

Submitted: Feb 17<sup>th</sup>, 2025

Approved: Feb 10<sup>th</sup>, 2025

## **Prevenção de falhas em sistemas automatizados de prensas na indústria automotiva**

## **Failure prevention in automated press systems in the automotive industry**

## **Prevención de fallos en los sistemas automatizados de prensas de la industria del automóvil**

**Rafael de Souza de Paula**

Bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

E-mail: rafael.souza.depaula@hotmail.com

**Camila Puhl**

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

E-mail: camila.puhl@unifatecpr.com.br

### **RESUMO**

Estudo realizado sobre melhoria desenvolvida e aplicada em um sistema automatizado de prensas Hyundai ROTEM, de peças automotivas, utilizando o software Siemens STEP7. O projeto nasceu com o objetivo de mitigar falhas durante o processo produtivo robotizado, evitando a interrupção no fluxo produtivo, aumentando a confiabilidade operacional e a segurança dos equipamentos envolvidos. O desenvolvimento consistiu em: (a) análise inicial do problema e revisão técnica; (b) identificação de soluções tecnológicas disponíveis; (c) criação de uma lógica programável no STEP7; (d) testes em um ambiente controlado; e (e) análise dos resultados, com sugestões de melhorias para futuras padronizações e capitalizações em diversas áreas automatizadas de estamparias de peças em geral.

**Palavras-chave:** robótica industrial, automação industrial, indústria 4.0, mitigação de falhas, estamparia automotiva, STEP7, confiabilidade, eficiência operacional, segurança.

### **ABSTRACT**

This study addresses the development and implementation of improvements in an automated Hyundai ROTEM press system for automotive parts, utilizing Siemens STEP7 software. The project was initiated with the objective of mitigating failures during the robotic production process, preventing workflow interruptions, increasing operational reliability, and enhancing the safety of the equipment involved. The development process included: (a) initial problem analysis and technical review; (b) identification of available technological solutions; (c) creation of programmable logic in STEP7; (d) testing in a

controlled environment; and (e) analysis of results with suggestions for standardization and scalability across various automated stamping areas.

**Keywords:** industrial robotics, industrial automation, Industry 4.0, failure mitigation, automotive stamping, STEP7, reliability, operational efficiency, safety.

## **RESUMEN**

Estudio realizado sobre la mejora desarrollada y aplicada a un sistema automatizado de prensa de piezas de automoción ROTEM de Hyundai, utilizando el software STEP7 de Siemens. El proyecto nació con el objetivo de mitigar fallos durante el proceso productivo robotizado, evitando interrupciones en el flujo de producción, aumentando la fiabilidad operativa y la seguridad de los equipos implicados. El desarrollo consistió en: (a) análisis inicial del problema y revisión técnica; (b) identificación de soluciones tecnológicas disponibles; (c) creación de una lógica programable en STEP7; (d) pruebas en ambiente controlado; y (e) análisis de los resultados, con sugerencias de mejoras para futura estandarización y capitalización en diversas áreas automatizadas de estampación de piezas en general.

**Palabras clave:** robótica industrial, automatización industrial, industria 4.0, mitigación de fallos, estampación de automóviles, STEP7, fiabilidad, eficiencia operativa, seguridad.

## **1. INTRODUÇÃO**

Os processos industriais de estamparia no setor automotivo estão cada vez mais integrados à automação, aproveitando a alta repetibilidade e a precisão exigidas pela produção em larga escala. A automação no setor de estamparia não só otimiza a capacidade de produção, mas também assegura elevados padrões de qualidade e redução de variabilidade nos processos. Contudo, apesar dos avanços tecnológicos, podem surgir falhas não previstas em projeto, como o caso do depósito duplo de peças, que foi identificado neste estudo. Esse tipo de falha representa um desafio crítico, pois pode resultar em danos consideráveis aos equipamentos, além de causar interrupções operacionais significativas, afetando negativamente o fluxo produtivo de uma ou mais fábricas dependentes da produção das peças, como observado no caso estudado.

A dependência de métodos manuais em processos críticos, embora ainda prevalente em algumas operações, tem se mostrado limitada e sujeita a falhas, como erros humanos, imprecisões nos ajustes de máquinas e outros problemas operacionais. Esses erros abrem margens para falhas recorrentes que afetam a confiabilidade do sistema e aumentam o custo operacional. A automação, através da integração de sistemas de controle, sensores e robôs industriais, oferece uma solução eficiente para reduzir essas

falhas, permitindo a supervisão e o controle dos processos em tempo real. A aplicação do software Siemens STEP7, neste contexto, surge como uma ferramenta essencial para o controle e monitoramento das prensas automatizadas. O STEP7 permite a criação de lógicas programáveis robustas e adaptáveis, garantindo a detecção precoce de falhas e a implementação de ações corretivas automáticas, o que é fundamental para minimizar a ocorrência de falhas operacionais.

O trabalho foi realizado sob o desenvolvimento, implementação e validação de alterações na lógica do software STEP7, responsável pelo controle de uma linha de prensas automatizadas. Essas alterações foram projetadas para eliminar a falha de depósito duplo de peças, identificada durante um lote de produção, onde causou grandes prejuízos operacionais e financeiros. A melhoria trouxe mais confiabilidade e segurança ao processo, gerando impacto positivo em diversos indicadores da planta produtiva. Criada para identificar e eliminar as causas dessa falha. O trabalho foi realizado de forma transversal, envolvendo equipes de diferentes áreas e competências para aproveitar todas as ferramentas disponíveis nos processos de fabricação e manutenção. A iniciativa começou após uma parada significativa na fábrica, devido à quebra de um molde de estampagem. Utilizando as metodologias 5W2H e a análise de Ishikawa, as falhas foram identificadas, e um plano de ação foi elaborado a partir dessas análises. Identificar e prevenir falhas em sistemas automatizados é essencial para assegurar confiabilidade, produtividade e minimizar custos na indústria automotiva. Soluções avançadas de automação permitem maior precisão, reduzindo riscos operacionais e promovendo segurança de processo.

Este estudo responde à crescente demanda por tecnologias confiáveis que combinem eficiência operacional e conformidade com padrões de qualidade. A falha de depósito duplo é um desvio grave no processo, em que duas peças são depositadas pelo robô, uma sobre a outra no molde de estampagem. Isso pode causar a quebra do molde após o golpe da prensa, resultando em grandes paradas na produção, prejuízos materiais e financeiros significativos. Além disso, as medidas necessárias tomadas após essa falha representam um grande risco para a segurança dos operadores envolvidos no processo produtivo e nas manutenções necessárias.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A Indústria 4.0 representa uma revolução nos processos produtivos ao integrar tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA) e sistemas ciberfísicos, ao ambiente industrial. Essa abordagem permite a criação de sistemas altamente automatizados e conectados, proporcionando maior eficiência, flexibilidade e confiabilidade aos processos produtivos. No contexto da indústria automotiva, a automação industrial é essencial para atender à alta demanda por precisão, padronização e segurança. Sistemas automatizados de prensas, como os utilizados em processos de estamparia, exemplificam o uso de robótica industrial e controle automatizado para melhorar a produtividade e minimizar falhas. Segundo Machado e Silva (2021), a automação não apenas reduz os custos operacionais, mas também contribui para a criação de ambientes mais seguros para os trabalhadores.

A confiabilidade é um dos principais objetivos na automação industrial, especialmente em sistemas críticos, como os de prensas automatizadas. Normas e padrões internacionais, como a ISO 13849-1 e a IEC 61508, enfatizam a necessidade de desenvolver sistemas de controle que assegurem alta disponibilidade e prevenção de falhas catastróficas. No contexto deste estudo, a falha de duplo depósito exemplifica um problema que compromete tanto a confiabilidade quanto a segurança do processo produtivo.

Segundo Leite (2012), soluções preventivas devem incluir análises aprofundadas das causas-raiz, além da implementação de controles robustos capazes de mitigar variáveis críticas que afetam a operação. As ferramentas de diagnóstico e planejamento aplicadas foram o 5W2H e o diagrama de Ishikawa, que é amplamente reconhecida na identificação e análise de problemas industriais. Segundo Gil (2008), essas ferramentas permitem uma abordagem estruturada para compreender os fatores que contribuem para falhas operacionais. A metodologia 5W2H é usada para descrever o problema de forma clara e objetiva, respondendo a questões essenciais sobre o "quê", "quem", "onde", "quando", "por quê", "como" e "quanto". Por outro lado, o diagrama de Ishikawa facilita a identificação de causas potenciais, categorizando-as em fatores como mão de obra, máquinas, métodos, materiais e meio ambiente. No caso deste estudo, essas ferramentas foram fundamentais para diagnosticar as causas da falha de duplo depósito e orientar o

desenvolvimento de soluções técnicas, como a revisão de sensores, válvulas de vácuo e lógicas programáveis no software Siemens STEP7.

O Siemens STEP7 é uma ferramenta de programação amplamente utilizada em sistemas de automação industrial, para criar lógicas de controle robustas e personalizáveis. Segundo o manual da Siemens (2024), a plataforma oferece recursos avançados para monitoramento, diagnóstico e controle de processos automatizados. Entre suas funcionalidades mais relevantes estão a capacidade de implementar lógicas condicionais, realizar diagnósticos em tempo real e integrar-se com dispositivos de campo, como sensores e atuadores. A implementação de lógicas preventivas no STEP7 permite não apenas detectar falhas potenciais, mas também impedir a continuidade de operações até que as condições seguras sejam restabelecidas. Essa característica é crucial para mitigar eventos como o duplo depósito, garantindo a proteção dos equipamentos e a segurança dos operadores envolvidos no processo. A segurança em sistemas automatizados é regida por normas como a NR-12, que estabelece diretrizes para garantir a segurança do trabalho em máquinas e equipamentos no Brasil (BRASIL, 2015). Segundo a NR-12, é obrigatório que máquinas automatizadas possuam sistemas de proteção que previnam acidentes e garantam a integridade dos trabalhadores.

No estudo em questão, a implementação de lógicas programáveis e melhorias nos dispositivos de sensoriamento não apenas mitiga falhas operacionais, mas também contribui para a conformidade com essas normas, criando um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente. A abordagem transversal adotada neste estudo reforça a importância da colaboração entre diferentes áreas, como engenharia, manutenção, qualidade e produção. Segundo Pereira e Gomes (2022), a integração de equipes multidisciplinares permite a criação de soluções mais robustas e adaptáveis, pois combina conhecimentos especializados com a experiência prática do chão de fábrica. Essa colaboração foi essencial para a identificação de soluções inovadoras e para a validação das melhorias implementadas, garantindo que os resultados atendessem às necessidades específicas do ambiente produtivo.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo está alinhada com os princípios da **pesquisa-ação**, uma abordagem participativa e colaborativa amplamente explorada. Segundo o

autor, a pesquisa-ação é caracterizada pela interação contínua entre o pesquisador e os participantes envolvidos no processo, promovendo uma relação dialética entre teoria e prática. A pesquisa-ação é especialmente indicada em situações em que se busca a resolução de problemas concretos, associados à promoção de mudanças e melhorias nos contextos investigados (Gil,2008). Essa metodologia não se limita a um diagnóstico das causas de um problema; ela também propõe intervenções práticas e avalia seus resultados de forma contínua, permitindo ajustes em tempo real.

A pesquisa-ação, de acordo com Gil (2008) apresenta quatro características fundamentais:

- a) **caráter participativo:** há um envolvimento ativo de todos os participantes no processo, incluindo operadores, técnicos, ferramenteiros, engenheiros e gestores. No caso do estudo realizado, isso permitiu que o conhecimento prático dos profissionais do chão de fábrica contribuísse diretamente para o desenvolvimento das soluções;
- b) **abordagem colaborativa:** o trabalho transversal foi essencial para integrar diferentes áreas da planta industrial, como manutenção, ferramentaria, qualidade e engenharia, na implementação das melhorias;
- c) **flexibilidade:** as intervenções foram testadas e ajustadas de acordo com os resultados observados no chão de fábrica, com validação e ajustes monitorados;
- d) **orientação para a solução de problemas:** o foco esteve diretamente na mitigação da falha de duplo depósito e as variáveis responsáveis pela ocorrência da mesma, por meio de ações práticas fundamentadas em ferramentas de gestão e automação.

A metodologia adotada neste estudo foi estruturada em cinco etapas principais, seguindo uma abordagem sistemática para a identificação, análise e solução das falhas nos sistemas automatizados de prensas. O trabalho caracterizou-se como uma **pesquisa-ação**, sendo conduzido de maneira participativa transversal, com envolvimento ativo das equipes técnicas e operacionais da planta industrial durante todas as fases do projeto. Essa abordagem possibilitou que as soluções fossem validadas e ajustadas em tempo real, considerando a dinâmica e os desafios específicos do ambiente produtivo.

A primeira etapa consistiu na análise detalhada das falhas ocorridas, com foco na falha crítica de duplo depósito de peças. Foram revisados registros históricos de manutenção, relatórios de produção e incidentes anteriores, as ferramentas utilizadas foram a: Metodologia 5W2H para descrever e detalhar o problema, abrangendo suas

causas, efeitos e impactos no processo produtivo; e análise de causa raiz por meio do diagrama de Ishikawa, para identificar os fatores críticos que contribuíram para a ocorrência da falha.

Após a análise inicial, realizou-se um levantamento das soluções tecnológicas disponíveis para mitigação de falhas, com foco em automação e controle através do software Siemens STEP7. Foi elaborado um plano de ação detalhado, contemplando soluções de curto e longo prazo, com base nos resultados obtidos nas análises da etapa anterior. As ações foram priorizadas de acordo com sua viabilidade técnica e impacto esperado.

As equipes técnicas participaram ativamente na elaboração das soluções, garantindo que o plano de ação estivesse alinhado às necessidades do chão de fábrica. Nesta etapa, foram desenvolvidas e implementadas as melhorias técnicas identificadas, com destaque para: Alterações das lógicas programáveis no software Siemens STEP7, incorporando verificações preventivas e bloqueios de operação em caso de falhas detectadas; Ajuste, calibração e revisão da periodicidade do plano preventivo dos sensores de presença das ferramentas de estampagem e válvulas de vácuo utilizados pelos robôs, com atualização de seus procedimentos. A execução foi realizada em conjunto com os operadores, que contribuíram com feedbacks diários para ajustes e melhorias durante a aplicação.

As melhorias desenvolvidas foram testadas em chão de fábrica. Durante os testes, os seguintes indicadores foram monitorados: taxa de falhas no sistema, frequência de ocorrência do duplo depósito, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo de parada da produção relacionado a falhas. Com base nos resultados dos testes, foram realizados ajustes na lógica programável e nos equipamentos, garantindo a robustez das soluções implementadas. Após a implementação, os resultados foram validados em operação real, por meio de um monitoramento contínuo dos indicadores de desempenho do processo produtivo.

As boas práticas e os resultados obtidos foram documentados e compartilhados como benchmark para replicação em outras plantas industriais com processos similares, promovendo padronização e ampliação do impacto positivo.

Todas as etapas foram realizadas de forma integrada, com o envolvimento de equipes multidisciplinares de diferentes áreas, incluindo manutenção, ferramentaria, qualidade, engenharia e produção. Segundo Gil (2008), esse tipo de abordagem “não

apenas investiga e interpreta a realidade, mas também a transforma” (p. 53). A **pesquisa-ação** garantiu que os participantes tivessem um papel ativo na identificação das falhas, no desenvolvimento das soluções e na validação dos resultados.

Portanto, a **pesquisa-ação** demonstrou ser a abordagem mais adequada para enfrentar os desafios identificados neste estudo, permitindo que as melhorias implementadas não apenas resolvessem problemas específicos, mas também contribuíssem para a padronização de boas práticas em outras plantas industriais.

#### **4. DESENVOLVIMENTO**

Um evento crítico foi identificado quando duas peças foram depositadas sobrepostas no molde de estampagem, causando sua quebra após o golpe da prensa. Esse incidente destacou vulnerabilidades no sistema de controle e nos equipamentos, resultando em uma falha que comprometeu a produção e gerou impactos severos. Conforme pode se observar na figura 1.

Figura 1 – Falha de duplo depósito.



Fonte: *Fábrica X*, 2024.

A quebra do molde levou a uma paralisação total da linha de produção, gerando prejuízos materiais devido à reposição de componentes danificados, além de custos financeiros com a interrupção das operações. Essa parada revelou a necessidade de uma abordagem integrada para evitar falhas futuras e mitigar os riscos associados a incidentes similares.

#### 4.1 ANÁLISE 5W2H E ANÁLISE ISHIKAWA

Para investigar as causas do problema, as ferramentas 5W2H e Ishikawa foram utilizadas, permitindo um mapeamento detalhado das variáveis críticas envolvidas. Entre os fatores identificados estavam:

- a) falhas nos sensores de presença de peças;
- b) desajustes nas válvulas de vácuo utilizadas pelos robôs;
- c) falhas no planejamento da periodicidade das preventivas;
- d) falha no código de controle do software, não abrangia todas as variáveis possíveis do processo.

A figura 2 apresenta o plano de ação 5W2H, utilizado para organizar as atividades, o plano detalha ações como **treinamento operacional**, **lógica de proteção das ferramentas** e **revisão de planos de manutenção**, todas voltadas para garantir confiabilidade e evitar problemas, como a quebra de ferramentas.

As ações serão realizadas no setor **TGSE2**, na **ferramentaria** e na **manutenção**, com prazos fixados. As atividades envolvem a revisão de pontos críticos, desenvolvimento de lógica validada durante a produção e ajustes em planos de manutenção. Todas as ações listadas tiveram custo zero (R\$0,00), reforçando a eficiência na gestão de recursos.

Figura 2 – Gráfico 5W2H.

5W2H						
O que será feito?	Por que será feito?	Onde será feito?	Quando será feito?	Quem fará a ação?	Como será feita a ação?	Quanto vai custar a ação?
TREINAMENTO OPERACIONAL	CONFIABILIDADE	TGSE2	05/02/2024	RAFAEL / EQUIPE FABRICAÇÃO E ENGENHARIA	REVISÃO DE PONTOS CRÍTICOS	R\$0,00
LÓGICA DE PROTEÇÃO DAS FERRAMENTAS	EVITAR QUEBRA DE FERRAMENTA	TGSE2	05/02/2024	RAFAEL / ENGENHARIA	DESENVOLVIDO LÓGICA E VALIDADO DURANTE PRODUÇÃO	R\$0,00
REVISÃO PLANO DE MANUTENÇÃO / AJUSTE ACIONAMENTO SENSORES	CONFIABILIDADE	FERRAMENTARIA	05/02/2024	RAFAEL / FERRAMENTARIA	REVISÃO DO PLANO PMP	R\$0,00
REVISÃO PLANO DE MANUTENÇÃO VÁLVULAS DE VÁCUO	CONFIABILIDADE	MANUTENÇÃO	05/02/2024	EQUIPE MANUTENÇÃO MECÂNICA	REVISÃO DO PLANO PMP	R\$0,00

Fonte: Autor, 2024.

A figura 3 é um diagrama de Ishikawa, ou diagrama de causa e efeito, utilizado para identificar as possíveis causas da "Falha de Depósito Duplo". Com o diagrama foi possível organizar as causas em seis categorias principais: máquina, método, material, mão de obra, meio ambiente e gestão. Na categoria "Máquina", estão listadas causas como

sensores descalibrados, problemas no atuador e falhas no controle. "Método" inclui sequência incorreta e procedimentos inadequados. A categoria "Material" aponta peças defeituosas e materiais deformados. Já em "Mão de Obra", destacam-se treinamento insuficiente e erros por distração. No "Meio Ambiente", as possíveis causas incluem temperaturas extremas e vibrações. Por fim, a categoria "Gestão" menciona falta de manutenção e monitoramento insuficiente. Esse tipo de diagrama organiza as possíveis causas do problema central de maneira visual e estruturada, facilitando a análise e a priorização de ações corretivas.



Fonte: Autor, 2024.

Essas ferramentas foram essenciais para direcionar as próximas etapas do plano de melhoria. Com base nas análises realizadas, foi elaborado um plano de ação detalhado, com foco em mitigar as causas identificadas e aumentar a robustez do sistema. O plano incluiu soluções técnicas e melhorias em procedimentos operacionais, alinhando as ações aos objetivos de segurança, qualidade e confiabilidade. A execução do plano envolveu uma abordagem colaborativa, integrando equipes de manutenção, ferramentaria, fabricação, qualidade e engenharia. Essa colaboração transversal permitiu o aproveitamento de conhecimentos especializados e garantiu a implementação eficaz das soluções propostas.

Para alcançar a erradicação das variáveis identificadas, foram implantadas ações implementares que incluíram: revisão e redução da periodicidade do plano de manutenção preventiva; e padronização do acionamento e calibração dos sensores de presença de peças nos moldes, listadas na figura 4.

Figura 4 – Dispositivos de acionamento de sensores.



Fonte: Autor, 2024.

Na figura 5 observamos uma válvula pneumática de controle de vácuo, padrão utilizado pelos robôs, a mesma e demais similares foram submetidas a uma atualização do procedimento de manutenção preventiva e calibração periódica.

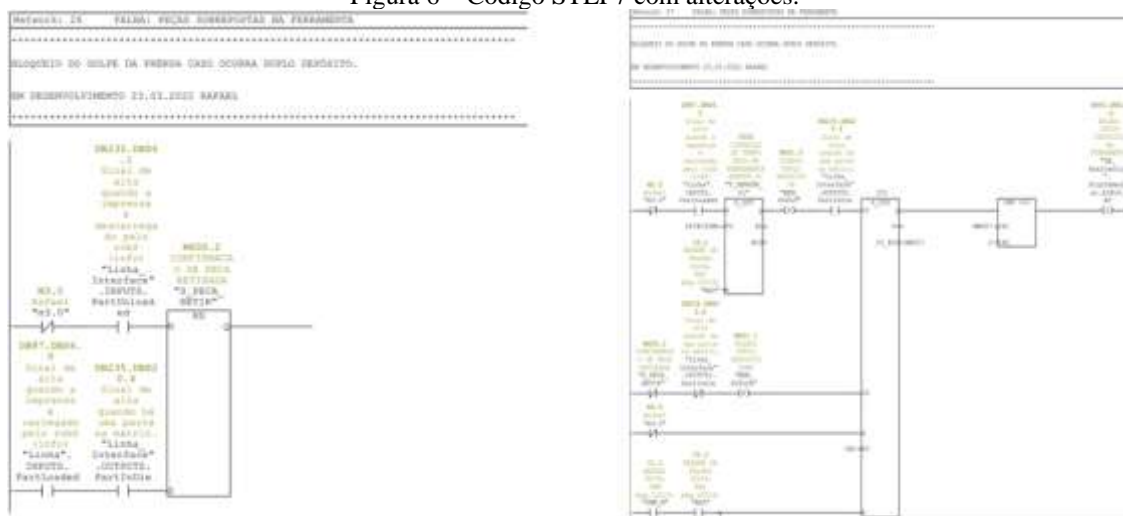
Figura 5 – Válvula de vácuo.



Fonte: Autor, 2024.

Alterações no software STEP7 incluíram lógicas mais robustas, bloqueando o golpe da prensa em caso de falha e garantindo maior confiabilidade ao controle do processo (figura 6).

Figura 6 – Código STEP7 com alterações.



Fonte: Autor, 2024.

A aplicação das ferramentas 5W2H e Ishikawa foram fundamentais para a identificação estruturada das causas da falha de depósito duplo, permitindo uma análise precisa dos fatores críticos envolvidos. Com base nesse diagnóstico, um plano de ação detalhado foi implementado, resultando em melhorias significativas na confiabilidade do processo produtivo.

A integração das equipes de manutenção, ferramentaria, fabricação, qualidade e engenharia garantiu uma abordagem colaborativa e eficaz na execução das soluções propostas. A revisão dos planos de manutenção, a padronização da calibração dos sensores e a atualização das lógicas de controle no software STEP7 demonstraram o compromisso com a mitigação de riscos e o aprimoramento contínuo do sistema.

Além disso, a implementação das ações sem impacto financeiro reforça a eficiência na gestão de recursos, maximizando a relação custo-benefício. Como resultado, o processo tornou-se mais seguro, confiável e alinhado às melhores práticas industriais, estabelecendo um modelo replicável para outras unidades com desafios similares.

## 5. RESULTADOS OBSERVADOS

A implementação das soluções descritas resultou em diversos benefícios importantes, que podem ser destacados a seguir: mitigação da falha de duplo depósito, aumentando a segurança e a confiabilidade do processo produtivo, *cost avoidance* relacionado à fabricação e ferramentaria, padronizações e atualizações de procedimentos para atividades de manutenção, prevenção de paradas de fábrica, garantindo a

continuidade operacional, ganhos em segurança, ao evitar a manipulação desnecessária de chapas de metal.


A abordagem transversal e o uso de ferramentas estruturadas foram decisivos para o sucesso do projeto. O impacto positivo foi altamente relevante, permitindo sua capitalização e implantação em outras plantas que possuem o mesmo processo produtivo.

## **6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES**

A implementação das soluções descritas resultou em diversos benefícios importantes, que podem ser destacados a seguir: mitigação da falha de duplo depósito, aumentando a segurança e a confiabilidade do processo produtivo, *cost avoidance* relacionado à fabricação e ferramentaria, padronizações e atualizações de procedimentos para atividades de manutenção, prevenção de paradas de fábrica, garantindo a continuidade operacional, ganhos em segurança, ao evitar a manipulação desnecessária de chapas de metal.

A abordagem transversal e o uso de ferramentas estruturadas foram decisivos para o sucesso do projeto. O impacto positivo foi altamente relevante, permitindo sua capitalização e implantação em outras plantas que possuem o mesmo processo produtivo.

Dentre os fatores observados como resultado desta pesquisa, como anteriormente citados, destacam-se o foco na mitigação de riscos, a redução de custos e aumento da eficiência, o fortalecimento da gestão da manutenção, a garantia de continuidade operacional, com a melhoria implementada, foi possível observar uma maior segurança e confiabilidade no processo produtivo, a partir do foco na mitigação de riscos. A solução adotada mostrou-se eficaz na eliminação da falha crítica de duplo depósito, promovendo maior segurança e confiabilidade ao processo produtivo. Além disso, a aplicação do conceito de *cost avoidance* permitiu minimizar gastos com fabricação e ferramentaria, evidenciando a eficiência econômica do projeto. A padronização e atualização dos procedimentos de manutenção representaram um avanço na organização das atividades operacionais, reduzindo variabilidades e otimizando recursos. A eliminação de paradas não programadas impactou diretamente a produtividade e a capacidade de atender à demanda de forma contínua, enquanto a redução da manipulação desnecessária de chapas de metal reforçou o compromisso com a segurança dos colaboradores, criando um ambiente de trabalho mais saudável. A abordagem transversal e o uso de ferramentas



estruturadas garantiram a robustez da metodologia, tornando-a replicável em outras plantas industriais e ampliando seu impacto positivo. Além de solucionar desafios operacionais, o projeto se destacou como uma solução escalável, contribuindo para a padronização dos processos produtivos, podendo ser capitalizada em diferentes unidades que apresentam os mesmos processos produtivos. Dessa forma, as boas práticas desenvolvidas foram compartilhadas como *benchmark*, permitindo sua aplicação em maior escala e fortalecendo a estratégia industrial da Fábrica X.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. NR 12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2015.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LEITE, Ricardo Miranda. **Gestão da Qualidade e Melhoria Contínua.** São Paulo: Editora Atlas, 2012.

MACHADO, J. L.; SILVA, R. A. **Automação de Processos Industriais.** Local de Edição: Editora Automação, 2021.

NISE, Norman S. **Engenharia de Sistemas de Controle.** Porto Alegre: Editora Bookman, 2015.

PEREIRA, F.; GOMES, T. **Segurança em Linhas Robotizadas.** Revista de Engenharia Industrial, 2022.

SIEMENS. **STEP7 Programming Manual.** Siemens AG, 2024.