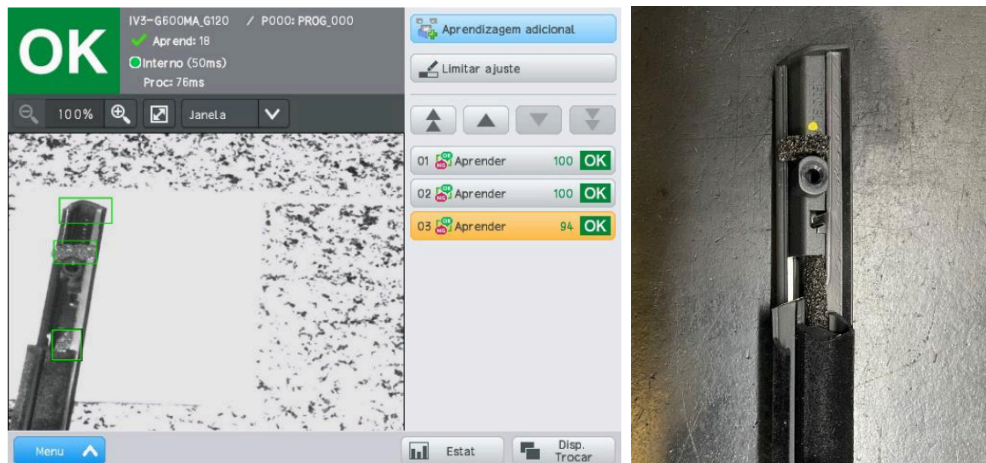
Figura 06 – IV3-G600MA



Fonte: O autor.

Inicialmente com a configuração do software interligado ao sensor realizada, foi apontada a primeira captura de informação, travando como base a peça adequada para envio (OK), com a presença do *sealer* maior e menor e o *end cap* (figura 07).

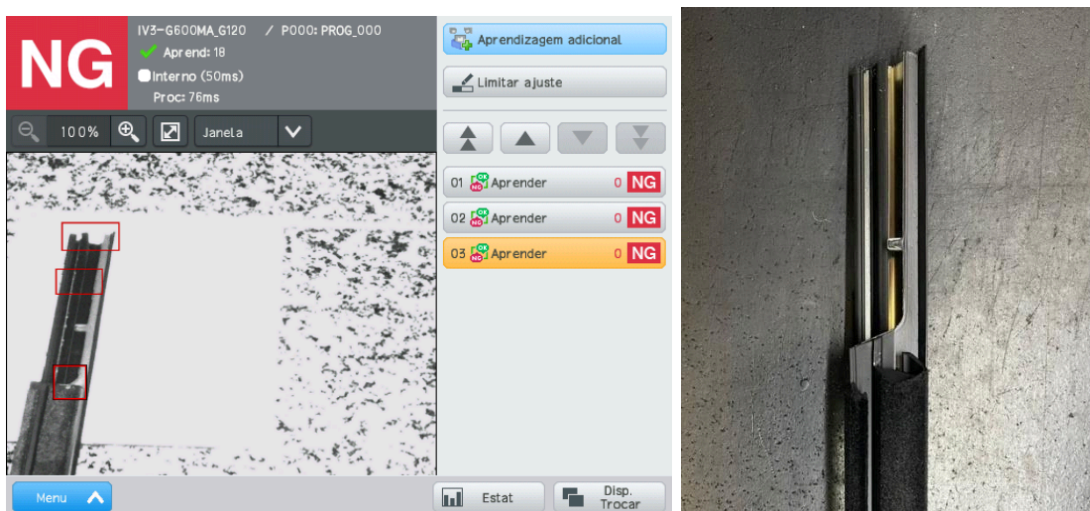
Figura 07 – Peça OK



Fonte: O autor.

Com base no padrão especificado, o sensor com inteligência artificial integrada deve apontar como não ok (NG) qualquer variação ou discrepância que apresentar na extremidade da peça. Utilizado como peça para teste, uma pestana com ausência de todos os componentes (figura 08) e outra com apenas um *sealer* faltante, para que fosse possível visualizar o funcionamento completo do sensor. Como resultado, obteve-se o NG em ambos os casos, apontando os locais que constavam divergência relacionado ao OK.

Figura 08 – Ausência de todos os componentes



Fonte: O autor.

Como mencionado no parágrafo anterior, a imagem a seguir (figura 09), propõe como peça teste apenas um *sealer* faltante, obtendo como resultado a não conformidade (NG) em

um ponto específico na extremidade da peça, onde apresenta a ausência do *sealer* menor, que deve ser posicionado de forma sobreposta ao *end cap*.

Figura 09 – ausência de *sealer*



Fonte: O autor.

Após a realização dos testes, conclui-se que o sistema de sensor com inteligência artificial integrada atende às necessidades e exigências do produto, executando com excelência o que foi proposto. Deve-se levar em consideração que o *software* pode ser programado conforme demanda e precisão de quem o vai adquirir, podendo visualizar os resultados por meio de um cabo externo conectado a um computador ou notebook. A empresa fornece também um visor acoplado ao sensor onde se tem acesso direto às configurações e dados lançados em tempo real, porém não se faz necessário caso tenha possibilidade de acesso externo. Um ponto imprescindível foi a necessidade de acionamento sonoro, alertando o operador quando uma peça estivesse não conforme, caso ele não tenha detectado. O fornecedor garantiu que com o orçamento em mãos seria possível realizar o teste sonoro *in loco*.

De forma subsequente foi solicitado um orçamento do sensor individual (apêndice D) para que fosse realizado um planejamento e execução em cima disto. Em um breve intervalo, foi disponibilizado via e-mail o orçamento solicitado.

Perante análise do setor de qualidade, engenharia e gerência de planta, foi realizado o acordo com o fornecedor, adquirindo quatro sensores integrados, apontando um investimento

de R\$103.478,52 conforme descrito na tabela. Foi desenvolvido um cálculo básico para retorno financeiro, baseando-se no custo por peça, total de peças produzidas comparando com a quantidade de peças perdidas para se ter um valor estimado perante aquisição dos sensores (quadro 04). Em paralelo a longo prazo será realizado um estudo de diminuição de alertas de qualidade vindos da montadora ocasionados pela melhoria realizada na célula.

Quadro 04 – Retorno financeiro

Payback Baseado em Peças Perdidas							
Dia	Turno/h	PC Produzida	Total H+PC	Perdas	Diferença	Custo	Total
1	8	80	640	2	638	15,18	R\$ 9.684,84
2	8	80	640	3	637	15,18	R\$ 9.669,66
3	8	80	640	2	638	15,18	R\$ 9.684,84
4	8	80	640	10	630	15,18	R\$ 9.563,40
5	8	80	640	5	635	15,18	R\$ 9.639,30
6	8	80	640	10	630	15,18	R\$ 9.563,40
7	8	80	640	20	620	15,18	R\$ 9.411,60
8	8	80	640	11	629	15,18	R\$ 9.548,22
9	8	80	640	2	638	15,18	R\$ 9.684,84
10	8	80	640	5	635	15,18	R\$ 9.639,30
11	8	80	640	9	631	15,18	R\$ 9.578,58
							R\$ 105.667,98

Fonte: O autor.

3.6 Aplicação

Conforme apontado anteriormente, concluiu-se a aquisição dos sistemas de sensores com inteligência artificial integrada e no intermeio deste processo, fez-se necessário contato logístico com a montadora que designou a ocorrência, tendo em vista a indispensabilidade de um novo formato e disposição das peças na caixa, sendo possível implementar o *Poka Yoke* e detectar as possíveis falhas presentes no produto. Com o consentimento do cliente e atualização de normas e registros, o posicionamento das peças passou a ser uma cama de polietileno, em seguida a disposição das dez peças com a parte interna para cima e de forma subsequente a cama de papelão (figura 10).

Figura 10 – Nova montagem



Fonte: O autor.

Posteriormente ao contrato de compra com o fornecedor, foi agendada uma nova visita *in loco* para realizar o posicionamento, instalação e programação dos quatro sistemas de sensores com inteligência artificial integrada. O modelo IV3-G600MA, com iluminação externa IV3-LG6M foi fixado na parte central superior da bancada, mediante a uma haste magnética, a uma distância de 440 mm da extremidade da peça, a um ângulo de 45° (figura 11).

Figura 11 - IV3-G600MA

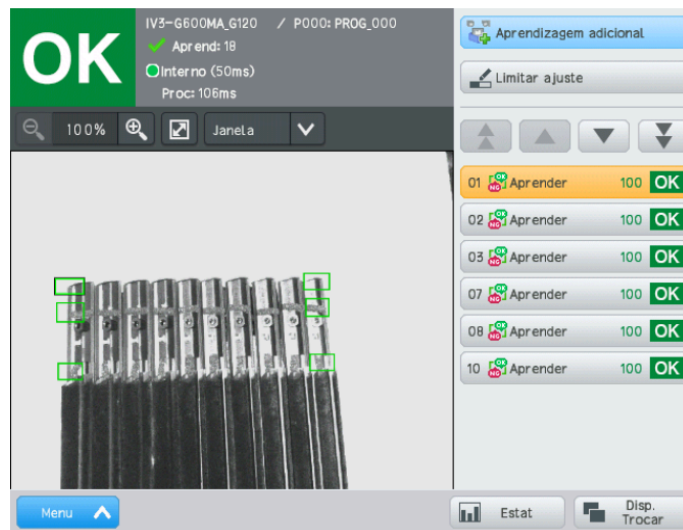


Fonte: O autor.

Finalizada a instalação, o software foi programado via cabo USB, conectado à fonte central do sensor, considerando inicialmente duas hipóteses de detecção de falha para que ao longo do período de teste fosse determinada a melhor situação para as ocorrências decorridas. Na primeira hipótese considerou-se a separação em partes de cada componente presente em

peças individuais como padrão OK (figura 12), onde divide-se em *sealer* menor, *end cap* e *sealer* maior travados nas duas extremidades do conjunto. Este método de detecção se torna mais restrito a pequenas inconstâncias, sendo assim, um mau posicionamento da peça na caixa, ou a peça um pouco mais afastada do que o padrão estabelecido, pode se tornar não conforme.

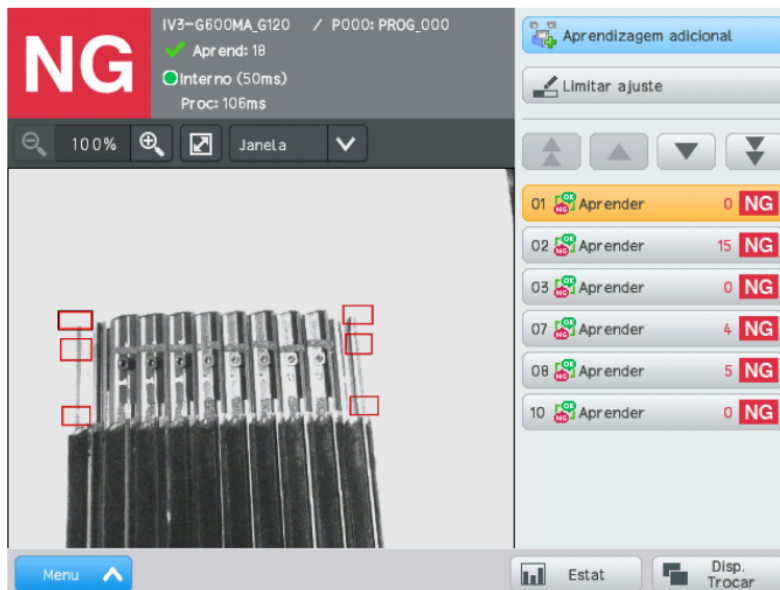
Figura 12 – Peças individuais (OK)



Fonte: O autor.

Peças posicionadas e primeira hipótese validada, foi realizado o primeiro conjunto de dados teste para prova real do funcionamento relacionado a peças não conformes. Foram inseridas duas peças nas extremidades da caixa, conforme padrão, onde não constam nenhum tipo de componente (figura 13). Conforme esperado, o teste resultou como NG perante a detecção da ausência dos *sealers* e *end cap*, estando fora do programado e previsto pelo sistema integrado. O sensor detectou as peças não conforme somente as que não constavam os componentes, deixando visível quais peças estavam fora do padrão e apresentando as demais como conformes.

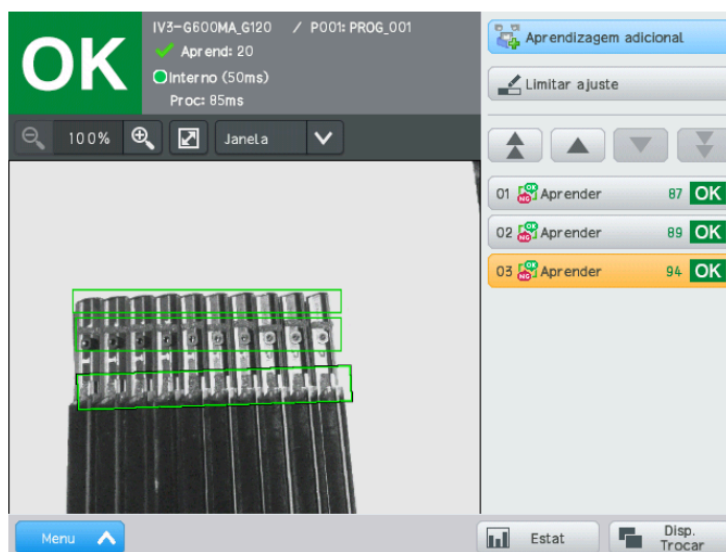
Figura 13 – Ausência de *sealers* e *end cap* (NG)



Fonte: O autor.

Na segunda hipótese considerou-se a separação enfileirada das peças, divididas em três pontos, ponta do *end cap*, *sealer* menor e *sealer* maior, contabilizando as dez peças ao invés da individualidade como padrão OK de conformidade (figura 14), apresentando uma abrangência maior, sendo avaliado positivamente a flexibilidade em relação a posicionamento e disposição das peças na caixa.

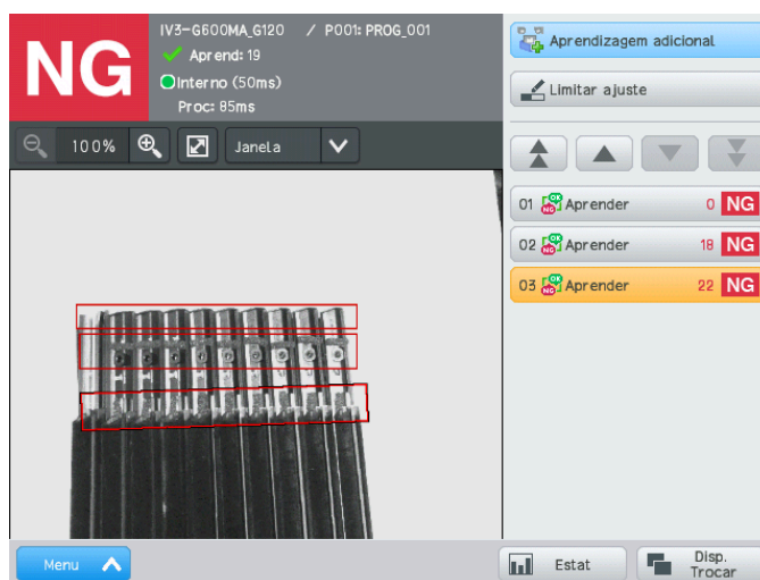
Figura 14 – Três pontos (OK)



Fonte: O autor.

Peças posicionadas e segunda hipótese validada, foi realizado o primeiro conjunto de dados teste para prova real do funcionamento relacionado a peças incompletas. Foi posicionada uma peça na extremidade direita da caixa, conforme padrão, onde não consta nenhum tipo de componente (figura 15). Conforme esperado e retorno na primeira hipótese, o teste resultou como NG perante a detecção da ausência dos *sealers* e *end cap*. O sensor detectou como peça não conforme as dez presentes na caixa, em todas as fileiras demarcadas, deixando visivelmente desalinhado a ausência apresentada, porém, com o resultado obtido, tem-se mais atenção a todas as peças presentes, assegurando total conformidade.

Figura 15 – Ausência de sealers e end cap (NG)



Fonte: O autor.

Hipóteses validadas e concluídas, realizou-se o teste sonoro das amostras não conformes. O som é emitido de forma interna no sistema de sensor integrado, podendo ser programado de forma igualitária ao software, esta rede é passada de dentro para fora sendo possível receber os sinais de alerta nas mediações do sensor, mantendo operadores, líderes, supervisores e quaisquer pessoas cientes da invalidez do processo.

Concluiu-se a pesquisa ao final do mês de setembro do ano de 2024, tendo válido todo o processo de teste, compra, instalação e implementação do sistema de visão com inteligência artificial integrada. O monitoramento segue contínuo com acompanhamento diário dos setores de qualidade e engenharia tendo em vista a necessidade de constância e dados vigentes quando comparado aos esperados pelo cliente. Na presente data, tem-se uma vasta diminuição

de alertas de qualidade vindos da montadora voltadas para falhas de ausência de *end cap* ou *sealer* e quaisquer outras relacionadas estão sendo monitoradas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na análise da implementação do sistema de visão com inteligência artificial integrada demonstraram que o processo antes falho pode ser válido e preciso em uma constante estável, gerando dados quantitativos vigentes em relação a operação de inserção. O método implementado segue sendo acompanhado e validado corriqueiramente pelos responsáveis, não havendo abertura para variações ou não cumprimento adequado do sistema. O desenvolvimento e realização das ações de 8D e definição da causa raiz do modo de falha foram excepcionalmente necessárias para a resolução da ocorrência reportada pelo cliente. Com aplicação do método de inspeção, os alertas de qualidade disparados pela montadora diminuíram relativamente no último mês, quando comparados aos históricos eventuais, onde apresentavam em torno de três alertas por mês consecutivos.

De modo a progredir com o sistema de visão aplicado na célula das pestanas externas, tem-se a oportunidade de evoluir na detecção de falha expandindo o monitoramento e controle para outras variações de defeitos, além de abranger outros processos e produtos, fazendo com que o sistema de *Poka Yoke* se torne uma adequação padrão para os projetos existentes e novos que virão.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir ao decorrer da pesquisa-ação, que os objetivos propostos inicialmente foram alcançados com excelência mediante aquisição do novo sistema de visão integrado, apontando positivamente sua eficácia ao constatar que peças com ausência de componentes na extremidade não são enviadas de forma despercebida a montadora, levando a diminuição de alertas de qualidade voltadas ao problema analisado. Observou-se a eficiência das ferramentas e metodologias aplicadas para a resolução e identificação da ocorrência reportada, tornando todo o processo mais ágil e dinâmico visando sempre a qualidade e satisfação do cliente.

REFERÊNCIAS

- CHIES, Suelen; BUNEDER, Ricardo. A aplicação da ferramenta 8D para resolução de problemas de qualidade no cliente. **Canoas**, v.7, n.2, 2019.
- CONNOR, G. Poka yoke: human-proof your process. **Journal of Industrial Maintenance e Plant Operations**. p.12-14, jun. 2006.
- DANIEL, Albina; MURBACK, Fábio. **Levantamento bibliográfico do uso das ferramentas da qualidade**. Poços de Caldas, 2014.
- GOMES, Denis. **Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações**. Ariquemes, 2010.
- HINCKLEY, C. M. Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry. **General Paper. Springer-Verlag**, v.12, p.223-230, mar. 2007.
- JUNIOR, C. C. M. F. Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde. INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção. Setembro, 2010.
- KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations of implementing the strategic initiative Industry 4.0**. Frankfurt, 2013.
- MCGEE, D. **Lean and Six Sigma: A holistic approach to process improvement**. In: ASQ-AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY CONGRESS, Proceedings. Denver, USA, nov. 2005.
- OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- STAIR, Ralph, REYNOLDS, George. **Princípios de sistemas de informação**. São Paulo: Thomson, 2006.
- VARGAS, D. L. **Resolução de problemas utilizando a metodologia 8D: estudo de caso de uma indústria do setor sucroalcooleiro**. Sergipe, 2017.
- VIDOR, Victor; SAURIN, Tarcísio. **Conceitos e características de sistemas poka yokes: uma revisão de literatura**. Florianópolis, 2011.
- WEISS, A. E. **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know**. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.
- WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

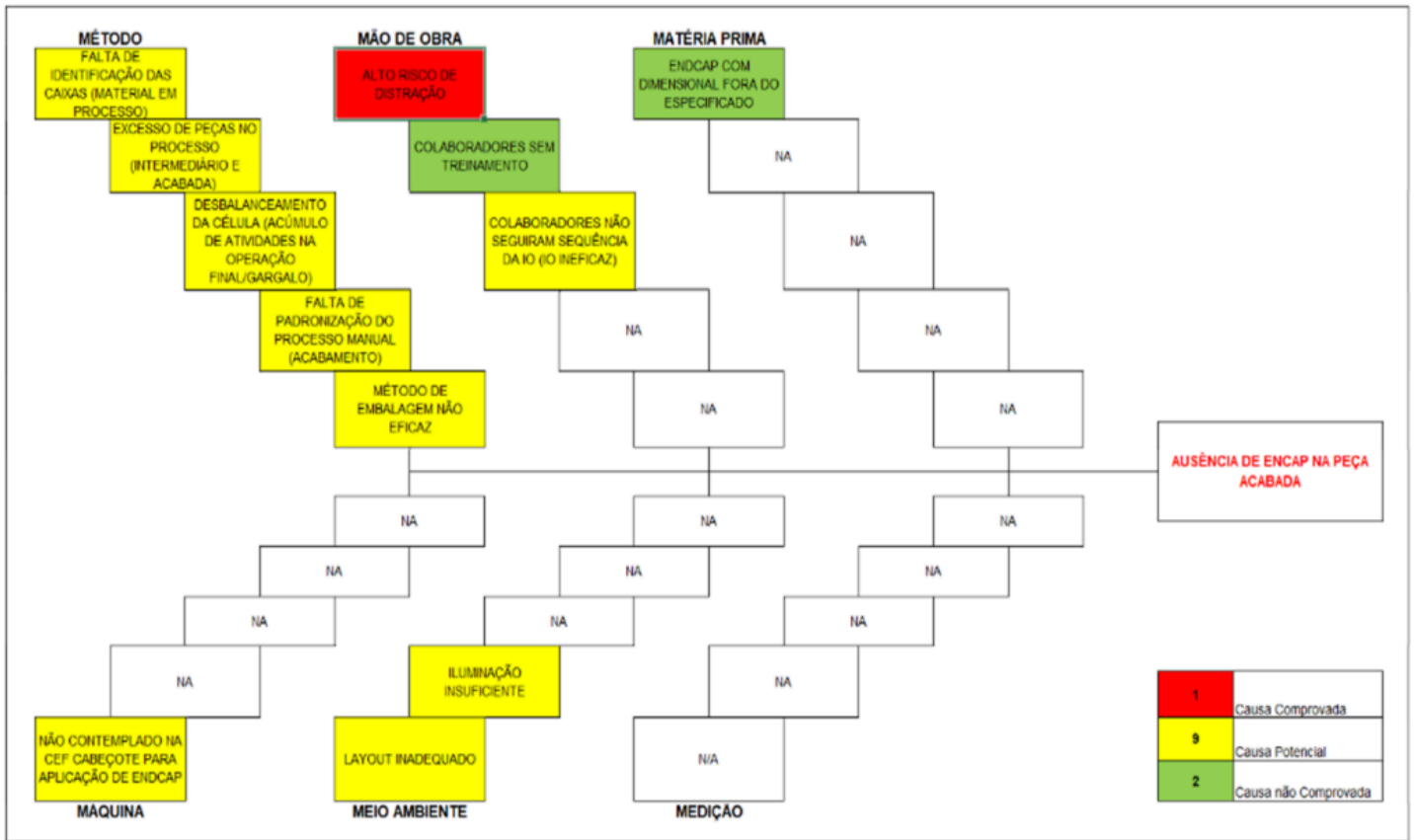
APÊNDICE A – Alerta de Qualidade Vermelho 631-24

No. AOV 631 24	Alerta de Qualidade Vermelho		
Reclamação do Cliente: (S/N)	Sim	Incidente Interno: (S/N)	Sim
* se conhecido			
PR#	NA	Data da Abertura	05/08/2024
Nome do Cliente		PR Champion	
Planta do Cliente*		No. Da Peça	
No. Incidente do Cliente.*	NA	Nome da Peça	Pestana Externa Tras Esq
Reincidente:	Não	Aberto por:	
Área de produção onde o problema foi criado.		Célula 229	
Descrição do Problema:			
<p>Identificado na linha de montagem da montadora, 11 pestanas externas traseira esquerda sem endcap</p>			
Imagem NOK:		Imagem OK:	
			
Numero de peças NOK (pcs)*	11 peças	Custo estimado do pedido (USD)*	
<p>Durante suas atividades preste muita atenção para não repetir o mesmo erro ou um erro similar. Não produza peças ruins e não permita que partes ruins escapem durante o processo de inspeção. Por favor, siga rigorosamente as instruções e padrões aprovados.</p>			
Ações adicionais (se necessário):		Responsável:	
<p>1- Realizar acompanhamento e retrabalho em borda de linha no cliente. 2- Bloquear peças em estoque. 3- Realizar inspeção visual das peças de estoque e identificar próximas caixas com spot Azul + olho padrão. 4- Acompanhar processo de fabricação para avaliação de possíveis causas e tomar ações necessárias. 5- Modificar a quantidade conforme camadas nas caixas</p>			
		Até 24H a partir do incidente	

APÊNDICE B – Modelo 8D

Formulário 8D																			
Unidade de Abertura	Status	Unidade de Status																	
US - SRI / GMA					US - EPB / TG														
US - ETC (Acesso de resposta de Emergência)					US - ETC (E) / ETC (B) / ETC (C)														
Descrição de Aque	Filóculo	Classe	Classe Lota	Classe NOR	Responsável	Unidade	Nome	Ano	Função										
Inspeção Específica de Cliente																			
Inspeção Específica de Planta																			
Inspeção Fuga em processo																			
Inspeção Fuga no Manuseio																			
Outros Inspeção Fuga em trânsito																			
Outros																			
Subcategoria: Aberto de Qualidade		TC de Aberto																	
US - AVALIAÇÃO DA RAG CORRIGITIVA					US - AVALIAÇÃO DA RAG CORRIGITIVA - Geométrica - Lubrific														
Unidade de Manutenção					Geométrica	Unidade de Aque	Responsável	Unidade	Status	Validação	Unidade	Status							
Grupos de Manutenção (Interne ou Externa)													1.						
Classe													2.						
Por que não se resolveu?													3.						
Por que não é um problema?													4.						
Gravidade													5.						
Classe de risco													6.						
Gravidade													7.						
Gravidade para o cliente													8.						
Gravidade para o usuário													9.						
US - ANÁLISE DE CAUSAS (Método 8D no verso)					Por que o problema não se resolveu?			Por que o problema não se resolveu?											
Causas para Geométrica					Causas para Não Lubrific			Causas para Solução											
US - AVALIAÇÃO DA RAG CORRIGITIVA - RESULTADOS					US - AVALIAÇÃO DA RAG CORRIGITIVA - RESULTADOS														
1	Unidade de Aque para Geométrica	Responsável	Unidade	Status	1	Unidade de Aque para Não Lubrific	Responsável	Ano	Unidade	Status									
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8	Unidade de Aque para Não Lubrific	Responsável	Unidade	Status	Unidade de Aque para Não Lubrific	Responsável	Ano	Unidade	Status										
9																			
10																			
11																			
12	Unidade de Aque para Não Lubrific	Responsável	Unidade	Status	Unidade de Aque para Não Lubrific	Responsável	Ano	Unidade	Status										
13																			
14																			
US - AVALIAÇÃO DA RAG CORRIGITIVA - RESULTADOS GERAIS					US - AVALIAÇÃO DA RAG CORRIGITIVA - RESULTADOS GERAIS														
Documento					Responsável	Unidade	Status	Unidade de Aque para Não Lubrific			Responsável	Ano	Unidade	Status					
<input type="checkbox"/> Fluxo de Processo / FTP / FTP O																			
<input type="checkbox"/> FMEA																			
<input type="checkbox"/> Plano de Inspeção / Plano de Controle																			
<input type="checkbox"/> Instrução Operador / Instrução Embalagem / Mapa Contaminção																			
<input type="checkbox"/> Treinamento Operador / Manuais de Polivalência																			
<input type="checkbox"/> PokaYoke																			
<input type="checkbox"/> Auxílios de Processo ou Produto ou Escalonada																			
<input type="checkbox"/> Lições Aprendidas																			
<input type="checkbox"/> Aspectos e Impactos Ambientais																			
<input type="checkbox"/> Abordagens																			
<input type="checkbox"/> Outros																			
US - AVALIAÇÃO DA RAG CORRIGITIVA - RESULTADOS GERAIS - Análise estatística					US - AVALIAÇÃO DA RAG CORRIGITIVA - RESULTADOS GERAIS - Análise estatística														
Unidade de Aque para Não Lubrific					Responsável	Ano	Unidade	Status	Unidade de Aque para Não Lubrific			Responsável	Ano	Unidade	Status				
RECOMENDACIONES: a) elaborar e implementar os documentos de controle e coordenação de todos os tipos de processo;																			
Responsável de Qualidade da Planta					Assinatura (nome ou digital)					Unidade					Status				
Se Statutor "Desator" estiver																			

APÊNDICE C – Diagrama de Causa e Efeito



APÊNDICE D - Orçamento

Item	Cód. Prod.	Descrição	QTD	Preço Unit Líquido	Preço Total Líquido	Preço Unit Bruto S/ IPI	Preço Total Bruto S/ IPI	Entrega
01	IV3-G600MA	CABECA SENSORA MONOCROMATICA COMPACTA NCM: 90314990 ICMS: 4% = 413,94 ICMS-ST: 0% = 0,00 IPI: 3.25% = 325,74	1	8.720,00	8.720,00	10.022,76	10.022,76	Pronta Entrega
02	OP-88649	CABO DE CABECA SENSORA IV3 5 M NCM: 85444200 ICMS: 4% = 34,30 ICMS-ST: 18% = 146,40 IPI: 5% = 40,83	1	710,00	710,00	816,67	816,67	Pronta Entrega
03	IV3-G120	AMPLIFICADOR PARA SENSOR COM PACTO NCM: 90314990 ICMS: 4% = 505,55 ICMS-ST: 0% = 0,00 IPI: 3.25% = 397,84	1	10.650,00	10.650,00	12.241,09	12.241,09	Pronta Entrega
04	IV3-LG6M	ILUMINACAO PARA IV3-G500CA NCM: 94054900 ICMS: 4% = 122,44 ICMS-ST: 18% = 522,62 IPI: 9.75% = 271,94	1	2.420,00	2.420,00	2.789,11	2.789,11	Pronta Entrega

*Sempre consulte o engenheiro de vendas responsável em caso de urgência para possível remanejamento de estoque.

Cond. Pagamento: 60 DIAS - sujeito a análise de crédito.
Cond. de Entrega: (X) CIF () FOB
Finalidade do material: USO E CONSUMO
Validade do Orçamento: 29/11/2024

Total Mercadoria Líquido	22.500,00
Frete	0,00
PIS	409,10
COFINS	1.884,30
ICMS	1.076,23
Total Bruto (S/ IPI)	25.869,63
IPI	1.036,35