

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**PROPOSTA DE MELHORIA NA IDENTIFICAÇÃO DE
FALHAS NO CIRCUITO DE SEGURANÇA EM UMA LINHA
DE PRODUÇÃO DE ESPELHOS**

**Francisco José Pereira Carvalho
Jader da Silva Cardoso**

**Pindamonhangaba - SP
2023**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**PROPOSTA DE MELHORIA NA IDENTIFICAÇÃO DE
FALHAS NO CIRCUITO DE SEGURANÇA EM UMA LINHA
DE PRODUÇÃO DE ESPELHOS**

**Francisco José Pereira Carvalho
Jader da Silva Cardoso**

Projeto de pesquisa apresentado à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba como exigência para a conclusão da disciplina de Projeto de Trabalho de Graduação, no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial.

Orientador (a): Prof. Me Amir Rivaroli Junior

**Pindamonhangaba - SP
2023**

C331p Carvalho, Francisco José Pereira.
Proposta de melhoria na identificação de Falhas no Circuito de
Segurança em uma Linha de Produção de Espelhos / Francisco José
Pereira Carvalho; Jader da Silva Cardoso / FATEC Pindamonhangaba,
2023.
39f.; il.

Orientador: Professor Me. Amir Rivaroli Junior
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba. 2023

1. Melhoria. 2. Falhas Espelho. 3. PDCA. 4. Supervisório.
I. Carvalho, Francisco José Pereira. II. Cardoso, Jader da Silva.
III. Rivaroli Junior, Amir. IV. Título.

CDD 621

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

PROPOSTA DE MELHORIA NA IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS NO CIRCUITO DE SEGURANÇA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE ESPELHOS

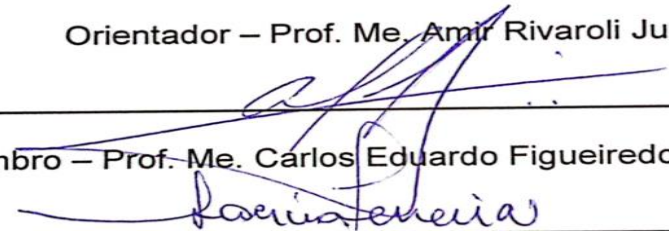
**Francisco José Pereira Carvalho
Jader da Silva Cardoso**

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação, no Curso Superior de
Tecnologia em Manutenção Industrial.

Comissão Examinadora



Orientador – Prof. Me. Amir Rivaroli Junior



Membro – Prof. Me. Carlos Eduardo Figueiredo dos Santos



Membro – Prof. Me. Laercio Ferreira

Pindamonhangaba, 18 de novembro de 2023.

DEDICATÓRIA

Francisco José Pereira Carvalho

Dedico este trabalho a memória do meu pai Paulo Cézar de Carvalho, a minha mãe, Elizethe dos Reis Pereira Carvalho, pessoa a quem me educou e mostrou todos os caminhos corretos a seguir e nunca me abandonou, minha esposa Joselaine Lucas de Oliveira Carvalho que sempre me apoiou em todas as dificuldades, tristezas e alegrias, e meus filhos Karolayne Oliveira Carvalho, Kamily Oliveira Carvalho e Kauê Oliveira Carvalho, que são a minha fortaleza e principalmente a Deus por toda oportunidade, proteção e bênçãos que tenho alcançado ao longo dessa jornada.

Jader da Silva Cardoso

Este Trabalho de Graduação dedico humildemente ao nosso professor e Orientador Amir Rivaroli Junior, que com muito profissionalismo, sabedoria e paciência nos orientou de forma excepcional para alcançarmos os resultados esperados. Dedico também a todos os professores e funcionários da nossa FATEC de Pindamonhangaba com quem tive um grande privilégio de conviver durante todo o período de estudos.

AGRADECIMENTOS

Francisco José Pereira Carvalho

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. A minha esposa Joselaine Lucas de Oliveira Carvalho que esteve sempre comigo, me apoiando e fortalecendo, minha mãe Elizethe dos Reis Pereira Carvalho, que é meu anjo da guarda em vida, sempre orando e pedindo a nossa senhora que sempre ilumine meus passos. Minha família que sempre esteve comigo, meus irmãos, tios, amigos e companheiros de trabalho que contribuíram bastante para meu crescimento profissional, me ensinando um pouco a cada dia e assim compartilhando conhecimento e histórias de vida. Ao professor Amir Rivaroli Junior, pelo inestimável apoio na orientação deste trabalho.

Jader da Silva Cardoso

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, que sempre permitiu e me guiou ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como estudante da Fatec Pindamonhangaba. Ao meu pai Márcio Silva Cardoso por ter me iniciado neste ramo que é a manutenção, a minha mãe Ivone Silva Cardoso pela excelente educação, a minha esposa Beatriz Amorim Mota por todo apoio nestes anos de estudo, as minhas filhas Mirela Amorim Cardoso e Mariana Amorim Cardoso que ficaram alguns períodos sem a minha presença para que eu pudesse estudar, e em especial ao meu amigo Paulo Ronildo Coimbra, que sempre me apoiou e me incentivou a estudar, principalmente na área de automação industrial a qual tenho a felicidade de trabalhar atualmente. Agradecer também aos amigos e demais familiares que durante esses períodos pude compartilhar alegrias e tristezas, e que sempre estiveram ao meu lado apoiando e incentivando durante toda a realização do curso de Manutenção Industrial, que antes mesmo de finalizar trouxe benefícios durante a minha jornada como técnico de manutenção industrial.

*“Visualizar o ideal, planejar o futuro e
executar o possível.”*

Autor Desconhecido

CARVALHO F.J.P. e CARDOSO, J.S. **Proposta de Melhoria na Identificação de Falhas no Circuito de Segurança em uma Linha de Produção de Espelhos.** 2023.19p. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2023.

RESUMO

O espelho é um item essencial no nosso dia a dia, um artigo muito utilizado no mundo, principalmente em nossos lares, pois não conseguimos sair de casa sem nos arrumar olhando para um espelho. A produção de espelhos requer materiais de boa qualidade, uma equipe muito bem treinada e uma linha de produção com a maior disponibilidade possível, pois este é um mercado rigoroso e de muita demanda. Durante a produção de espelhos, tudo tem que funcionar perfeitamente, e quando ocorre uma falha ou erro, os técnicos de manutenção têm que atuar o mais rápido possível e com máxima eficiência para que a linha de produção volte a funcionar, gerando o mínimo de perdas. O objetivo do trabalho foi estudar melhoria durante a ocorrência de falhas no circuito de segurança em uma linha de produção de espelhos, pois havia uma dificuldade muito grande para identificar qual circuito estava em falha. Para os técnicos de manutenção mais experientes, a dificuldade era menor por já terem se deparado com falhas nos circuitos de segurança, mesmo assim levava-se um certo tempo para liberar a linha para a operação. Para os técnicos com menos tempo de empresa, as dificuldades eram maiores pois não havia indicações o suficiente para facilitar a identificação das falhas nos circuitos de segurança. Como proposta de melhoria, foi utilizado o PDCA, uma ferramenta introduzida na empresa por meio da gestão que vem trazendo bons resultados nas linhas de produção da empresa. Foram analisados os diagramas elétricos, linguagem ladder do CLP e o sistema Supervisório, e introduzido melhorias com o intuito de facilitar a identificação de falhas no sistema de segurança.

Palavras-chave: Melhoria, falhas espelho, PDCA, supervisório.

CARVALHO F.J.P. e CARDOSO, J.S. **Proposed Improvement in the Identification of Failures in the Safety Circuit in a Mirror Production Line.** 2023.19p. Undergraduate Work (Technology Course in Industrial Maintenance). Pindamonhangaba College of Technology. Pindamonhangaba. 2023.

ABSTRACT

The mirror is an essential item in our daily lives, an item that is widely used around the world, especially in our homes, as we cannot leave the house without getting ready by looking in a mirror. The production of mirrors requires good quality materials, a very well-trained team and a production line with the highest possible availability, as this is a rigorous market with a lot of demand. During mirror production, everything has to work perfectly, and when a failure or error occurs, maintenance technicians have to act as quickly as possible and with maximum efficiency to get the production line back up and running, generating minimal losses. The objective of the work was to study improvements during the occurrence of failures in the safety circuit in a mirror production line, as there was great difficulty in identifying which circuit was failing. For more experienced maintenance technicians, the difficulty was less as they had already encountered failures in the safety circuits, but it still took a certain amount of time to release the line for operation. For technicians with less experience at the company, the difficulties were greater as there were not enough indications to make it easier to identify failures in the safety circuits. As a proposal for improvement, PDCA was used, a tool introduced into the company through management that has been bringing good results in the company's production lines. The electrical diagrams, PLC ladder language and the Supervisory system were analyzed, and improvements were introduced in order to facilitate the identification of failures in the safety system.

Keywords: Improvement, mirror failures, PDCA, supervisory.

LISTA DE ABREVIATURAS DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A.C.	Antes de Cristo
CLP	Controlador Logico Programável
D.C.	Depois de Cristo
IHM	Interface Homem Máquina
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Brasileira
PDCA	Plan, Do, Check, Action
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resistência tubular.....	21
Figura 2 - Exaustor industrial.....	22
Figura 3 - Pressostato.....	24
Figura 4 - Inversor de frequência.....	25
Figura 5 - Ciclo PDCA.....	27
Figura 6 - Condições de falha Resistências.....	31
Figura 7 - Condições de falha Exaustores e Inversores de frequência.....	32
Figura 8 - Condições de falha Pressostatos.....	33
Figura 9 - Animação dos circuitos das Resistências sem falha.....	34
Figura 10 - Animação dos circuitos das Resistências com falha.....	34
Figura 11 - Animação dos Inversores de frequência sem falha.....	35
Figura 12 - Animação dos Inversores de frequência com falha.....	35
Figura 13 - Animação dos Pressostatos sem falha.....	35
Figura 14 - Animação dos Pressostatos com falha.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 História do Espelho	14
1.2 Problema	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Justificativa	15
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	16
2.1 Fabricação de Espelhos	16
2.2 Manutenção Industrial.....	17
2.3 Tipos de Manutenção Industrial	18
2.5 Automação Industrial	19
2.6 Circuito de segurança	19
2.7 Condições de segurança na linha de produção de Espelhos	20
2.7.1 Resistência elétrica.....	20
2.7.2 Exaustor.....	22
2.7.3 Pressostato	23
2.7.4 Inversor de frequência	24
2.8 Diagramas Elétricos.....	25
2.9 PDCA – Plan, Do, Check and Act.....	26
2.9.1 - Vantagens da utilização do PDCA na manutenção	28
3 METODOLOGIA	30
3.1 Estudo de caso	30
3.2 Desenvolvimento	30
3.3 - Melhorias	31
3.3.1 Condição inicial das resistências do forno	31
3.3.2 Condição inicial dos exaustores e inversores de frequência	31
3.3.3 Condição inicial dos pressostatos dos exaustores	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	34
4.1 Animações de falha no Supervisório	34
4.2 Animações de falha nos circuitos de acionamento das resistências	34
4.3 Animações de falha nos inversores de frequência	34
4.4 Animações de falha nos pressostatos	35
4.5 Discussão dos resultados	36

5 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 História do Espelho

As primeiras superfícies capazes de refletir imagens surgiram a mais de 8000 anos atrás, entre os povos da Anactória (atual Turquia) e eram feitos de vidros vulcânicas, as imagens não eram tão nítidas, mas refletiam. Após o surgimento destas superfícies espelhadas, cerca de 3000 anos depois na região da Suméria (atual Iraque), os espelhos de cobre polido começaram a surgir, nesta mesma época na China era utilizada uma técnica similar, porém o material polido era o bronze, (TEIXEIRA ANDRÉ, COMO SURTIU?).

Até por volta do século 13, os espelhos eram feitos de metal polido, ligas de prata ou bronze dura, o suficiente para aguentar o processo de polimento mecânico e não riscar facilmente. (GOLDENSTEIN HELIO, USP).

Os espelhos de vidro comum começaram a ser produzidos nos anos de 1300 D.C. em Veneza na Itália, (GOLDENSTEIN HELIO, USP).

No século 19 foram descobertas formas de espelhar o vidro com prata química, sem a necessidade do mercúrio, essa nova técnica, mais segura, simples e barata popularizou o espelho pelo mundo, (GOLDENSTEIN HELIO, USP).

Atualmente o espelho é um item funcional e muito utilizado, e com um mercado competitivo, sendo a qualidade e o prazo de entrega fatores indispensáveis e tempos de linha parada podem gerar atrasos significativos na entrega para o cliente, com isso, a proposta do trabalho foi de diminuir o tempo de linha parada, inserindo condições no supervisorio utilizado para a operação, sistema de identificação visual que facilitaria em qual ponto uma falha no circuito de segurança pode estar ocorrendo, pois para a produção de espelhos, além de matérias primas de boa qualidade, a agilidade para restabelecer uma linha de produção após uma falha é essencial para evitar perdas e amenizar prejuízos.

1.2 Problema

O problema trata-se de análise de falhas no sistema de segurança de uma linha automatizada de produção de espelhos, em uma empresa situada na região do Vale do Paraíba, esta linha, que vem sofrendo paradas de produção e gerando grandes prejuízos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho terá como objetivo identificar pontos de melhoria no Sistema Supervisório da linha de produção de espelhos para agilizar a identificação de falhas ou defeitos no sistema de segurança de automação, diminuindo assim tempos de paradas de linha.

1.3.2 Objetivos Específicos

Analisar os diagramas elétricos do circuito segurança de automação e telas do Supervisório para propor melhorias, inserindo condições de alarmes e/ou falhas e novas telas no Supervisório para que visualmente os técnicos possam identificar em qual ou em quais pontos estão ocorrendo anomalias.

1.4 Justificativa

Durante as falhas ocorridas no início da produção de espelhos ou durante o processo, os técnicos de manutenção vêm encontrando dificuldades para identificar estas falhas no circuito de segurança. As condições de segurança podem ser diversas, e nesta linha de produção, as dificuldades encontradas na identificação das falhas vem atrasando a produção gerando perdas significativas.

A ideia do trabalho tem como objetivo facilitar a identificação das falhas no menor tempo possível, através de condições geradas na tela do supervisório (IHM), para liberar a linha para operação, gerando o mínimo de perdas possíveis para que o objetivo de alcançar a meta proposta no final do dia, seja cumprido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fabricação de Espelhos

A produção de espelhos é um processo automatizado e complexo, que envolve diversas etapas, desde o polimento do vidro durante a lavagem até a aplicação da camada de metal que permite a reflexão da luz.

A fabricação de espelhos industriais envolve um processo específico para garantir que os espelhos atendam aos requisitos necessários para uso em ambientes industriais. Aqui estão os passos básicos envolvidos no processo de fabricação de espelhos industriais:

a) Escolha do Substrato:

O substrato do espelho industrial é a base sobre a qual o revestimento reflexivo será aplicado. Vidro é o material mais comum, mas outros substratos podem ser usados, como metal ou plástico. O substrato é cortado nas dimensões desejadas e, em seguida, passa por processos de polimento para garantir uma superfície lisa e uniforme. Na primeira parte do processo de produção automatizada de espelhos, as folhas de vidros planas são depositadas por robôs em mesas transportadoras e logo em seguida são criadas micro abrasões nessas folhas por máquina de escovas rotativa para garantir uma melhor aderência dos compostos químicos.

b) Camada Reflexiva:

Uma camada reflexiva é aplicada à superfície do substrato. O revestimento reflexivo geralmente prata, pois esses materiais têm propriedades reflexivas eficientes. Depois de realizadas essas ações, o vidro recebe essa camada metálica de prata composta por reações químicas de nitrato de prata. A partir dessa etapa, o espelho começa a se formar, pois a prata gera o reflexo na peça. (por Gabriel Fabro/Edição Redação Jornal do Vidro, 4 de ago. de 2020)

Após a aplicação da prata e de outros compostos químicos, o espelho passa por um pré-aquecimento e em seguida passa por uma “cortina” de tinta, esta tinta é distribuída uniformemente sobre o espelho. Na etapa a seguir, o espelho passa novamente por um aquecimento para uma boa fixação da camada de tinta. Após sair do aquecimento o espelho passa por um resfriamento que é feito por ventiladores e após este resfriamento o espelho é lavado e secado para que possa então ser armazenado.

c) Proteção do Revestimento:

Uma camada protetora é aplicada sobre o revestimento reflexivo para evitar danos, oxidação ou arranhões.

d) Inspeção de Qualidade:

Os espelhos industriais passam por rigorosos controles de qualidade para garantir que atendam às especificações necessárias. Isso pode envolver verificações visuais, medições de reflexão e outros testes. "Qualquer imperfeição na superfície do espelho pode afetar a qualidade da reflexão e comprometer o resultado final", destaca João Silva, técnico em controle de qualidade.

e) Embalagem e Envio:

Os espelhos são embalados adequadamente para proteção durante o transporte e enviados para os clientes.

É importante observar que espelhos industriais podem ser usados em uma variedade de aplicações, como em máquinas industriais, veículos, equipamentos de segurança, entre outros. As especificações exatas do processo de fabricação podem variar dependendo do tipo específico de espelho industrial e das necessidades do cliente.

2.2 Manutenção Industrial

A manutenção industrial refere-se às atividades realizadas para garantir o bom funcionamento e a confiabilidade dos equipamentos e sistemas utilizados em ambientes industriais. Essas atividades podem incluir inspeções regulares, reparos, substituição de peças, lubrificação, calibração e limpeza.

O grande desafio das indústrias atualmente é entender como readequar suas práticas e planejamentos às demandas e ferramentas de agora e do futuro, afinal, cada vez mais, o chão de fábrica é modernizado. Esse movimento, no entanto, não acontece por mera coincidência.

A manutenção industrial é essencial para evitar paradas não planejadas na produção, minimizar o desgaste e prolongar a vida útil dos equipamentos. Existem diferentes abordagens para a manutenção industrial, como manutenção corretiva (reparo após uma falha), manutenção preventiva (inspeções e manutenção regular) e manutenção preditiva (uso de monitoramento e dados para prever falhas).

As equipes de manutenção industrial geralmente são compostas por técnicos especializados, engenheiros e outros profissionais qualificados. Eles utilizam ferramentas, equipamentos e tecnologias avançadas para realizar suas tarefas de forma eficiente e segura.

A manutenção industrial desempenha um papel fundamental na garantia da segurança, qualidade e produtividade das operações industriais, permitindo que as empresas mantenham suas operações funcionando de maneira eficiente e rentável.

2.3 Tipos de Manutenção Industrial

Existem diferentes tipos de manutenção, cada um com objetivos e abordagens específicas. Os principais tipos de manutenção são:

Manutenção Corretiva: É realizada após a ocorrência de uma falha ou quebra de um equipamento. O objetivo é restaurar o funcionamento normal do sistema. A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha ou problema. Embora seja menos desejável do que a manutenção preventiva e preditiva, ainda é necessária em certas situações. É importante ter procedimentos definidos para lidar eficientemente com reparos e minimizar o impacto na produção.

Manutenção Preventiva: É realizada de forma planejada e periódica, com o objetivo de evitar falhas futuras. Envolve inspeções, limpezas, lubrificações e substituição de peças conforme um cronograma pré-determinado. A manutenção preventiva envolve a realização de inspeções, revisões e substituição de componentes em intervalos regulares, com o objetivo de prevenir falhas e prolongar a vida útil dos equipamentos. Isso ajuda a evitar paradas não programadas e reduzir custos de manutenção corretiva.

Manutenção Preditiva: Baseia-se no monitoramento e análise de parâmetros de desempenho e condições de funcionamento do equipamento. O objetivo é identificar sinais de possíveis falhas e agir antes que elas ocorram. A manutenção preditiva utiliza técnicas e monitoramento contínuo para identificar sinais precoces de falhas em equipamentos. Isso permite que a manutenção seja realizada no momento certo, com base em dados e indicadores, evitando falhas graves e minimizando o tempo de inatividade.

Manutenção Detectiva: Consiste em utilizar técnicas e ferramentas para detectar falhas ocultas ou em estágio inicial, que podem não ser percebidas por outros métodos de manutenção. O foco é antecipar possíveis problemas.

Manutenção Proativa: Vai além da prevenção e busca melhorias contínuas nos processos de manutenção. Envolve a análise de dados, o uso de tecnologias avançadas e a implementação de estratégias para aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

Cabe ressaltar que esses tipos de manutenção não são mutuamente

exclusivos, e muitas vezes são combinados em um programa de manutenção mais abrangente, dependendo das necessidades e características dos equipamentos e sistemas em questão.

2.5 Automação Industrial

A automação industrial surgiu com o foco em diminuir, ou até substituir o uso da mão-de-obra humana em qualquer processo. Esta busca, de acordo com Silveira & Santos (2002), vem deste a época de 3500 e 3200 A.C., com o surgimento da roda.

Desde o surgimento, a automação industrial tem sido cada vez mais utilizada em processos produtivos, trazendo benefícios como aumento da eficiência, redução de custos e melhoria da qualidade dos produtos. No entanto, essa automação também pode trazer riscos à segurança dos trabalhadores e equipamentos, daí a importância dos circuitos de segurança na automação industrial.

"A automação industrial é um caminho sem volta e, por isso, é preciso investir em circuitos de segurança para garantir a proteção dos trabalhadores e equipamentos." - Renato Bandeira, especialista em automação industrial.

Como os circuitos de segurança são responsáveis por proteger os trabalhadores e equipamentos de possíveis danos, além de garantir a continuidade do processo produtivo. Com isso, normas de segurança são essenciais na automação industrial. A ABNT NBR ISO 14121-1:2014, por exemplo, estabelece os princípios para a avaliação de riscos e redução de riscos relacionados à segurança de máquinas. Essas normas devem ser seguidas rigorosamente para garantir a segurança dos trabalhadores e equipamentos.

2.6 Circuito de segurança

Com o crescimento da automação industrial em linhas de produção, a segurança se tornou uma preocupação ainda maior na indústria. Circuitos de segurança são uma parte essencial desse sistema de proteção.

Segundo o engenheiro elétrico Johnathan Silva, "Os circuitos de segurança são responsáveis por proteger os trabalhadores e equipamentos de possíveis danos, além de garantir a continuidade do processo produtivo". Isso é especialmente importante em indústrias que lidam com produtos químicos e maquinários pesados.

Existem vários tipos de circuitos de segurança disponíveis no mercado, cada um com sua própria funcionalidade. O circuito de parada de emergência, por exemplo, é acionado quando um trabalhador percebe uma situação de perigo iminente e precisa interromper o processo rapidamente. Já o circuito de proteção de portas e barreiras é

usado para evitar que pessoas ou objetos entrem em áreas restritas, garantindo a segurança dos colaboradores.

Além disso, a escolha correta dos componentes é essencial para garantir o funcionamento adequado do circuito. Segundo o engenheiro de automação Pedro Almeida, "Os componentes escolhidos devem ser compatíveis com a tensão e corrente utilizadas no processo, além de serem resistentes a condições adversas, como poeira, umidade e temperaturas extremas".

Os circuitos de segurança são essenciais para garantir a proteção de trabalhadores e equipamentos nas indústrias. A escolha correta dos componentes e a manutenção preventiva são fatores-chave para garantir o funcionamento adequado desses circuitos. Como afirmou o engenheiro elétrico Johnathan Silva, "A segurança não é uma opção, é uma obrigação".

2.7 Condições de segurança na linha de produção de Espelhos

No início do processo de produção de espelhos ou no decorrer do processo, são necessárias algumas condições de segurança para garantir uma produção segura a todos os envolvidos, pois além de um produto de excelente qualidade é necessário eliminar riscos de incêndio, já que a tinta e o solvente utilizados na fabricação de espelhos são altamente inflamáveis, e uma falha pode causar uma catástrofe.

Durante o início da produção e durante todo o processo, são necessárias condições de segurança que devem estar funcionando perfeitamente, caso estas condições não sejam atendidas os intertravamentos da linha automatizada impede a operação de iniciar o processo de produção.

Essas condições são:

- Todas as resistências dos fornos devem estar desligadas no início do processo;
- Todos os exaustores dos fornos devem estar ligados;
- Todos os pressostatos diferencial dos exaustores devem estar funcionando;
- Os inversores não podem estar apresentando falhas.

2.7.1 Resistência elétrica

Uma resistência elétrica é um dispositivo interessante, pois converte energia elétrica em energia térmica quando uma corrente elétrica é forçada a passar através da resistência. (FOWLER, Richard. Fundamentos de Eletricidade: Corrente Contínua e Magnetismo).

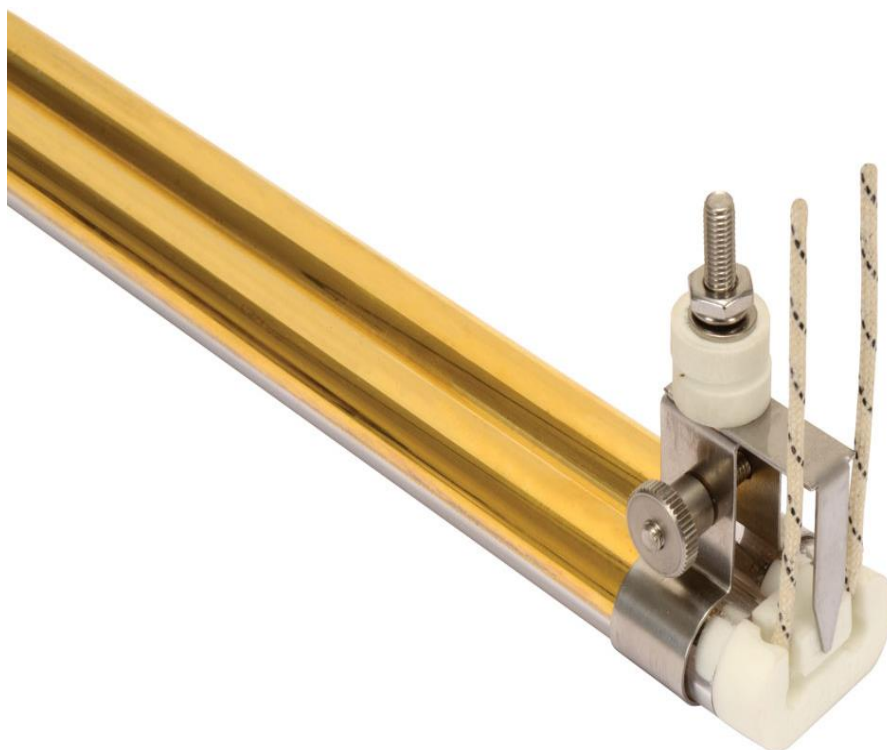
Esse conceito é fundamental em muitas aplicações industriais, onde o controle

preciso da resistência elétrica é necessário para garantir o funcionamento adequado de equipamentos e sistemas. Em muitos casos, os materiais usados para criar resistências elétricas são ligas metálicas específicas, como níquel-cromo (NiCr) ou ferro-cromo-alumínio (FeCrAl). Essas ligas têm propriedades elétricas que permitem o controle preciso da resistência.

Em muitas aplicações industriais, as resistências elétricas são usadas como elementos de aquecimento, convertendo a energia elétrica em calor. Esses elementos podem ser incorporados em fornos industriais, aquecedores de água, secadores e outros dispositivos. As resistências elétricas industriais são projetadas e fabricadas de acordo com as especificações precisas da aplicação. Isso pode envolver o ajuste da geometria, material e valor de resistência para atender às necessidades específicas do processo.

A resistência tubular é um tipo específico de elemento de aquecimento utilizado em diversas aplicações industriais para gerar calor. Este dispositivo é frequentemente encontrado em sistemas de aquecimento de fluidos, estufas industriais, fornos, equipamentos de processamento químico, máquinas de moldagem por injeção, entre outros. A Figura 1 mostra o exemplo de uma resistência tubular.

Figura 1- Resistência tubular.



Fonte: Imagem disponível no site <https://tempco.com>

2.7.2 Exaustor

A ventilação local de um exaustor, é um dos recursos mais eficazes para o controle de ambientes de trabalho, principalmente quando aplicada em conjunto com outras medidas com vistas à redução, ou mesmo a eliminação, da exposição de trabalhadores a contaminantes químicos presentes ou liberados na forma de névoas, gases, vapores e poeiras (Sobrinho, 1996).

Os exaustores são componentes essenciais em ambientes industriais para o controle da qualidade do ar e para manter condições de trabalho seguras. Eles são usados para remover poluentes, partículas, fumaça, vapores, odores e calor do ambiente, proporcionando uma atmosfera mais limpa e segura para os trabalhadores. Existem diversos tipos de exaustores disponíveis, incluindo exaustores de teto, exaustores axiais, exaustores centrífugos e exaustores de parede. A escolha do tipo dependerá das necessidades específicas do ambiente de trabalho. A Figura 2 mostra um exemplo de exaustor industrial.

Figura 2 - Exaustor industrial.



Fonte: Imagem disponível no site <https://remid.com.br>

2.7.3 Pressostato

Um pressostato mecânico, também conhecido como interruptor de pressão diferencial é um dispositivo que utiliza uma pressão do fluxo, diferencial para acionar um interruptor elétrico em um ponto de atuação predefinido. O pressostato industrial é um dispositivo utilizado para monitorar a pressão em sistemas industriais e acionar ou desativar dispositivos elétricos, como motores, bombas ou válvulas, em resposta a alterações na pressão. Eles desempenham um papel crucial em muitos processos industriais, garantindo que os sistemas operem dentro de faixas de pressão seguras e eficientes.

O pressostato consiste em um interruptor elétrico acionado por uma membrana ou pistão sensível à pressão. Quando a pressão atinge um valor pré-determinado, o interruptor é acionado, abrindo ou fechando um circuito elétrico.

Pressostato pode ter a diferença entre duas pressões positivas ou duas negativas, uma de cada, ou uma pressão positiva e atmosférica ou uma pressão negativa e atmosférica. O interruptor elétrico pode ser usado para iniciar ou parar motores ou ventiladores, abrir ou fechar amortecedores ou venezianas, acender um sinal de advertência, soar alarmes, etc. (site: Jefferson Automação e Manutenção Industrial LTDA).

Muitos pressostatos permitem que ajustar os pontos de trabalho de pressão para atender às necessidades específicas do sistema. Isso permite que o dispositivo seja adaptado para diferentes condições de operação. Existem diferentes tipos de pressostatos, incluindo pressostatos diferenciais, pressostatos de pressão positiva e pressostatos de pressão negativa. Cada tipo é projetado para atender a requisitos específicos de aplicação.

Em muitos casos, os pressostatos são elementos críticos para a segurança operacional. Eles podem ser usados para monitorar níveis de pressão que, se ultrapassados, poderiam resultar em situações perigosas, como vazamentos, falhas de equipamento ou excesso de pressão. A manutenção regular dos pressostatos é importante para garantir seu funcionamento confiável. Isso pode incluir a verificação periódica do ponto de ajuste, a limpeza de quaisquer obstruções nas partes móveis e a substituição de componentes desgastados.

Dependo da aplicação os pressostatos são integrados a sistemas de controle mais amplos. Isso permite que o monitoramento da pressão seja automatizado e coordenado com outras operações do processo industrial, desempenham um papel

fundamental na automação e segurança de muitos processos industriais. Sua capacidade de monitorar e controlar a pressão é vital para garantir a eficiência e a segurança dos sistemas. A figura 3 demonstra um exemplo de pressostato utilizado em uma área industrial.

Figura 3 - Pressostato.



Fonte: Imagem disponível no site <https://wika.com.br/>

2.7.4 Inversor de frequência

Os inversores de frequência são equipamento eletrônicos que controlam a velocidade de motores elétricos trifásicos afim de se obter um melhor desempenho, e em caso de falhas disponibilizar um código (uma mensagem de erro) para facilitar no diagnóstico. Tem a função de controlar a velocidade de um motor elétrico trifásico. Esse tipo de controlador aciona um motor elétrico e promove a variação da frequência e da tensão que é fornecida a esse motor, dominando a sua velocidade e a potência consumida.

Os inversores garantem que o motor trabalhe em diferentes velocidades, sem a necessidade do uso de meios mecânicos, como polias, válvulas e redutores. É um equipamento extremamente útil para todo tipo e tamanho de empresa, de fácil aquisição e fabricado em diferentes modelos, tamanhos e potências (Kalatec Automação).

O controle preciso da velocidade do motor proporciona uma economia significativa de energia em comparação com métodos tradicionais de controle de

velocidade, como o uso de dispositivos mecânicos, como válvulas ou embreagens, permitem partidas suaves, evitando picos de corrente que podem ocorrer durante a partida direta de um motor. Além disso, eles possibilitam o controle preciso do torque do motor em diferentes condições de carga.

São utilizados em uma variedade de indústrias, incluindo manufatura, HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), bombeamento, sistemas de transporte e muitos outros, onde o controle da velocidade do motor é essencial. Alguns inversores de frequência possuem capacidades de comunicação, permitindo a integração com sistemas de controle mais amplos, como sistemas de automação industrial.

A manutenção preventiva é importante para garantir o bom funcionamento, isso pode incluir verificações regulares, limpeza e substituição de componentes desgastados. Na escolha de um inversor de frequência deve-se considerar as características específicas da aplicação e as necessidades individuais de cada .do sistema, como a potência do motor, a carga, o ambiente operacional e os requisitos de controle. A figura 4 demonstra um exemplo de um inversor de frequência.

Figura 4 - Inversor de frequência.



Fonte: Imagem disponível no site <https://mall.industry.siemens.com>

2.8 Diagramas Elétricos

O diagrama elétrico é uma linguagem universal representado por simbologias padronizadas, e em nosso país esta padronização é feita ABNT (Associação Brasileira

de Normas Técnicas), são representações gráficas de um sistema elétrico ou de seus componentes, usando símbolos padronizados para mostrar a conexão entre os elementos.

O esquema de ligação é a representação de um sistema elétrico, seja por símbolos gráficos completos ou simplificados. O esquema representa o funcionamento do circuito, o circuito de corrente e as interligações de rede. (Papenkfort Franz, Esquemas Elétricos de Comando e Proteção, 1975).

Os diagramas elétricos representam o sistema elétrico usando uma única linha para cada condutor ou componente, mostrando a conexão entre eles. É útil para visualizar a disposição geral do sistema, mas não fornece detalhes específicos. Usa símbolos gráficos para representar os componentes elétricos e suas interconexões. É comum em eletrônica e sistemas de controle, onde a ênfase está nos componentes e no funcionamento, e não necessariamente na localização física.

Detalha a conexão de componentes em um circuito específico, mostrando a rota do fluxo de corrente. É útil para entender o funcionamento de circuitos específicos. É usado para representar a lógica de controle de um sistema ou máquina, incluindo relés, temporizadores, interruptores e outros dispositivos de controle.

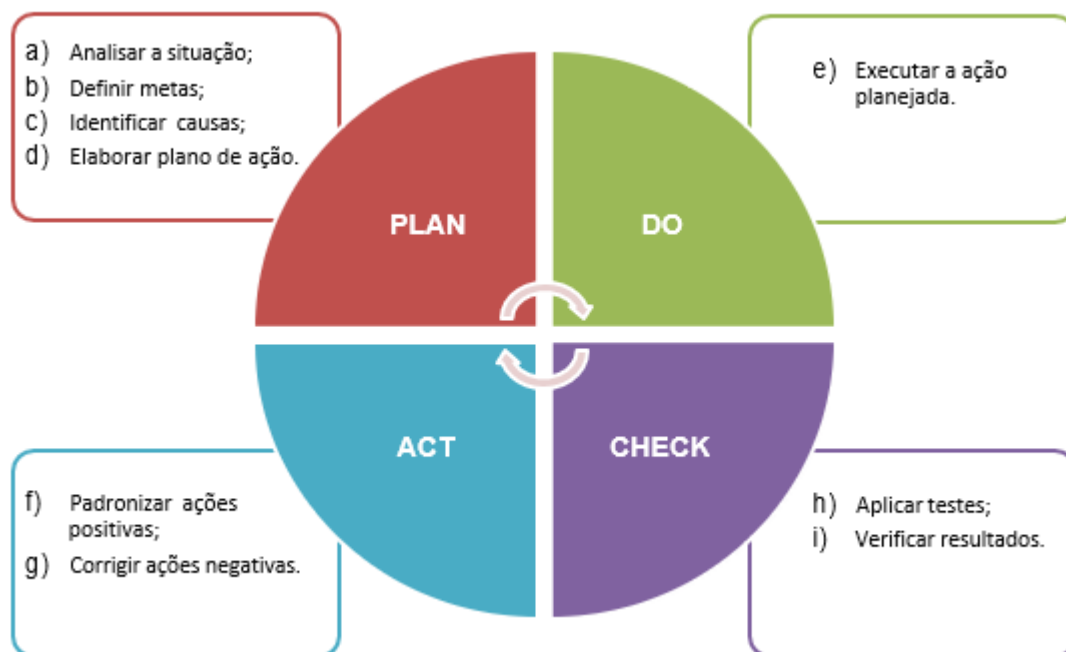
Mostra a disposição física dos componentes elétricos em um painel ou sistema, ajudando na instalação e manutenção. É comumente utilizado em programação de controladores lógicos programáveis (PLCs), representa a lógica de controle usando "rungs" que se assemelham a uma escada.

2.9 PDCA – Plan, Do, Check and Act

Para o desenvolvimento de um projeto de implementação, é comum o uso do ciclo PDCA (do inglês, plan, do, check, act) como estratégia de implantação para diagnosticar a situação, planejar ações, executá-las e padronizá-las.

Custódio (2015) define o ciclo PDCA como um programa que tem como base a melhoria contínua, que facilita a tomada de decisões para alcançar um padrão desejado. Cada etapa do ciclo tem a sua particularidade. Na Figura 5 é apresentada, de forma mais clara, cada etapa do ciclo PDCA.

Figura 5 - Ciclo PDCA.



Fonte: Adaptado de Custódio (2015).

Para Custódio (2015), a primeira etapa – *plan* (planejar) é o momento em que se realiza um estudo para estabelecer os objetivos e os processos necessários para atingir os resultados esperados pela organização. Já a segunda etapa – *do* (executar), é a fase onde se implementam os processos, ou seja, é quando os projetos saem do papel e são executados de acordo com o que foi proposto pelo plano de ação (SILVA, 2009).

Na terceira, etapa – *check* (verificar), faz-se necessário monitorizar e medir os processos, na quarta e última etapa do ciclo – *act* (agir), busca-se trabalhar em cima dos resultados, empreendendo ações para melhorar continuamente o desempenho dos processos. Costuma-se, nesta última fase, tomar decisões para padronizar as ações que trouxeram bons resultados ou melhorar as que causam desvios para alcançar os objetivos, e, dessa forma, iniciando novamente o ciclo (SILVA, 2009).

Quanto ao método PDCA deve-se ter conhecimento sobre a dificuldade do momento, identificar o(s) problema(s), estabelecer definições do(s) problema(s), planejar algumas soluções e definir as ações que serão tomadas, registrar os acontecimentos e as soluções aplicadas, e ainda, recomeçar o processo buscando aperfeiçoar (BIRKINSHAW; MARK, 2018).

Portanto, para que se aplique de maneira correta o ciclo PDCA é fundamental

que se tenha conhecimento sobre o ciclo de produção ou processo dado a um determinado produto, cuja finalidade está inserida na gestão de qualidade da organização.

2.9.1 - Vantagens da utilização do PDCA na manutenção

O PDCA (Plan-Do-Check-Act ou Planejar-Fazer-Verificar-Agir) é um ciclo de melhoria contínua que é amplamente utilizado em diversos campos, incluindo a manutenção industrial. O estágio de planejamento (Plan) permite que as equipes de manutenção identifiquem antecipadamente as necessidades e prioridades, definindo metas claras e estabelecendo planos de ação para atingir essas metas. Isso contribui para uma alocação eficiente de recursos e uma abordagem mais estratégica para a manutenção.

Durante a fase de execução (Do), as atividades planejadas são implementadas. A execução controlada garante que as ações sejam realizadas de acordo com o planejamento estabelecido. Isso ajuda a evitar erros, minimizar riscos e garantir que o trabalho seja feito de maneira consistente.

O estágio de monitoramento e avaliação (Check) envolve a análise dos resultados obtidos em comparação com as metas estabelecidas. Isso permite identificar desvios, problemas ou oportunidades de melhoria. A verificação contínua contribui para a eficácia das estratégias de manutenção e ajuda na correção de possíveis falhas.

A fase de ação (Act) envolve a implementação de melhorias com base nas conclusões da etapa de verificação. Esse estágio promove a aprendizagem contínua, incentivando a adaptação das estratégias de manutenção com base nas lições aprendidas e na evolução das condições operacionais.

Ao estabelecer práticas de manutenção mais eficientes e eficazes, o PDCA pode contribuir para a redução de custos operacionais. A abordagem sistemática ajuda a evitar desperdícios de recursos e a otimizar a alocação de pessoal e materiais. Implementar o PDCA na manutenção pode resultar em uma melhoria significativa na confiabilidade operacional de equipamentos e sistemas. Isso é alcançado por meio da identificação e correção proativa de problemas, reduzindo o tempo de inatividade não planejado.

O ciclo PDCA permite uma abordagem proativa para a gestão de riscos na manutenção. Ao identificar potenciais problemas durante a fase de planejamento, as equipes de manutenção podem adotar medidas preventivas para evitar falhas e

acidentes. Promove uma cultura de melhoria contínua na manutenção. Ao repetir o ciclo, as equipes têm a oportunidade de aprimorar constantemente os processos, adaptando-se a mudanças nas condições operacionais e incorporando novos conhecimentos e tecnologias.

A implementação do PDCA na manutenção industrial não apenas ajuda a otimizar a eficiência operacional, mas também contribui para a sustentabilidade a longo prazo dos equipamentos e processos industriais. A abordagem cíclica do PDCA permite ajustes contínuos e adaptações, alinhando as estratégias de manutenção às necessidades em constante mudança do ambiente operacional.

3 METODOLOGIA

3.1 Estudo de caso

Para desenvolvimento desse trabalho foi feito um estudo de caso, onde se fez necessário acompanhamentos no setor de produção de espelhos de uma empresa de vidros planos, situada na região do Vale do Paraíba. Durante o funcionamento da linha automatizada de produção de espelhos, foi verificado que quando a linha apresentava problemas, havia uma certa dificuldade para se encontrar o ponto correto onde se encontrava a falha. Quando as falhas eram analisadas por funcionários mais experientes da manutenção, aparentemente os problemas se resolviam rapidamente, principalmente por já terem passado por situações semelhantes. Quando as falhas ocorriam e não acontecia de se ter pessoas experientes para analisar as causas, tomava-se mais tempo para ser solucionado a falha. Com isso foi verificado que poderiam ser realizado alguns pontos de melhoria, principalmente para facilitar a identificação falhas durante a intervenção da equipe de manutenção. O trabalho de melhoria foi realizado principalmente no circuito da linha automatizada de produção de espelhos.

3.2 Desenvolvimento

Para se efetuar as melhorias, foram executadas análises dos problemas apresentados, foram realizados acompanhamentos e levantamento das paradas na linha de produção de espelhos por falhas no circuito de segurança. Após estas análises, foi aplicado o PDCA, ferramenta introduzida na empresa visando a busca por melhorias nos processos.

Com o PDCA em andamento, foi verificado que uma simples mudança nas telas no sistema supervisório poderia levar a ajudar a agilizar a volta em operação do sistema de segurança da linha de espelhos. Passou-se a identificar os pontos com problemas através de gráfico de cores, melhorando assim a identificação do ponto de falha, facilitaria a identificação quando os técnicos de manutenção realizassem alguma intervenção.

Foram escolhidos os seguintes equipamentos para se colocar nas telas do supervisório em função do levantamento realizado:

- Banco de resistências dos contadores de aquecimento do forno;
- Banco de relés dos inversores de frequência do circuito de acionamento dos exaustores do forno;

- Banco de pressostatos no circuito de acionamento dos exaustores do forno.

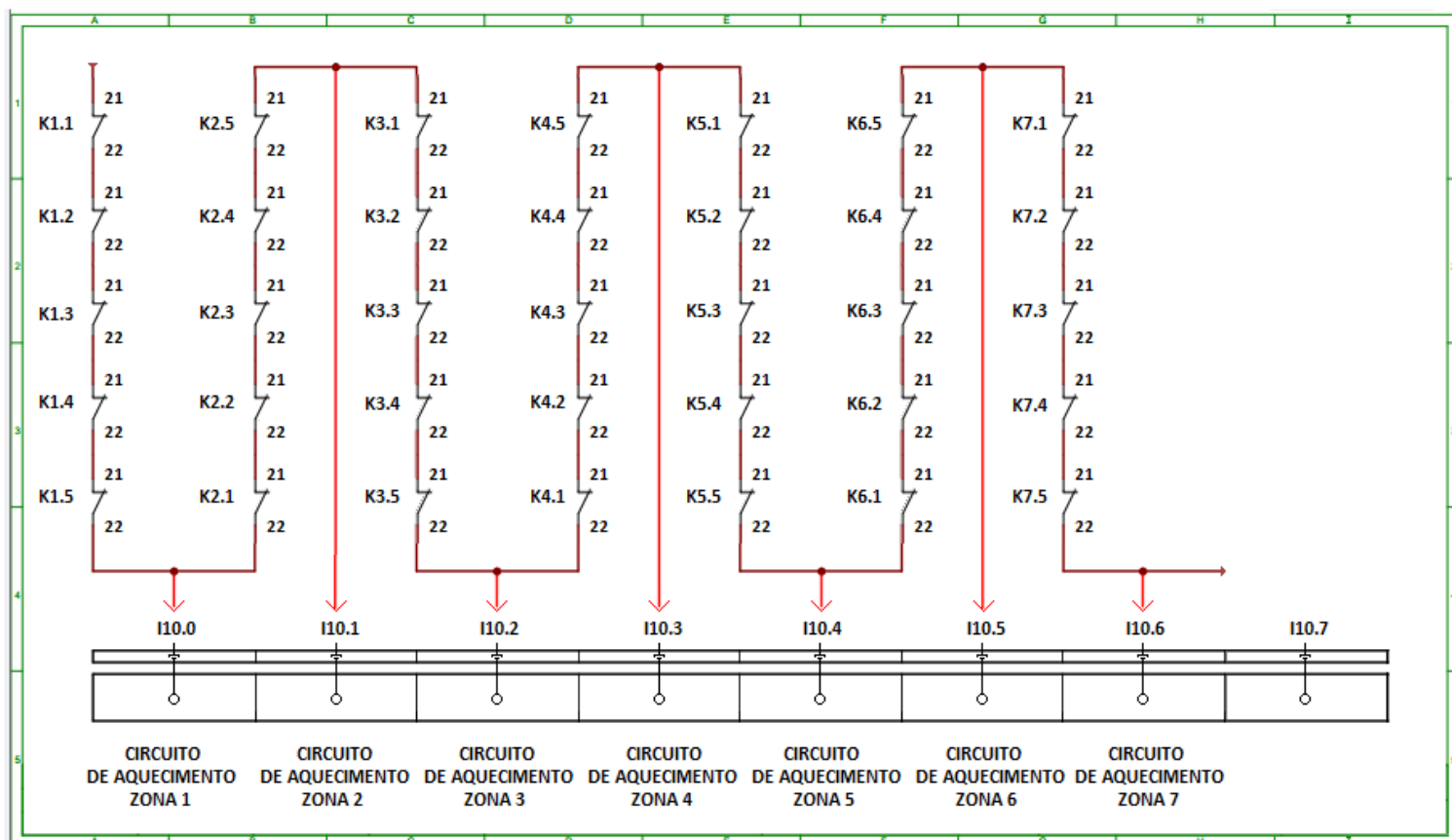
3.3 - Melhorias

Com base na proposta apresentada, serão atualizados os diagramas elétricos multifilares, pois faz-se necessário gerar condições físicas, para que as entradas digitais do CLP sejam acionadas, sejam elas por contatos físicos dos contatores das resistências do forno, dos pressostatos instalados nas tubulações dos exaustores ou das saídas relés dos inversores de frequência que controlam os exaustores.

3.3.1 Condição inicial das resistências do forno

A figura 6 é a representação em série dos contatores dos circuitos de acionamento das resistências de aquecimento do forno, esta associação em série é uma condição inicial para ligar a linha de produção, onde o aquecimento deve estar desligado e se algum contator estiver acionado ou danificado é gerado a “condição de segurança” e a linha permanece parada.

Figura 6 - Condições de falha Resistências.



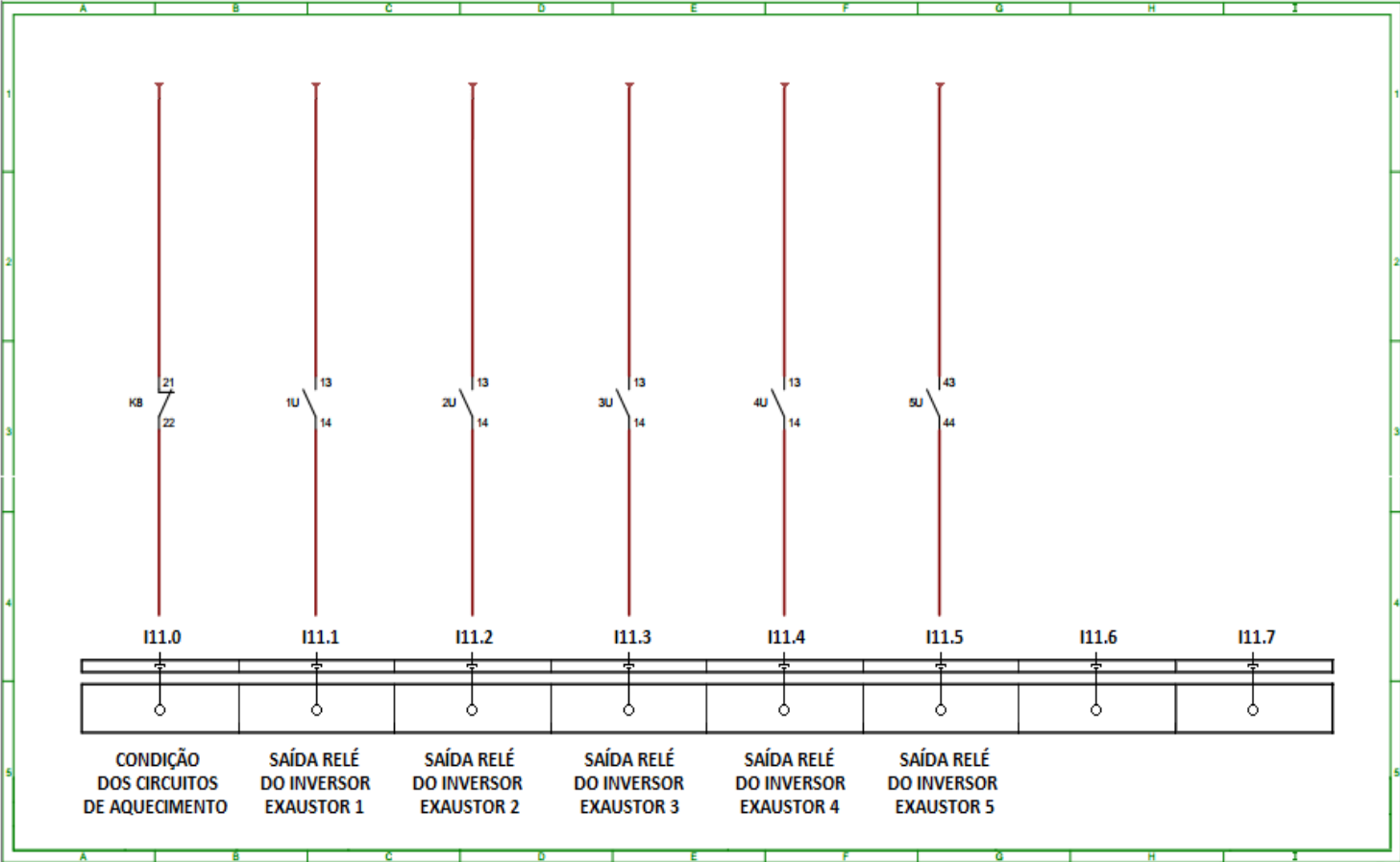
Fonte: Os autores, 2023.

3.3.2 Condição inicial dos exaustores e inversores de frequência

A figura 7 é a representação das saídas relés dos inversores no circuito de acionamento dos exaustores do forno. Esta representação é outra condição inicial

antes de ligar a linha de produção, onde os exaustores devem estar ligados e os inversores de frequência devem estar sem falhas, a fim de garantir a retirada do excesso de gases emitidos durante a produção de espelhos.

Figura 7- Condições de falha Exaustores e Inversores de frequência.

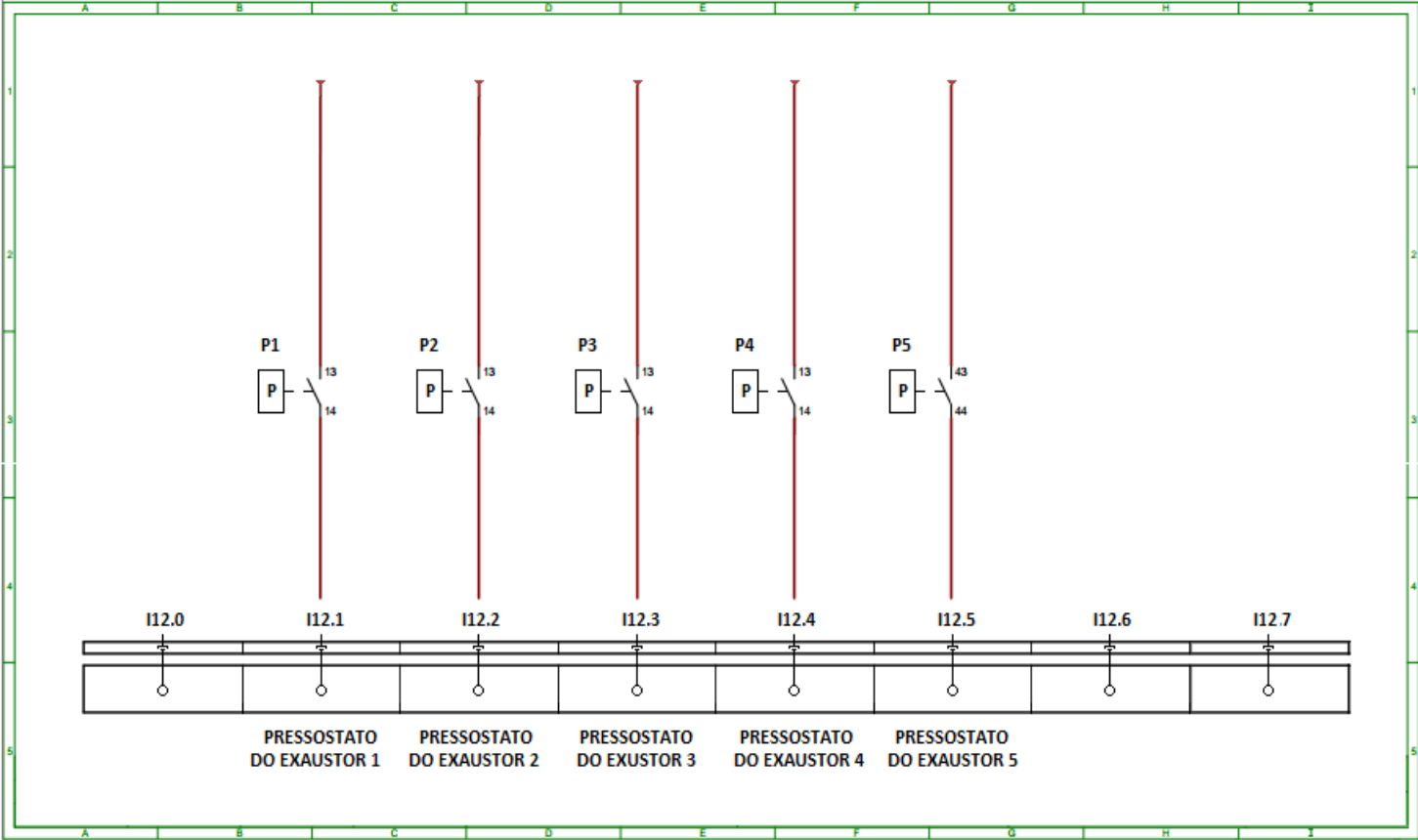


Fonte: Os autores, 2023.

3.3.3 Condição inicial dos pressostatos dos exaustores

A figura 8 é a representação dos pressostatos no circuito de acionamento dos exaustores do forno, esta representação é outra condição inicial para ligar a linha de produção, onde os exaustores devam estar ligados e os pressostatos atuados para confirmar que o sistema de exaustão esteja acionado.

Figura 8 - Condições de falha Pressostatos.



Fonte: Os autores, 2023.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Animações de falha no Supervisório

Após os estudos dos problemas apresentados e das soluções propostas pela realização do “PDCA”, foi realizada no supervisório, programa que monitora toda a produção de espelhos, o desenvolvimento de telas com animações para ajudar os técnicos a identificar onde a falha ou as falhas no circuito de segurança podem estar ocorrendo, seja nos circuitos das resistências, no sistema de exaustão ou nos inversores de frequência que controlam os exaustores.

4.2 Animações de falha nos circuitos de acionamento das resistências

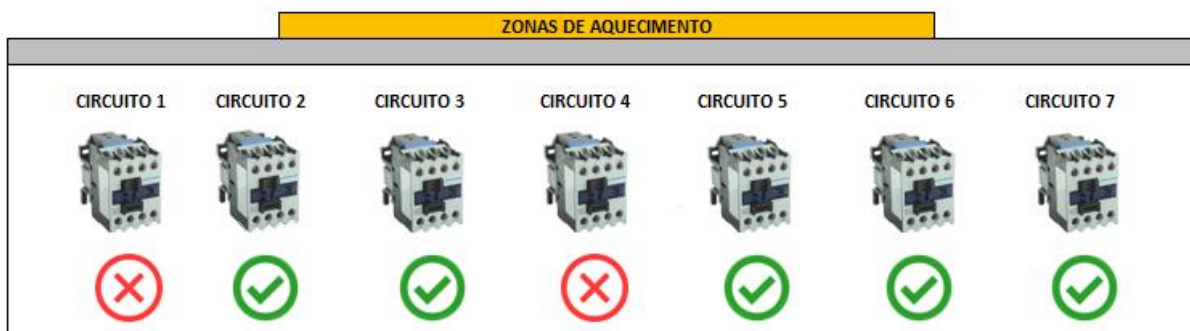
As figuras 9 e 10 abaixo são as representações das condições dos circuitos de acionamentos das resistências, se não houver falha a animação estará com uma condição verde e se algum circuito estiver em falha ficará com uma condição vermelha.

Figura 9 - Animação dos circuitos das Resistências sem falha.



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 10 - Animação dos circuitos das Resistências com falha.



Fonte: Os autores, 2023.

4.3 Animações de falha nos inversores de frequência

As figuras 11 e 12 abaixo são as representações das condições dos circuitos

de acionamentos dos inversores que controlam os exaustores, se não houver falha a animação estará com uma condição verde e se algum inversor estiver em falha ficará com uma condição vermelha.

Figura 11 - Animação dos inversores de frequência sem falha.



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 12 - Animação dos Inversores de frequência com falha.



Fonte: Os autores, 2023.

4.4 Animações de falha nos pressostatos

As figuras 13 e 14 são as representações dos pressostatos, se não houver falha a animação estará com uma condição verde e se algum pressostato não estiver atuado ou em falha ficará com uma condição vermelha.

Figura 13 - Animação dos Pressostatos sem falha.



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 14 - Animação dos Pressostatos com falha.



Fonte: Os autores, 2023.

4.5 Discussão dos resultados

Nossa proposta de melhoria tem a finalidade de facilitar a identificação de falhas no circuito de segurança e com isso agilizar a liberação da linha de produção de espelhos, pois por ser uma linha de produção extensa, com a animação na tela do supervisor é possível saber onde a falha está ocorrendo, seja em um circuito de aquecimento, no inversor de frequência dos exaustores ou um pressostato.

É importante informar a única alteração a ser feita será no circuito em série da condição das resistências, ou seja, no circuito 24Vcc dos contadores, e fora esta alteração não será acrescentado ou alterado mais nenhuma conexão nos painéis elétricos, caixas de passagens e/ou dispositivos eletrônicos, tendo em vista que o circuito de segurança atual é seguro e o foco da proposta de melhoria é facilitar a identificação das falhas.

5 CONCLUSÃO

Nossa proposta de melhoria tem a finalidade de facilitar a identificação de falhas no circuito de segurança e com isso agilizar a liberação da linha de produção de espelhos, pois por ser uma linha de produção extensa, com a animação na tela do supervisor é possível saber onde a falha está ocorrendo, seja em um circuito de aquecimento, no inversor de frequência dos exaustores ou um pressostato.

Com base no histórico recente das falhas ocorridas na linha de produção de espelhos, acreditamos que a nossa proposta será muito eficiente para diminuir o tempo de parada de linha, a proposta ainda está em fase de desenvolvimento e aplicação, porém foi muito bem vista e aceita entre os colaboradores do setor de manutenção da empresa.

É importante reforçar a informação de que a única alteração física que será necessário ser realizada, é acrescentar no final de cada zona do circuito de aquecimento um cabo singelo 1mm² conforme indicação na figura 6, que será interligado as entradas digitais disponíveis (reservas) do CLP para poder identificar individualmente qual circuito ou quais circuitos poderiam estar em falha antes de iniciar a produção. Vale ressaltar também que fora esta alteração na ligação em série do circuito 24Vcc de aquecimento, não será feito outras alterações físicas nos circuitos de segurança, ou seja, não será acrescentado ou alterado mais nenhuma conexão nos painéis elétricos, caixas de passagens e/ou dispositivos eletrônicos, tendo em vista que o circuito de segurança atual é seguro e o foco da proposta de melhoria é “facilitar a identificação das falhas nas condições de segurança da linha de espelhos”.

Neste trabalho de identificação das falhas na linha, foi um resultado de alta produtividade de manutenção, pois, após várias observações tivemos a oportunidade de melhorias nas tarefas e em processos de manutenção, contribuindo também para o uso de uma ferramenta de grande ganho em melhoria contínua, que é o PDCA, resultando em um grande rendimento de produção, contabilizando um ganho com mão de obra e agilidade na execução de futuras falhas em equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR. S. Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao PROGRAMA seis sigma. Editora Faconi. Volume 1. 2002.

ALVES. C; DANTAS. L; FIGUEIREDO. L; SAKURABA. C; MOURA. E. AS Ferramentas da Qualidade Integradas ao Método de Solução de Problemas para a Melhoria dos Processos de uma Linha de Produção de uma Fábrica de Produtos Elétricos. (UFS) Roy: University of Iowa roy,2007

BIRKINSHAW, J.; MARK, K. 25 Ferramentas de Gestão. Um guia sobre os conceitos mais importantes ensinados nos melhores MBA's do mundo. Alta Books, 1º edição, 2018.

CUSTODIO, M. F. Gestão da qualidade e produtividade. São Paulo: Pearson, 2015.

GUEDES, Terezinha Aparecida; MARTINS, Ana Beatriz Tozzo; ACORSI, Clédina Regina Lonardan; JANEIRO, Vanderly. Estatística Descritiva. Projeto de Ensino. Universidade Federal de São Paulo, 2019.

MANN, D. Creating a *Lean* Culture, 2nd ed. CRC Press, Taylor and Francis Group, Ltd, New York, NY, 2010.

SORDI, J.O. Gestão por processos: uma Abordagem da Moderna Administração. Saraiva uni, 5º edição, 2017.

VICARI, Carlos Alberto. Integração *Lean* e Indústria 4.0. Monografia do curso de Pós Graduação em Engenharia Industrial 4.0. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. Machine That Changed the World. Simon and Schuster, New York, USA, 1990.

FOWLER, Richard. Fundamentos de Eletricidade. Volume 1-7. Ed.: Corrente Contínua e Magnetismo.

Jefferson Automação e Manutenção Industrial LTDA. Pressostato, como funciona e suas características.

Disponível em:

<https://www.jefferson.ind.br/conteudo/pressostato-como-funciona-e-suas-caracteristicas-.html>

Jornal do Vidro, Você conhece o processo de fabricação do espelho?

Disponível em:

<https://www.jornaldovidro.com.br/single-post/2020/08/04/voc%C3%AA-conhece-o-processo-de-fabrica%C3%A7%C3%A3o-do-espelho>

Papenkfort Franz, Esquemas Elétricos de Comando e Proteção, 1975

Kalatec Automação, Inversor de Frequência: Como Funciona, Tipos e Vantagens.

Disponível em:

<https://blog.kalatec.com.br/inversor-de-frequencia/>