

IAGO LINCON CAPARROS COALHETA

**ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO COM FOCO EM
ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE COMPONENTES E
CONJUNTOS INDUSTRIAIS – ESTUDO DE CASO APLICADO EM
UMA INDÚSTRIA DO RAMO ALIMENTÍCIO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

2023

IAGO LINCON CAPARROS COALHETA

**ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO COM FOCO EM
ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE COMPONENTES E
CONJUNTOS INDUSTRIAIS – ESTUDO DE CASO APLICADO EM
UMA INDÚSTRIA DO RAMO ALIMENTÍCIO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso da
Engenharia de Controle e Automação da
Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Câmpus
Santa Mônica, como requisito para a obtenção do
título de Graduação em Engenharia de Controle e
Automação

Orientador: Prof. Dr. Josué Silva De Moraes

Uberlândia

2023

IAGO LINCON CAPARROS COALHETA

**ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO COM FOCO EM
ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE COMPONENTES E
CONJUNTOS INDUSTRIAIS – ESTUDO DE CASO APLICADO EM
UMA INDÚSTRIA DO RAMO ALIMENTÍCIO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Câmpus Santa Mônica, como requisito para a obtenção do título de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Josué Silva de Moraes – UFU
Orientador

Prof. Me. Éder Alves de Moura – UFU
Avaliador

Prof. Dr. Renato Ferreira Fernandes Júnior – UFU
Avaliador

Uberlândia (MG), 17 de novembro de 2023

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Elétrica por me proporcionar um ensino de qualidade e contribuir com a formação de uma base sólida para encerramento desse ciclo.

Ao meu professor orientador Dr. Josué Silva de Moraes pelos direcionamentos e incentivos para realização deste trabalho e também durante todo o curso.

Aos professores, colegas e amigos pelas oportunidades e experiências que fizeram essa jornada ser mais valiosa e memorável.

RESUMO

Desde a revolução industrial e suas evoluções que moldam os padrões e modelos de funcionamento das grandes fábricas de bens de consumo, são observadas várias estratégias de manutenção para garantir o incremento de empresas com foco em alta produtividade alinhada ao aumento de confiabilidade, disponibilidade, custos de manutenção e inovações em suas máquinas de produção. Neste contexto, o presente estudo visa abordar e mostrar a eficiência de uma das vertentes dessas estratégias de manutenção que é a recuperação de conjuntos e componentes mecânicos e eletrônicos internamente na indústria por meio de recursos especializados visando atingir os indicadores e objetivos da indústria moderna conforme citados acima. Para isso, serão apresentados os principais conceitos e teorias existentes na literatura sobre o tema, a fim de embasar a proposta de desenvolvimento de um estudo de caso da aplicação desta estratégia de manutenção na planta industrial de uma indústria multinacional tabagista de modo que sua eficiência em aplicações industriais possa ser avaliada.

Palavras-chave: Manutenção, Recuperação de Componentes, Confiabilidade.; Disponibilidade de Máquina, Custos de Manutenção.

ABSTRACT

Since the industrial revolution and its evolutions that shape the standards and operation's models of large consumer goods factories, several maintenance strategies have been noted to guarantee the increase of companies focused on high productivity aligned with the increase of reliability, availability, maintenance costs and innovations in its production machines. In this context, the present study aims to address and show the efficiency of one of the aspects of these maintenance strategies, which is the recovery of sets and mechanical and electronic components internally in the industry using specialized resources in order to achieve the modern industry's objectives and indicators as mentioned above. For this, the main concepts and theories existing in the literature on this subject will be presented in order to support the proposal of developing a case study of the application of this maintenance strategy in the industrial plant of tobacco multinational company, in such a way that its efficiency in industrial applications can be evaluated.

Keywords: Maintenance, Components Recovery, Reliability, Machine Availability, Maintenance Cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas da Revolução Industrial (CARDOSO (2017) apud DW(2016))	15
Figura 2. Gerações da manutenção (Sousa, 2018).	18
Figura 3. Código de Cores Resistores (Instituto Federal de Santa Catarina, s.d).	22
Figura 4. Circuito Integrado Operação Lógica NAND (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, s. d.).	23
Figura 5. Componentes eletrônicos conectados por uma placa de circuito impresso (Tozzi, 2017).	23
Figura 6. Máquina formadora de cigarros.	25
Figura 7. Máquina Produção Carteiras.	26
Figura 8. Exemplo de peça quebrada gerando falha na máquina.	26
Figura 9. Acompanhamento de Produção pelo Operador.	27
Figura 10. IHM Sinalizando falha no equipamento.	27
Figura 11. Time Eletrônico Analisando possíveis causas da falha.	28
Figura 12. Componente identificado como defeituoso.....	28
Figura 13. Bancada de controle inicial de entrada e saída de itens para recuperação.	29
Figura 14. Bancada Organização Estratégia de Priorização recuperação conjuntos.....	30
Figura 15. Conjunto formado por componentes eletrônicos em uma PCI.	30
Figura 16. Modos de Falha Driver Acionamento.	31
Figura 17. Equipamento Giga de Teste.	32
Figura 18. Motor CC Utilizado para diagnóstico em conjunto com a giga de teste.....	32
Figura 19. Medidor de temperatura utilizado nos diagnósticos.	33
Figura 20. Osciloscópio utilizado para comparação de sinais em diagnósticos de falhas.	33
Figura 21. Multímetro utilizado nas identificações de falhas no circuito.	34
Figura 22. Estrutura identificador de defeitos em circuitos.	35
Figura 23. Identificador de defeitos operando (Rastre Curve, 2019).	35
Figura 24. Componentes eletrônicos sobressalentes para recuperação dos circuitos.....	36
Figura 25. Laboratório onde é realizado todo o processo descrito acima.	37
Figura 26. Falha apresentada durante acompanhamento a produção.	38
Figura 27. Operadores avaliando a falha na área transporte de carteiras.	39

Figura 28. (a) Esteira travando e desempilhando carteiras; (b) Eletrônico analisando possível falha de acionamento (c) Drive de acionamento do motor da esteira em falha indicado pela seta.....	39
Figura 29. Ordem de recuperação do drive danificado.	40
Figura 30. Drive conectado a Giga de teste para análise de falha.	41
Figura 31. motor CC utilizado na avaliação via giga de teste.	41
Figura 32. Botões configuração teste Giga.....	42
Figura 33. Osciloscópio mostrando ausência de pulso como sinal diferente do esperado.	42
Figura 34. Sinal Após recuperação do circuito.	43
Figura 35. Drivers Recuperados e Disponíveis para retorno a produção em caso de necessidade.	44
Figura 36. Tipos de conjuntos danificados.....	47
Figura 37. Tipos de componentes internos danificados.	47
Figura 38. Conjuntos danificados por fornecedor.	47
Figura 39. Modelo simplificado base de dados analítica.	48
Figura 40. Valores totais laboratório de recuperação 2023.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CI	Circuito Integrado
IHM	Interface Homem Máquina
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1. REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	15
2.2. MANUTENÇÃO	16
2.2.1. Tipos de manutenção.....	17
2.2.2. Indicadores de manutenção	18
2.3. COMPONENTES	20
2.3.1 Elementos de máquina	20
3.2 Circuitos Eletrônicos	21
3.2.1 Componentes Eletrônicos	21
3. METODOLOGIA	24
3.1. TIPOLOGIA DA PESQUISA.....	24
3.2. PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

A produção de bens de consumo teve seu crescimento estritamente ligado ao surgimento e a evolução da revolução industrial que teve início no final do século XVIII e que segue em constante movimento até os dias atuais se adaptando às novas tecnologias e meios de relacionamento e comunicação na sociedade. Segundo Iglesias (1984), a revolução industrial emanou a partir do desenvolvimento de máquinas capazes de realizar as atividades antes feitas pelo homem no processo de produção de modo que essas se tornaram a ferramenta principal nesse processo de maquinofatura deixando de ser apenas estruturas de apoio ao trabalho manual.

Toda essa mudança citada acima trouxe um novo conceito de produção em série visando abastecer um mercado consumidor grande e anônimo fomentando a escalabilidade dos negócios e indústrias. Com isso, a terceira e quarta fase da revolução industrial indicam um foco total em automatização da produção, por meio da implementação de novidades tecnológicas como componentes eletrônicos e microcomputadores e da mudança de metas e estratégias de negócio com a redução dos grandes estoques e a produção por demanda centrada em alto rendimento, disponibilidade e redução de custos. “A Quarta Revolução Industrial oferece um salto de produtividade com custos reduzidos e maior integração entre o físico e o virtual” (CARDOSO, 2017 apud CASSAPO, 2016).

Para atingir esses novos objetivos demandados pela evolução da indústria, é de suma importância a utilização da engenharia de manutenção que consiste na gestão de todos os recursos e ativos da indústria com base em estratégias de planejamento, controle e execução de atividades para manter as condições básicas de funcionamento do equipamento evitando maquinário indisponível para produção, acidentes, problemas de qualidade de produto e também lucros cessantes provenientes de falta de abastecimento no mercado ou gastos elevados com logística a fim de impedir que isso aconteça. De acordo com Kardec e Nascif (2009), engenharia de manutenção consiste em otimizar padrões e processos objetivando maior produtividade e menores riscos de acidentes aos colaboradores e ao meio ambiente por meio da consolidação dos processos de manutenção.

Nesse trabalho será apresentado um exemplo de melhoria de processo relacionado a manutenção voltada para componentes eletrônicos, tendo em vista que esses em sua maioria são geridos pelo conceito de *run to failure*, ou seja, fazem parte da manutenção corretiva. Com base nisso, visando otimizar a gestão desses elementos com foco em redução de custos, de peças

paradas em estoque e aumento de disponibilidade de máquina, surge a proposta de um estudo de caso aplicando a recuperação de componentes de um determinado sistema eletrônico de modos a utilizar recursos disponíveis na planta para reestabelecer o funcionamento padrão do mesmo sem necessidade de compra ou utilização de um novo oriundo do fabricante.

O desenvolvimento do projeto consiste em realizar o reparo de componentes de um conjunto eletrônico na planta fabril da empresa X, industrial multinacional tabagista, para posterior análise de resultados relacionados aos principais indicadores da engenharia de manutenção, avaliando custos de manutenção e logística, MTTR de máquina, oportunidades de inovações, confiabilidade dos conjuntos recuperados e valor de peças em estoque tanto para o item objeto do estudo quanto para os demais itens em caso de replicação da estratégia para todo o parque fabril dessa indústria alimentícia.

1.1 Justificativa

Considerando o cenário atual da produção de bens de consumo alinhada ao crescimento exponencial da automatização dos setores produtivos seguindo o conceito de indústria 4.0, é de suma importância um estudo acerca do tema de recuperação de componentes eletrônicos como uma forma de estratégia da engenharia de manutenção. Isso em virtude dos desafios constantes relacionados a redução de estoques, aumento de produtividade e redução de custos de modo que o foco de investimentos financeiros e tempo dos recursos humanos dessa indústria sejam direcionados para novas inovações e tecnologias que estão em constante mudança. Dessa forma, o estudo pode servir de base para viabilizar a aplicação dessa estratégia em outros setores da indústria e servir como base para estudos futuros de otimização do processo aplicado acompanhando as constantes mudanças e evoluções da indústria 4.0.

1.2 Objetivo

O presente estudo tem como objetivo realizar um estudo de caso aplicando o conceito de recuperação de componentes eletrônicos como uma vertente da estratégia de manutenção presente na planta industrial de uma empresa do ramo alimentício, a fim de apresentar como o processo é realizado e colher resultados quantitativos acerca de indicadores de manutenção visando consolidar uma análise comparativa de ganhos com a utilização em escala do conceito apresentado e aplicado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Coelho (2016), a Revolução industrial se iniciou no final do século XVIII e Início do século XIX na Inglaterra com o crescimento da utilização de máquinas e ferramentas, movidos principalmente pela crescente dos métodos de geração de energia oriundos do carvão e do vapor, ao invés de permanecer com os trabalhos manuais e artesanais para produção de bens de consumo. A revolução industrial foi marcada por etapas de evolução que foram moldando toda a sociedade e as indústrias de acordo com a Fig. 1.

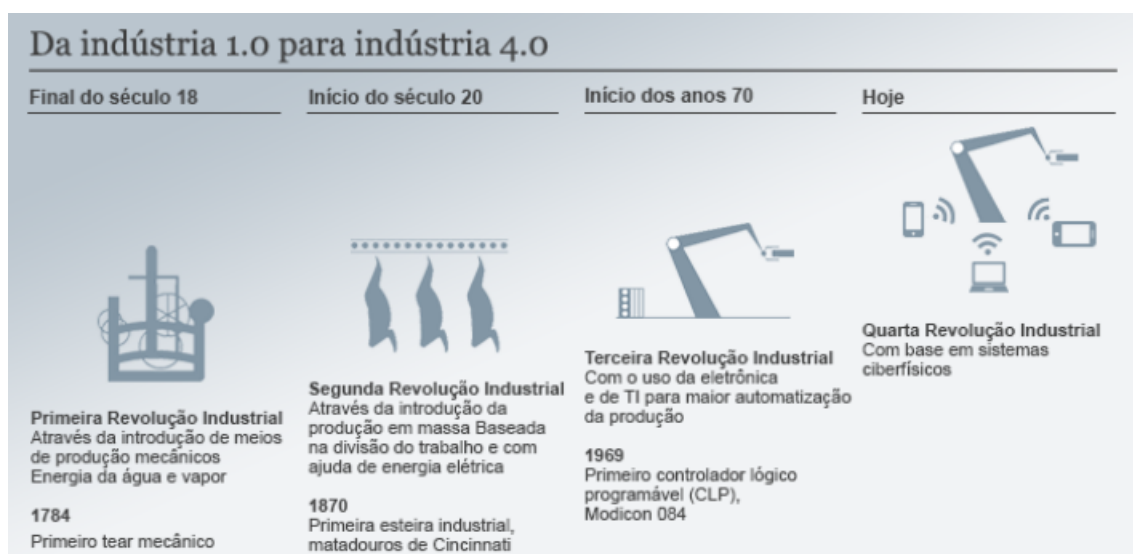


Figura 1. Etapas da Revolução Industrial (CARDOSO (2017) apud DW(2016))

Segundo Silva e Gasparin (2013), a segunda revolução industrial foi representada pelo incremento da eletricidade, meio de comunicação e meios de transporte bem como pelo foco em maximização de lucros, alta produtividade baseada em especialização de tarefas e na produção em massa. Outros pontos relevantes desse período é a consolidação do fordismo e taylorismo como modelos de trabalho para sustentar as grandes produções para atender o consumo também crescente que se observava (BOETTCHER, 2015).

A terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Tecnológica marca o início das grandes novidades tecnológicas em uma velocidade já acelerada baseada na aplicação de eletrônica e computadores nas fábricas, automatizando

ainda mais os sistemas produtivos e, conseqüentemente, aumentando a produtividade (PENA,2016). Além disso, esse período é marcado pela implementação de alguns componentes chaves para os seguintes passos da industrialização como por exemplo o transistor, os primeiros microcomputadores e robôs aplicados na produção.

A quarta Revolução Industrial é considerada a fase em que estamos vivendo nos dias de hoje com o desenvolvimento de conceitos disruptivos como impressão 3D, Machine Learning, Business Intelligence, Inteligência Artificial, Realidade Virtual, Nanotecnologia como um dos principais agente de transformação, entre outros temas extremamente contemporâneos e aplicáveis na indústria (MACEDO, 2016). Nessa Fase também, os objetivos e estratégias das empresas também se moldam por um viés ainda mais focado na redução de custos com alta produtividade e com foco permanente em inovações (CASSAPO,2016).

2.2. MANUTENÇÃO

Segundo Monteiro (2013), toda máquina passa por um processo de desgaste e para isso devem ser aplicadas algumas atividades como por exemplo limpezas, lubrificações, trocas de peças, ajustes e inspeções durante sua vida útil de trabalho para que possa se manter em condições básicas de funcionamento. O conjunto de todos esses processos geridos de maneira estratégica e com base nos objetivos da indústria moderna de redução de custos e alta disponibilidade de máquina é denominado manutenção.

A manutenção pode ser dividida em quatro gerações acompanhando as fases das revoluções industriais e seus padrões definidos em cada uma delas (KARDEC; NASCIF, 2009). A primeira Geração se caracteriza pela quase ausência de automatização e pela simplicidade dos equipamentos somados à baixa demanda do mercado consumidor gerando assim um baixo nível de preocupação com estratégias de manutenção e, dessa forma, seguindo com as manutenções corretivas não planejadas no sistema de run to failure. (KARDEC; NASCIF, 2009).

A segunda Geração influenciada pela segunda revolução industrial, começa a apresentar uma evolução no incremento de tecnologias nos equipamentos, bem como uma mudança na visão de negócio, passando a ter mais valor temas como a produtividade e a gestão de custos devido ao aumento da demanda do mercado por bens de consumo. Dessa maneira, os conceitos de estratégias de manutenção ganham força com o início da implementação de planejamento e controle de manutenções e análises de causas raiz de

falhas para evitar recorrências (KARDEC; NASCIF, 2009).

A terceira geração movida pela mudança da economia global mais focada em produções em lotes e redução de estoques desenvolveu temas ainda mais profundos relacionados a manutenção como por exemplo a engenharia de manutenção e as medições preditivas apoiadas no crescimento da entrada de componentes eletrônicos na indústria (KARDEC; NASCIF, 2009).

A quarta geração têm como principal foco garantir a disponibilidade de máquina, a confiabilidade dos processos de manutenção e produção e a redução de custos de manutenção e logística de modo a conseguir investir tempo e dinheiro em inovações acompanhando as constantes mudanças da indústria 4.0.

2.2.1. Tipos de manutenção

O conjunto de normas técnicas brasileiras (NBR) define que existem três tipos de manutenção considerados principais, sendo esses a corretiva, a preventiva e a preditiva.

- **Manutenção Corretiva** – Deve ser realizada no momento da falha para evitar maiores danos ao equipamento ou a integridade dos operadores e meio ambiente ou em casos em que a máquina não consegue realizar sua função principal devido a causa raiz da falha (VIANA,2002).

- **Manutenção Preventiva** – Caracterizada pela definição de um período em que serão realizadas as atividades de manutenção em cada parte do equipamento de acordo com estudos e análises, de forma a reduzir o risco de falhas inesperadas durante processos de produção (VIANA,2002). Dessa forma, é possível planejar janelas de produção para realização das atividades estipuladas para cada intervalo em um ambiente controlado.

- **Manutenção Preditiva** – Consiste em monitoramento de tendências e padrões dos componentes da máquina visando realizar a substituição do mesmo somente quando estiver de fato muito próximo ao final de sua vida útil, prevenindo falhas não planejadas no equipamento e reduzindo ao mínimo o número de preventivas com base em intervalos de tempos (VIANA,2002). A medição preditiva pode ser realizada por meio de análise de lubrificantes, vibrações mecânicas, termografias e análises via aplicação de ultrassom.



Figura 2. Gerações da manutenção (Sousa, 2018).

2.2.2. Indicadores de manutenção

2.2.2.1 MTTR

O *Mean Time to Repair* é um indicador importante quando se trata de manutenção e consiste em mensurar o tempo médio gasto para reestabelecer o funcionamento padrão da máquina após falhas relacionadas a manutenção ,ou seja, quanto tempo em média meu equipamento está deixando de produzir em detrimento de uma intervenção relacionada a manutenção (MEGIOLARO, 2015). Dessa forma, quanto menor for esse número, melhor é o indicador e representa que a saúde do seu processo está boa pois os impactos estão sendo controlados de maneira rápida e eficaz aumentando sua disponibilidade de máquina para a produção. Segundo Viana (2016), o MTTR pode ser obtido utilizando a Eq. (1) e indica bons resultados quanto menor o valor da mesma.

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{ Horas em reparo}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (1)$$

2.2.2.2 Confiabilidade

A confiabilidade pode ser descrita como a probabilidade de um equipamento realizar suas funções pré-determinadas por um tempo definido sem que sofra grandes falhas ou perda de eficiência (LEWIS,1996). Em outras palavras é a taxa de falha de um sistema produtivo diretamente ligada a manutenção do mesmo. O método mais comum para se medir a confiabilidade de um sistema produtivo na indústria atualmente é a análise

Weibull.

2.2.2.3 Custos de manutenção

Para todas as empresas, ser rentável e obter lucros no fechamento final é primordial para manutenção do negócio e da competitividade em meio ao mercado. Para isso, as indústrias têm trabalhado cada vez mais com estratégias pautadas em redução de custos sem diminuição de produtividade, de maneira que além de manter a sustentabilidade do negócio ainda consegue direcionar investimentos para inovações tecnológicas e oportunidades de mercado visando também o longo prazo (JUNIOR, 2016). Ainda segundo Junior (2016), “Este é o ponto em que o custo de manutenção entra como fator estratégico no ambiente industrial, pois quando o alinhamento entre o custo de manutenção em ativos e às necessidades operacionais não é concreto ou real, os resultados não serão satisfatórios, devido aos gastos inesperados que o departamento de manutenção pode realizar em um curto espaço de tempo.”

Com base no contexto apresentado acima, fica claro que é imprescindível uma gestão estratégica que proporcione um equilíbrio entre redução de custos de manutenção, confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos de uma fábrica para que essa pressão da economia global por redução de custos não impacte outros indicadores do negócio. Para isso, é necessário que essa gestão fique centralizada em um responsável por balancear todas as variáveis com foco em atingir os objetivos e metas definidos no plano estratégico da empresa. O Engenheiro de manutenção é a figura mais recomendada para exercer tal função ponderando cada tomada de decisão para manter a saúde do planejamento dos indicadores da área responsável pela manutenção. (PERES E LIMA, 2005)

A manutenção de ativos, portanto, passa por uma gestão de diversos recursos inerentes ao processo de manutenção sendo os principais relacionados a custos de peças, materiais de trabalho, serviços prestados e recursos humanos para garantir a operação adequada do equipamento e dos processos produtivos em si (FERREIRA, 2007).

2.2.2.4 Estoque de sobressalentes

Estoques são itens armazenados por indústrias e empresas em seus ambientes operacionais com expectativa de consumo pelo ciclo de produção ou comercialização visando manter o fluxo de trabalho em funcionamento contínuo (ASSAF NETO, 2009). Os principais conjunto de produtos que circulam pelos estoques são matérias-primas , peças de reposição para máquinas , produtos finais para comercialização e materiais de suporte como por exemplo materiais de escritório e de limpeza (DIAS, 2010).

2.3. COMPONENTES

2.3.1 Elementos de máquina

Com a indústria 4.0, as máquinas têm se tornado cada vez mais complexas e com grandes quantidades elementos mecânicos e eletrônicos formando cada grupo no sistema produtivo. Elementos de máquina são todos os componentes que fazem parte de um conjunto e tem sua função específica (MESQUISTA, 2022). De acordo com Barbosa (2011), os tipos de elementos de máquinas são Elementos de fixação, Elementos de apoio, elementos elásticos, elementos de transmissão e elementos de vedação. Compondo cada um desses tipos, estão os parafusos, arruelas, retentores, rolamentos, correias, polias, entre tantos outros que vão formando os grandes grupos dos equipamentos. Esses são os tipos de elementos de máquina mecânicos, porém nós temos também os elementos eletrônicos que compõem os grupos de funcionamento da máquina.

Um componente eletrônico é todo dispositivo conectado a um circuito eletrônico que transmite a corrente elétrica através de um elemento condutor, semicondutor ou no vácuo (CINTRA, 2022). Os componentes também podem ser classificados em categorias com base em sua utilização conforme a seguir:

- **Entrada de Dados:** Interface Homem-Máquina – Exemplos: Botões e Capacitores.

- **Processamento:** Lógica do circuito – Exemplos: Circuitos integrados, transistores e Microcontroladores.

- **Saída de Dados:** Mostram os resultados – Exemplos: LEDs, Displays e IHM.

- **Componentes de Apoio** – Proteção do circuito – Exemplos: Resistores, diodos e

fontes de alimentação.

- **Transmissão de dados** – Transferência de energia – Exemplos: Cabos e Fibras óticas

- **Leitura de dados** – Ler um sinal e/ou uma entrada de dados – Exemplos: Sensores.

Dessa forma, pode-se dizer que os principais componentes eletrônicos que compõe as placas e circuitos das máquinas na indústria são os resistores, diodos, LEDs, sensores, capacitores, Circuitos Integrados, transistores, botões, potenciômetros, cabos, fibras óticas, relés e disjuntores.

Os principais itens que são recuperáveis nas indústrias são os cabos, fibras óticas, placas de acionamento formados por circuitos elétricos e motores. Com relação aos cabos e fibras o processo de recuperação consiste na recuperação dos cabos como medidas definitivas e emendas deles quando necessário para retomar a produção de forma paliativa até a chegada de um novo componente. Com relação as placas de acionamento, o foco da recuperação é identificar qual elemento está com defeito e realizar a substituição apenas do componente danificado ao invés de trocar todo o sistema comprando direto do fabricante. E sobre os motores o processo de recuperação consiste em identificar se a falha é mecânica ou eletrônica e proceder com o processo de recuperação de acordo com a causa encontrada.

3.2 Circuitos Eletrônicos

Circuito elétrico é basicamente um sistema de componentes eletrônicos conectados, cada um com suas características e funções específicas, de modo a influenciar a saída para atingir os resultados desejados na aplicação desse circuito nas mais diversas tecnologias. (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

3.2.1 Componentes Eletrônicos

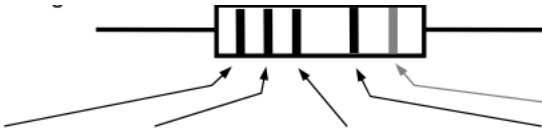
O capacitor é um componente eletrônico capaz de armazenar energia elétrica em seu campo elétrico e dessa maneira otimizar a utilização dessa energia no circuito ao qual está fazendo parte (MUSSOI; VILLAÇA, 2000).

Já o diodo é um dispositivo constituído por materiais semicondutores que segundo Boylestad (2013) estão compreendidos entre materiais com boa condução e isolantes e os

mais utilizados nos circuitos modernos são Germânio (Ge) e Silício (Si). Para que os diodos exerçam sua função no sistema, é necessário adicionar algumas impurezas aos semicondutores do tipo P e N, gerando a possibilidade de se obter materiais do tipo PN. Dessa forma, dependendo da forma como o diodo for polarizado (reversa ou diretamente), ele dificulta ou facilita a passagem da corrente elétrica no circuito, podendo ser aplicado para atingir os valores necessários como saída do mesmo a depender da aplicação desejada. (CARVALHO,2021)

Resistores elétricos são componentes que oferecem uma barreira a passagem de corrente elétrica em um determinado ponto de um circuito elétrico, gerando assim uma queda de tensão e uma dissipação de energia em forma de calor e podendo ser aplicado em diversas composições como por exemplo ligados em série e paralelo para influenciar esses valores de queda de tensão ao decorrer do sistema e obter a saída esperada para a aplicação desejada com esse circuito (IFSC, s.d.).

Para saber como escolher o resistor correto para utilizar em sua aplicação, basta definir seu valor e tolerância e utilizar o código de cores da Fig. 3 para identificação.



COR	1ª FAIXA (1º DÍGITO)	2ª FAIXA (2º DÍGITO)	3ª FAIXA (MULTIPLICADOR)	4ª FAIXA (TOLERÂNCIA)	FAIXA EXTRA (5ª ou 6ª) (COEFICIENTE DE TEMP.) nem sempre presente
Preto	—	0	x 1	—	—
Marrom	1	1	x 10	1%	100
vermelho	2	2	x 100	2%	50
Laranja	3	3	x 1000	3%	—
amarelo	4	4	x 10.000	4%	—
Verde	5	5	x 100.000	—	—
Azul	6	6	x 1.000.000	—	—
Violeta	7	7	—	—	—
Cinza	8	8	—	—	—
Branco	9	9	—	—	—
Ouro	—	—	x 0.1	5%	—
Prata	—	—	x 0,01	10%	—

Figura 3. Código de Cores Resistores (Instituto Federal de Santa Catarina, s.d).

Circuito integrado é basicamente a junção de diversos circuitos eletrônicos analógicos e digitais em apenas um componente eletrônico cuja aplicação é bastante vasta e pode ser utilizada para realizar combinações lógicas que ao complementarem um circuito eletrônico trazem uma infinidade de aplicações práticas na indústria moderna como por exemplo microprocessadores, circuitos de drivers de potência, entre outros (IDOETA; CAPUANO , 1997). Na Figura 4 é mostrado um exemplo de circuito

integrado contendo operação lógica NAND.



Figura 4. Circuito Integrado Operação Lógica NAND (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, s. d.).

Placas de circuito impresso consiste em uma superfície utilizada para se posicionar, fixar e conectar diversos componentes eletrônicos que compõe um circuito elétrico de modo que se obtenha na prática o resultado da aplicação estimada nas simulações de projetos. O material da placa é o que faz ela ser a base para esses circuitos, pois ele é isolante e ao mesmo tempo revestida de camadas de um condutor capaz de ser corroído gerando as ligações entre os componentes. As placas de circuito impresso em resumo são responsáveis por possibilitar que um circuito seja otimizado para aplicação em diversos campos da indústria (PINTO; OTANI; LOLIS, 2012).

Na Figura 5 pode-se observar uma placa de circuito impresso utilizada em uma aplicação por meio da conexão de componentes eletrônicos já explicitados neste trabalho.

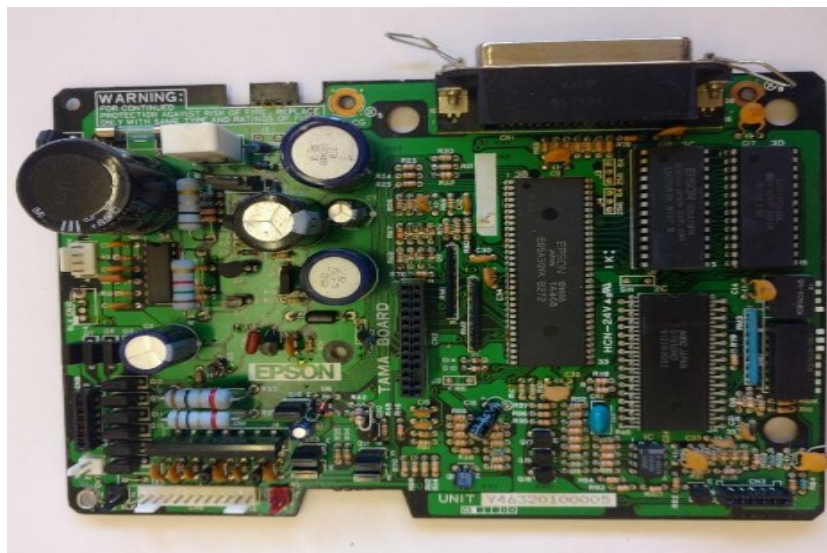


Figura 5. Componentes eletrônicos conectados por uma placa de circuito impresso (Tozzi, 2017).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será exposta a metodologia utilizada para a implementação de um processo de recuperação de componentes eletrônicos para estratégia de correção corretiva.

3.1. TIPOLOGIA DA PESQUISA

Para fins deste estudo, a abordagem de resolução de problemas foi caracterizada como quantitativa. Segundo Mattar (2001), tal pesquisa requer a confirmação de hipóteses por meio da aplicação de estatísticas estruturadas e do estudo de um número representativo de casos para recomendar um curso de ação final.

Este trabalho examina a pesquisa de estudo de caso como abordagem metodológica, definida por Triviños (1987) como um estudo empírico que investiga um determinado fenômeno em um contexto real contemporâneo por meio da análise de um ou mais objetos de análise (casos), possibilitando assim uma análise ampla e em -pesquisa aprofundada. O conhecimento detalhado sobre os fenômenos pode até levar a teorias.

3.2. PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO

A partir da definição do tema e dos focos do presente estudo, foram definidas etapas a serem seguidas para a aplicação do estudo de caso visando atingir o objetivo proposto bem como os materiais utilizados. A metodologia é padrão utilizada para quase todos os casos de recuperação de componentes na fábrica em questão, tendo apenas algumas etapas adaptadas dependendo de cada caso.

O gatilho do fluxo geralmente é uma falha que a máquina apresenta durante a produção e que gera a necessidade de uma análise em campo para identificar o conjunto que está apresentando defeito. A partir desses pontos se inicia todo o processo que contempla esse estudo de caso. Por isso, antes de acessar os detalhes de cada passo, segue uma visão geral do funcionamento de uma máquina nessa linha de produção.

A planta fabril do local escolhido para esse estudo conta com microlinhas de produção chamadas de módulos e composta de um conjunto de máquinas que abastecidas

com as matérias primas adequadas recebem o fumo e o filtro previamente produzidos e realizam a formação do cigarro como é conhecido. Todo esse processo é seguido do transporte até o grupo de equipamentos que realizam a formação da carteira, do pacote e da caixa para enfim escoamento da produção para a área logística e de transportes.

Portanto, cada linha possui um grupo de máquinas (Fig. 6 e 7) que durante a produção apresentam falhas em seu funcionamento (Fig. 8) que são monitoradas por sensores e dispositivos de segurança para apresentar o local do equipamento que foi identificado um problema por meio de uma frase e uma indicação na IHM direcionando o local que deve ser observado pelo operador para retirada de possíveis acúmulo de material, sujeiras, peças fora de posição e peças danificadas que possam estar gerando esse impedimento da máquina. Essas paradas ocorrem pois o sistema é bastante inteligente e interrompe o funcionamento evitando quebras e estragos maiores geradas por defeitos pequenos que são comuns durante uma fabricação em massa e em alta velocidade.



Figura 6. Máquina formadora de cigarros.



Figura 7. Máquina Produção Carteiras.



Figura 8. Exemplo de peça quebrada gerando falha na máquina.

A seguir são descritas as fases na implementação do processo de recuperação de componentes da empresa X:

- **Etapa A – Acompanhamento de uma máquina em funcionamento:** Durante a produção regular, o operador deve além de abastecer as matérias-primas necessárias acompanhar todo o processo com o auxílio das IHM para identificar possíveis alarmes ou falhas geradas para sinalizar anomalias no equipamento, como mostrado na Fig. 9.

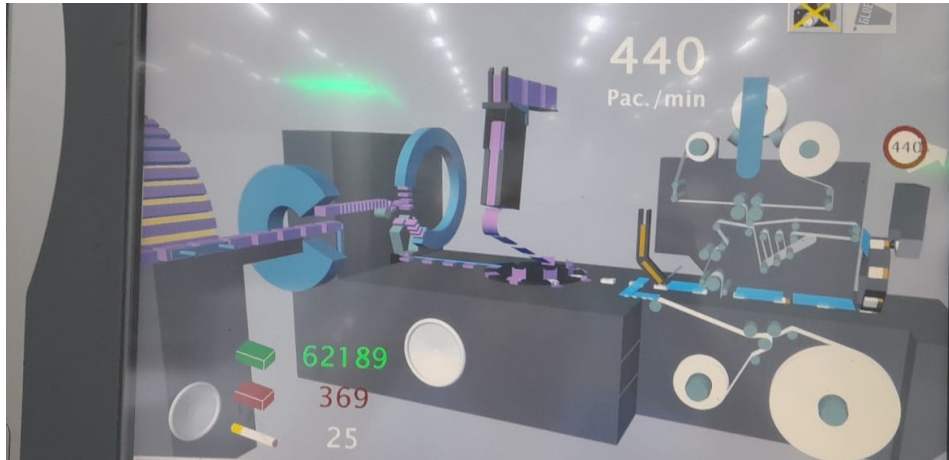


Figura 9. Acompanhamento de Produção pelo Operador.

• **Etapa B – Identificação de Falha durante a produção:** Conforme dito anteriormente, o processo produtivo é interrompido em alguns momentos por falhas que sinalizam mal funcionamento e anomalias em alguma etapa do processo que geram paradas na máquina (Fig. 10). Nesses momentos é importante uma análise do responsável em torno desse problema para entender em qual local ele se encontra, qual a natureza (mecânico ou eletrônico) e qual a gravidade para direcionar os esforços de maneira mais efetiva.

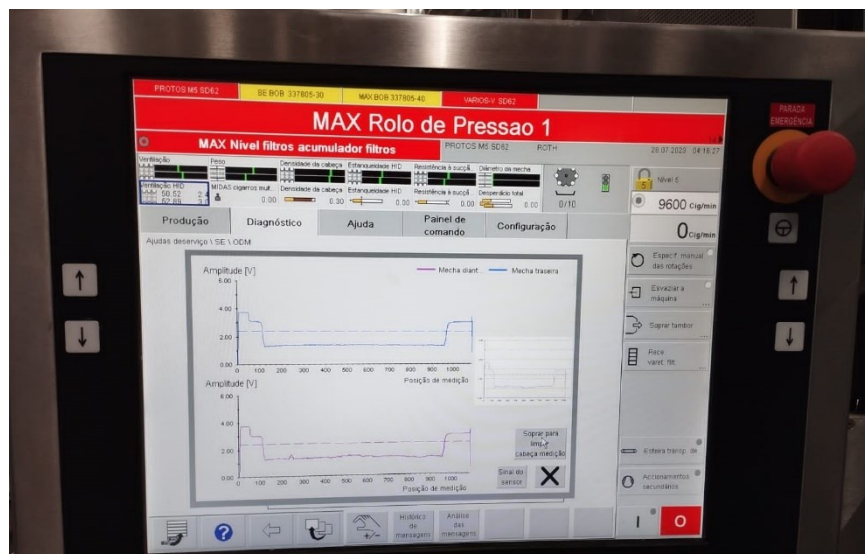


Figura 10. IHM Sinalizando falha no equipamento.

Dessa forma, identificando uma forte correlação com uma falha de cunho eletrônico, ele deve acionar o time da manutenção eletrônica (Fig. 11) que irá fazer o atendimento para analisar o “caminho” da falha passando pela identificação da área do defeito, sensores, cabos, painel elétrico, motores, drivers, ligações elétricas pelo diagrama, entre outros pontos para encontrar o componente que está impedindo o

funcionamento.



Figura 11. Time Eletrônico Analisando possíveis causas da falha.

Após identificar o componente defeituoso (Fig. 12), o eletrônico deve seguir as tratativas para cada caso, mas que geralmente são resolução no mesmo momento por meio de religar corretamente elementos do diagrama, itens com mal contato e resets. ou resoluções com MTTR maior passando por troca de componentes caso houver em estoque ou envio para recuperação em situações de não haver disponibilidade do item no almoxarifado.

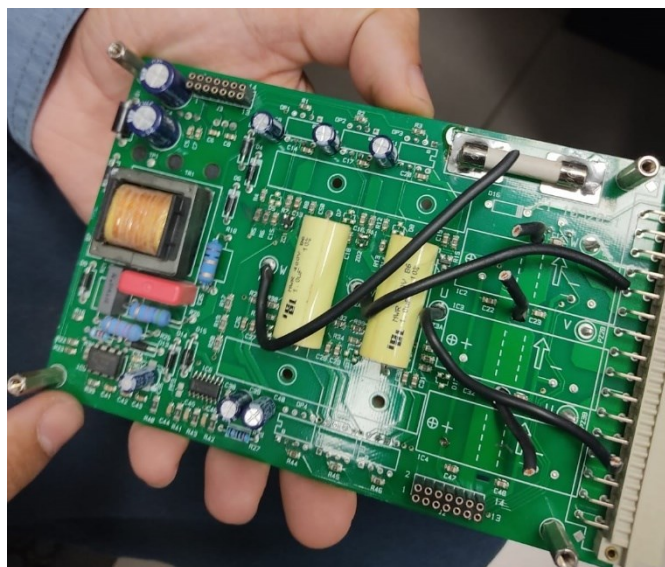


Figura 12. Componente identificado como defeituoso.

• **Etapa C – Substituição do Item e Processo de envio para recuperação:** Após identificar a peça com defeito, é realizada a substituição dela por uma em condições de uso e a danificada é enviada para recuperação dando início ao processo de gestão dos itens em recuperação (Fig. 13). Após finalizar a intervenção na máquina, o eletrônico que encontrou o defeito deve realizar a abertura de uma ordem de manutenção no SAP® informando todos os dados necessários como equipamento de origem, qual a falha observada na IHM, qual a falha avaliada após análise e demais informações que possam ser pertinentes a recuperação.



Figura 13. Bancada de controle inicial de entrada e saída de itens para recuperação.

Posteriormente ao registro e mapeamento da atividade via ordem de manutenção no sistema, o item deve ser direcionado a bancada de controle de entrada e saída do laboratório de onde será feita a entrada aos locais corretos no fluxo do laboratório. Baseado em uma estratégia de priorização, os componentes ficam alocados nas devidas bancadas para controle interno da evolução dos reparos e de retorno para testes na linha de produção antes de serem novamente disponibilizados para utilização regular.



Figura 14. Bancada Organização Estratégia de Priorização recuperação conjuntos.

Na bancada da Figura 14, cada divisória representa um nível de prioridade e consequentemente a ordem em que serão iniciados os processos de diagnóstico e conserto com base nos direcionamentos de prioridade de quantidade disponível em estoque, equipamentos de origem prioritários a nível de negócio, entre outros fatores que baseiam essa organização.

• **Etapa D – Realizar Diagnóstico do Componente:** Para identificação de quais componentes podem estar danificados em um conjunto, são realizados alguns testes utilizando equipamentos específicos de modo a obter um diagnóstico mais preciso e, dessa forma, direcionando os recursos disponíveis para solução do defeito e retorno as condições básicas de funcionamento do item. Para isso, o ponto de início desse processo é o entendimento de qual conjunto será analisado de modo a traçar uma linha de análise condizente com sua lógica de funcionamento.

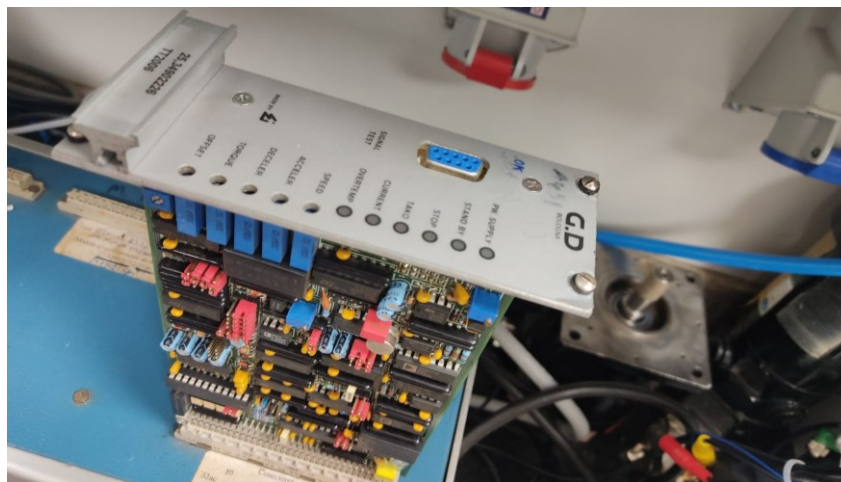


Figura 15. Conjunto formado por componentes eletrônicos em uma PCI.

Para realizar as verificações e obter um diagnóstico mais preciso de em qual microcomponente se observa a falha são realizados alguns testes que serão indicados a seguir. Uma das primeiras observações a ser feita é com relação aos modos de falha presentes no próprio driver (Fig. 16), pois na maioria das vezes em que o item apresenta falha, um led indica o efeito apresentado facilitando o entendimento do defeito e o direcionamento da falha para uma melhor identificação de onde está o problema.



Figura 16. Modos de Falha Driver Acionamento.

Cada modo de falha indica um modelo esperado de mal funcionamento, por isso é importante o eletrônico que realizou o atendimento se atentar a esse ponto no momento da retirada do conjunto da máquina para facilitar o início da investigação por parte do técnico do laboratório.

Outro sistema de verificação importante é a utilização de um equipamento chamado giga de teste (Fig. 17) no qual se conecta o driver em questão aplicando tensão e/ou frequência nele. Com isso, é verificado o comportamento de um motor ligado em sua saída após a realização de alguns testes como acionamento de parada, rotação inversa do eixo, rotação natural do eixo e modos de falha indicados nos leds comentados anteriormente para auxiliar na confirmação de que de fato o item se encontra apresentando alguma falha em seu funcionamento, contribuindo também, no entendimento do efeito observado facilitando a identificação do componente defeituoso com suporte de alguns testes posteriores.

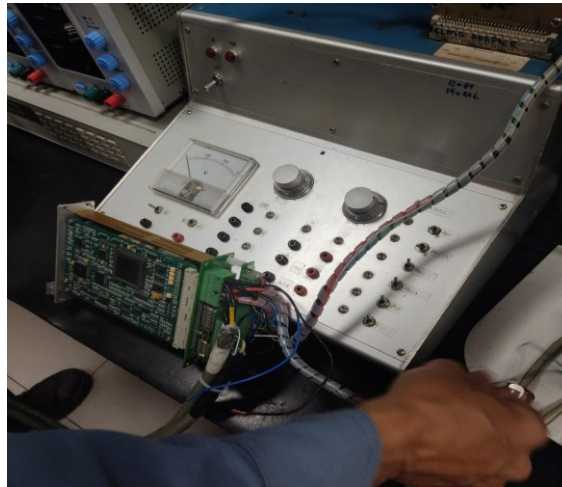


Figura 17. Equipamento Giga de Teste.

Esse teste utilizando a giga de teste é um dos mais utilizados e efetivos do laboratório da operação em questão, pois é de extrema importância que seja verificado que de fato o problema era nessa peça e não em algum outro ponto da máquina para que efetivamente seja investido tempo e recursos na recuperação de itens em falha e também para identificar o modelo de falha observado que direcionará todos os passos seguintes visando encontrar o componente interno defeituoso.

Para utilização dessa giga de teste são conectados cabos do equipamento no driver e também um motor que pode ser CC ou CA dependendo do tipo de componente a ser avaliado de modo a testar os efeitos nele e simular assim quais os defeitos podem ter apresentado na máquina em produção, facilitando o diagnóstico.



Figura 18. Motor utilizado para diagnóstico em conjunto com a giga de teste.

Além dos equipamentos citados acima, outro muito simples e efetivo é utilizado com frequência para auxiliar na identificação do local da anomalia em um conjunto de acionamento, é um medidor de temperatura digital conforme observado na Fig. 19. Esse instrumento é muito útil para identificação de temperatura elevada em um acionamento, indicando um defeito e também ajudando a detectar a área específica em que se encontra essa variação, assim podendo sinalizar qual a região em que se encontra o componente defeituoso e contribuindo para trazer foco a análise.



Figura 19. Medidor de temperatura utilizado nos diagnósticos.

Mais uma opção de instrumento para realização de diagnósticos é o osciloscópio (Fig. 20). Esse material mostra de forma visual como os sinais elétricos de um componente estão se comportando em cada situação, e dessa forma, auxilia na identificação de falhas realizando comparações entre os sinais teóricos e os visualizados na prática ou também realizando comparações entre as formas gráficas de um componente sem falha e um apresentando erro para encontrar em que local está indicando diferenças que podem significar defeitos. Também se utiliza outro recurso, o multímetro (Fig. 21), para medições de valores variados ao decorrer do circuito, podendo ser aplicado para identificar falhas em regiões específicas do sistema.



Figura 20. Osciloscópio utilizado para comparação de sinais em diagnósticos de falhas.



Figura 21. Multímetro utilizado nas identificações de falhas no circuito.

O último instrumento que é utilizado no laboratório da fábrica objeto desse estudo é uma placa de dispositivos (Fig. 22) que compila vários desses recursos em conjunto a um programa computacional que é capaz de realizar vários testes e comparações utilizando drivers com bom e mal funcionamento e realizar uma varredura de componentes com possibilidade grande de falha dentro do circuito de maneira muito mais fácil e rápida. Por esse motivo, o nome dado a esse sistema é identificador de defeitos e é utilizado majoritariamente para testes em massa de componentes do sistema e comparando com componentes em bom estado de maneira a identificar uma possível falha em um ponto. Por exemplo, é possível testar todos os pontos de um circuito integrado e comparar com os sinais e valores nominais ideais e encontrar o defeito em um terminal específico.



Figura 22. Estrutura identificador de defeitos em circuitos.



Figura 23. Identificador de defeitos operando (Rastre Curve, 2019).

Com base em todo esse processo descrito e utilizando todos esses instrumentos de diagnóstico, é possível identificar quais componentes específicos do circuito estão defeituosos e realizar a próxima etapa que seria a substituição apenas desses elementos para reestabelecer a condição de funcionamento do drive de acionamento.

• **Etapa E – Recuperação do Componente/Conjunto:** Após a descoberta do componente danificado, é iniciado o processo de substituição por um novo e dessa forma o circuito volta a funcionar como deveria e consequentemente o conjunto todo também, podendo ser disponibilizado novamente para utilização em produção quando necessário. Para que essa recuperação seja feita de maneira mais rápida, é necessário

fábrica, fornecedor, tipo de drive e como foi recuperado para que possam ser realizadas análises de tendência em relação a esses componentes danificados e quantificar os resultados financeiros aplicados utilizando essa estratégia. Dessa, forma é possível mapear todo o setor mostrando os benefícios e conseguindo investimentos para o mesmo e para outras iniciativas inovadoras da planta fabril em questão.

• **Etapa H – Fechamento do trabalho com resultados, discussões e oportunidades de trabalhos e aplicações futuras:** Fechar as conclusões oriundas do trabalho com base nos resultados e na metodologia apresentada para validar o objetivo do trabalho.

Todo o processo descrito anteriormente será realizado no Laboratório da empresa X (Fig. 25).



Figura 25. Laboratório onde é realizado todo o processo descrito acima.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realização desse estudo de caso foram aplicadas as etapas da metodologia a fim de validar a eficácia para um componente específico responsável pelo funcionamento de um grupo da máquina de produção de carteiras na fábrica de Uberlândia de uma empresa do ramo tabagista. Dessa maneira, foi iniciado o processo acompanhando a produção desse equipamento junto com os operadores até que surgisse uma falha que pudesse dar o gatilho para o processo em foco neste trabalho.

Durante esse período, em determinado momento, houve uma interrupção no fluxo de funcionamento da máquina e observado a mensagem indicada na Fig. 26 na IHM. Essa falha ocorre quando é identificado alguma irregularidade no transporte de carteiras da máquina formadora de carteiras para a máquina seguinte responsável por envolver a carteira com o filme e a pelica. Neste momento, os operadores abriram o equipamento e identificaram um grande acúmulo de carteiras fora de alinhamento no local, gerando um embolamento e impedindo a máquina de seguir seu curso natural. Ao aprofundar a análise na região, foi observado que a esteira estava travando em alguns momentos durante seu funcionamento e para resolução da causa raiz, a análise seguiu na região com a presença de mecânicos e operadores da linha. A equipe em questão conferiu todos os pontos mecânicos que poderiam gerar esse defeito começando por sujeiras, posicionamento, aperto dos elementos de fixação, condição básica de rolamentos, eixos, espaçadores, esteira e buchas e não encontraram nada fora do padrão esperado.



Figura 26. Falha apresentada durante acompanhamento a produção.

Dessa forma, foi acionado o time de eletrônicos responsável pelo atendimento daquele módulo (Fig. 27) para que eles pudessem também executar a análise de possíveis defeitos que poderiam estar afetando a esteira.



Figura 27. Operadores avaliando a falha na área transporte de carteiras.

Para realizar essa análise, os eletrônicos fizeram primeiramente a conferência de alguns sensores e cabos na região frontal da máquina e depois foram até o painel elétrico para continuar a avaliação com base nos sinais dos drives e outros equipamentos de acionamento que poderiam estar em falha. Após alguns testes e verificações utilizando os diagramas elétricos e comparações com maquinários semelhantes, foi identificado um drive de acionamento do motor da lona de transporte apresentando falha (Fig. 28a) e ,consequentemente, gerando falhas em seu funcionamento causando espaços entre as carteiras possibilitando o desalinhamento e embolamentos na área afetada, impedindo a máquina de seguir produção (Fig. 28b). Para solução imediata, o item foi substituído por um idêntico recuperado já em condições de uso (Fig. 28c) e se iniciou o processo para recuperação desse seguindo os passos apresentados no capítulo anterior.

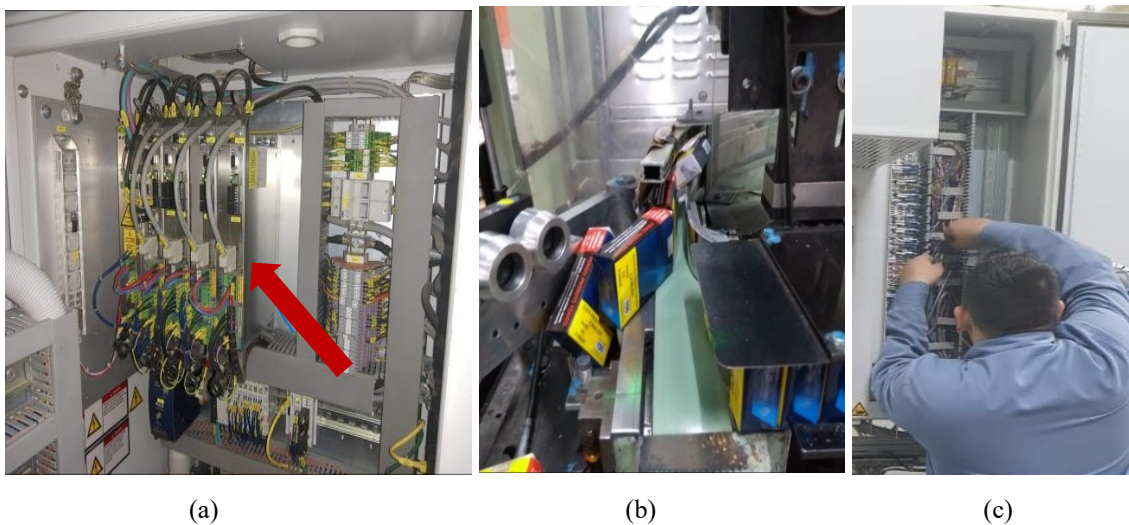


Figura 28. (a) Drive de acionamento do motor da esteira em falha indicado pela seta; (b) Eletrônico analisando possível falha de acionamento (c) Esteira travando e desempilhando carteiras.

Após a troca do componente defeituoso, o técnico eletrônico realizou a abertura de uma ordem de serviço de recuperação conforme Fig. 29 para enviar para o laboratório e dar início a recuperação conforme prioridade definida pelos líderes responsáveis do setor.

Modificar nota PM: Troca de Subconjunto

Nota: 1001088254 26 Acionamento Motor Tapete Transporte SD55

Status da nota: MSPR ORDA

Ordem: 1003038447

Tabs: Nota | Avaria, parada | **Dados de localização** | Síntese de datas | Itens | Medidas | Atividades

Objeto de referência

Loc. instalação: BRAD-SMD1-CL1-D15 Packer Grupo 109

Equipamento: 10031069 GD2-105

Conjunto:

Situação

Codificação:

Descrição: Acionamento Motor Tapete Transporte SD55

19:15:01 De Paula Gomes

Acionamento Motor Tapete Transporte SD55, motor 1m755 não roda.

Responsabilidades

Figura 29. Ordem de recuperação do drive danificado.

Após avaliação da criticidade e das prioridades para recuperação em laboratório, o item retirado entrou para o processo de análise de falha já citado anteriormente. O primeiro passo realizado foi submeter o drive a giga de teste para análise de falha fora da máquina, de modo a observar qual o comportamento apresentado avaliando o efeito no motor CC de teste, os sinais no osciloscópio e os modos de falha indicados no próprio drive ao ser submetido as condições de trabalho semelhantes a da máquina em produção.

Para que isso fosse possível, o drive foi conectado a Giga de teste de acordo com a Fig. 30 utilizando um adaptador desenvolvido pelo próprio time do laboratório de modo que fosse possível conectar vários tipos diferentes de drivers em apenas uma giga de teste. Depois, foi conectado também o motor CC que foi utilizado no teste de comportamento do motor ao ser submetido ao acionamento do drive em falha conforme Fig. 31.

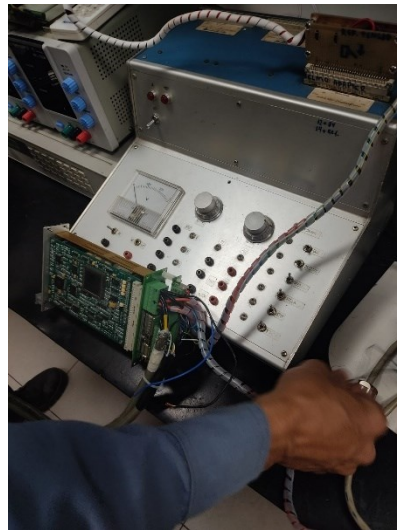


Figura 30. Drive conectado a Giga de teste para análise de falha.



Figura 31. motor CC utilizado na avaliação via giga de teste.

Para realização do teste, a giga conta com alguns botões de acionamento de algumas condições para realização do teste conforme Fig. 32. Após todos os componentes necessários conectados e os botões corretos para o teste em motor cc acionados, foi observado que o motor em questão ficou parado e não rodava no sentido horário e nem anti-horário, indicando de fato uma falha no drive de acionamento. Também foi possível observar que a luz de *stop* ficou acesa nos modos de falha do drive e utilizando o osciloscópio não foi possível identificar nenhum sinal em forma de pulso (Fig. 33, o sinal esperado em caso de bom funcionamento será mostrado na fase pós recuperação desse trabalho). Portanto, foi confirmado que o drive estava em falha e que não estava acionando o motor da esteira na máquina e esse foi o real motivo da falha em produção.

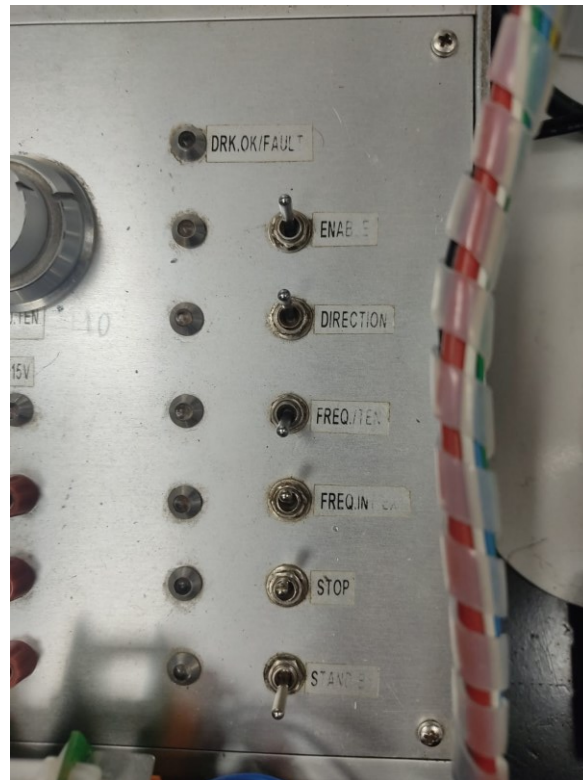


Figura 32. Botões configuração teste Giga.

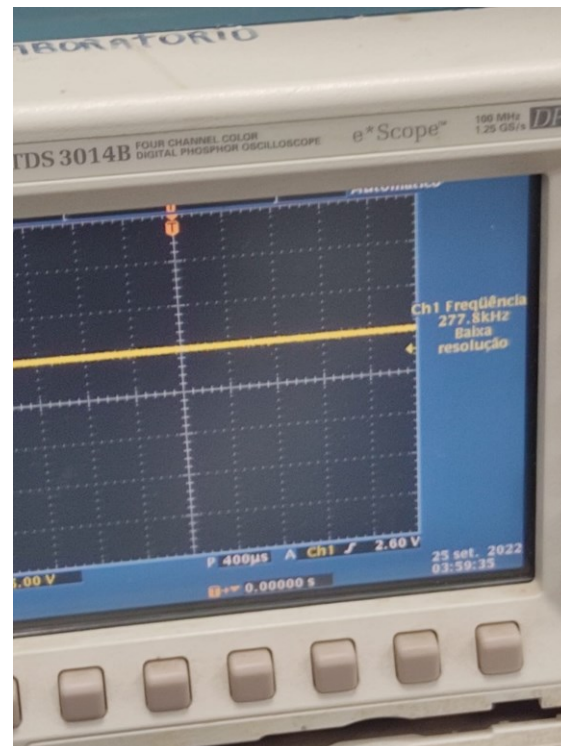


Figura 33. Osciloscópio mostrando ausência de pulso como sinal diferente do esperado.

Após a confirmação de que de fato havia uma falha no drive, foi utilizado o termômetro para tentar restringir o local da falha caso houvesse um aumento de temperatura anormal em alguma região específica do circuito. Nesse caso não foi

identificado nenhuma anomalia em relação a alta temperatura, então o trabalho de análise passou para a etapa de análise com o localizador de falhas *Premier* utilizando os modelos esperados de curvas de cada componente já conhecidos pois se tratava de um circuito já recuperado outras vezes e realizado comparação com as curvas apresentadas pelo circuito com defeito.

Dessa maneira, foi identificado que um dos terminais do circuito integrado (CI) do tipo L298n estava com um sinal bem diferente do esperado e poderia estar danificado. Para solucionar o problema, foi substituído o CI em questão por um novo e refeito o teste no localizador de defeitos, que apresentou melhora em relação a comparação das placas.

Como não foi encontrado nenhuma anormalidade fora do aceitável em outros locais e componentes, a o circuito foi submetido novamente ao teste da giga para verificar se havia solucionado o problema. Após a montagem de todo o sistema de teste novamente conforme já explicitado acima, o teste foi refeito e o motor CC funcionou normalmente, girando para os dois sentidos de rotação quando solicitado pelos botões de acionamento da giga e realizando o *stop* de maneira imediata quando acionado o comando. Além disso, no teste utilizando o osciloscópio para verificação do sinal obtido, foi obtido o pulso indicado na Fig. 34 e que esperado pelo modelo padrão desse drive. Desse modo, foi constatado que a falha no drive estava sendo gerada por um defeito em um dos terminais de um circuito integrado que compunha o sistema e foi solucionado após a troca deste.

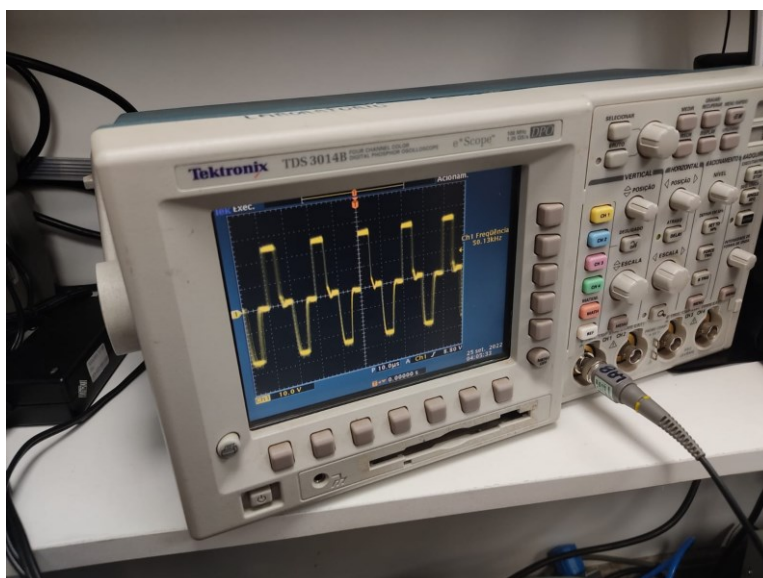


Figura 34. Sinal Após recuperação do circuito.

Após todo o processo de recuperação e teste de bom funcionamento o componente é retornado para as bancadas de disponibilização a produção como item recuperado e é

encerrado o processo prático.



Figura 35. Drivers Recuperados e Disponíveis para retorno a produção em caso de necessidade.

Ao todo o processo de recuperação demorou aproximadamente 2,5h desde a fase de análise na giga de teste até o teste final e disponibilização para a produção novamente, sendo o maior tempo gasto na identificação de qual componente estava em falha utilizando o localizador de defeitos, já que o termômetro e o multímetro não restringiram de maneira muito efetiva nesse caso o local onde poderia estar a falha.

Ao finalizar estas etapas, inicia-se uma etapa analítica e estratégia de obter dados relevantes e compilar esses em uma base de dados permitindo análises mais gerenciais visando objetivos de negócio. Nesse estudo de caso, foi solicitado o orçamento do drive original oriundo do fornecedor de peças de reposição da máquina objeto de estudo e foi constatado que o valor do item com todos os impostos de importação e gastos com logística seria de R\$ 16.000,00, enquanto o custo para substituição do CI danificado e que reestabeleceu a condição básica do componente completo foi de R\$ 20,00.

Com base nos dados obtidos para o item objeto deste estudo de caso é possível observar que há um ganho financeiro muito grande já no curto prazo pois a empresa evita

ter um custo alto para aquisição de um conjunto original gerando uma economia de R\$ 15.980,00 para apenas um componente de diversos outros semelhantes responsáveis por acionamentos na máquina e que podem ser recuperados aplicando a mesma metodologia e estratégia.

Além do viés financeiro já apresentado, outro indicador empresarial que é beneficiado por esse método é o valor em estoque, pois a empresa pode apenas comprar poucos sobressalente de cada um dos componentes com maior rotatividade e rotacionar eles por meio da recuperação, ao invés de deixar um estoque de segurança com alto valor agregado parado em seu estoque e que sempre que um item for retirado para a produção deve ser feita a reposição via reposição em estoque e, dessa forma, deixando novamente o valor de R\$ 16.000,00 para cada um desses itens parado em estoque aguardando nova retirada.

Ademais, ainda pensando pela ótica de valor em estoque e agregando mais um indicador nos potenciais ganhos, é possível que a empresa defina deixar estoque de segurança apenas dos itens com maior rotatividade e menor valor agregado e adotar uma estratégia de recuperar o restante dos itens, principalmente os de custo mais elevado, no modelo de “vai e volta”, ou seja, não ter os itens em estoque e sempre que houver falha realizar a recuperação do componente e retornar o mesmo para a máquina após a recuperação.

Ainda nessa linha descrita acima, muitas máquinas da fábrica em questão e acredito que em várias outras pelo Brasil, há uma grande quantidade de componentes considerados obsoletos, ou seja, os fornecedores não possuem mais as peças para reposição imediata e oferecem uma espécie de modificação com custo para que o equipamento se adeque aos novos itens desenvolvidos pela engenharia da empresa, gerando assim a necessidade de um aporte inicial da planta além de um comum aumento no preço das peças de reposição para esse novo modelo instalado. Tendo isso em vista, aplicando essa estratégia em laboratório descrita neste trabalho, é possível evitar paradas grandes nas máquinas por falhas desses itens obsoletos diminuindo o MTTR e mantendo a eficiência e produtividade dessas máquinas sem a necessidade de investimentos de tempo e dinheiro em massa para realização de *upgrades* impostos pelas empresas matriz dos equipamentos.

Com base em todas essas melhorias esperadas e expandindo essa visão para um cenário mais macro da empresa, foi possível observar os seguintes resultados ao abranger o mesmo método para a maioria dos componentes e para todas as linhas de produção da fábrica.

Considerando todas as recuperações realizadas no ano de 2023 até o final do mês de setembro, foram investidos R\$ 7.103,00 em compra de componentes no comércio local para reestabelecimento dos drives e outros componentes recuperáveis, porém o valor gasto caso os itens completos fossem comprados diretamente do fornecedor (que seria a única opção caso o empreendimento não tenha essa estratégia definida e em execução) seria de R\$ 1.792.765,00. Dessa forma, a economia obtida em 9 meses de operação no ano de 2023 recuperando cerca de 170 itens foi de R\$ 1.785.662,00 que corresponde a aproximadamente 99,6 % de economia apenas pelo cenário financeiro de custo de manutenção. Além disso, estão mapeados para retirada do estoque de segurança cerca de 36 itens, gerando uma redução de aproximadamente R\$ 400.000,00 em dinheiro parado no estoque aguardando a necessidade de utilização e consequentemente liberando parte desses valores para investimentos em outras áreas e também em inovação por meio da indústria 4.0 e novos produtos para o mercado.

Complementando os bons resultados, foram contemplados durante esse ano 41 itens obsoletos de acordo com os fornecedores de modo que não foram necessárias a aquisição de modificações evitando investimentos de tempo de máquina parada e dinheiro e ainda assim mantendo a eficiência e a produtividade das máquinas por meio de uma recuperação rápida e interna contribuindo para um baixo MTTR nesses casos. Não foi possível obter um cálculo para mensurar os ganhos com o não investimento em modificações, mas foi possível medir que o MTTR de falhas de componentes obsoletos reduziu de 30h para cerca de 4h com as evoluções do processo e dos equipamentos presentes no laboratório, frutos do reinvestimento de parte da economia em melhorias nesse setor que se mostrou tão produtivo e rentável para o negócio.

Além de todos esses pontos citados, também é possível gerar algumas informações de tendência conforme os exemplos das Fig. 36, 37 e 38 e que podem ser utilizadas de maneira analítica para identificar padrões e estabelecer ações para tentar otimizar operações dos equipamentos por parte do time de linha e reunir evidências para pedir ajuda com relação a melhoria na qualidade de alguns componentes que tem falhado com mais frequência oriundos dos fornecedores. Ademais, durante as recuperações é possível realizar uma análise mais detalhada do funcionamento do circuito de modo a encontrar pontos que podem ser passíveis de melhorias internas do time técnico visando reduzir falhas comumente observadas durante o histórico de recuperações.

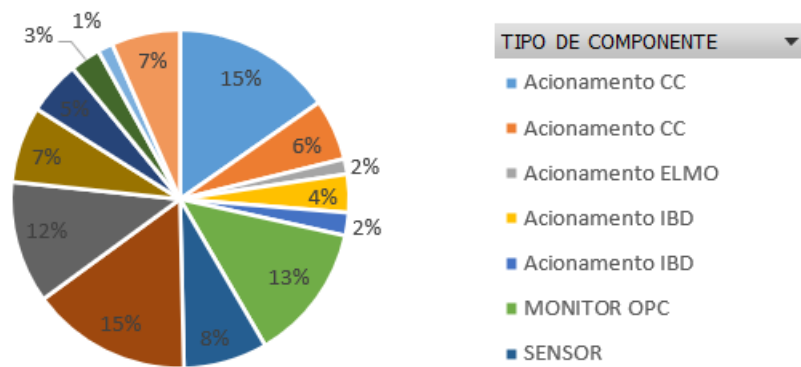


Figura 36. Tipos de conjuntos danificados.

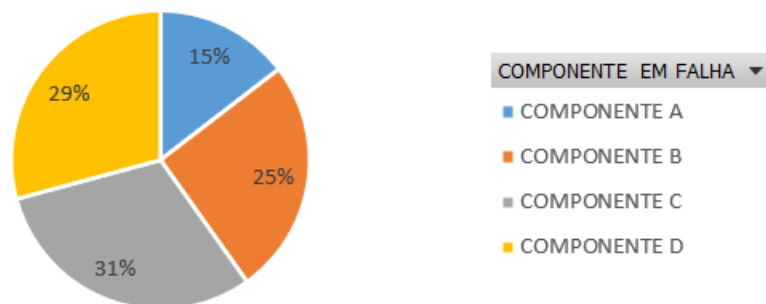


Figura 37. Tipos de componentes internos danificados.

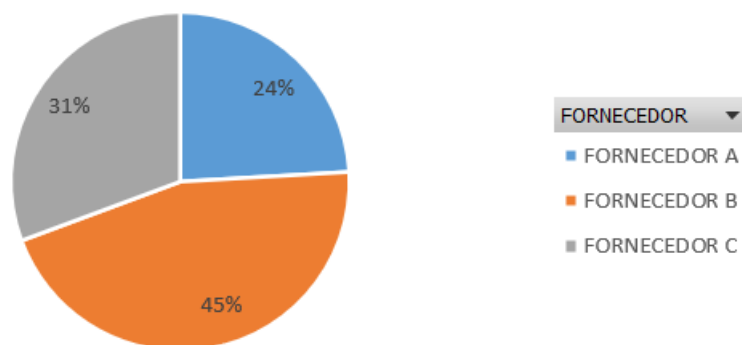


Figura 38. Conjuntos danificados por fornecedor.

As figuras acima foram extraídas da base de dados, porém alguns dados tiveram que ser alterados para nomes genéricos devido a normas de confidencialidade que existem entre a empresa em que foi aplicado o estudo de caso e os fornecedores e colaboradores.

Na Figura 39 abaixo segue como é o formato da base de dados simples e objetivo utilizado nos dias de hoje. É perceptível que ainda têm muitas oportunidades quanto a profissionalização da base de dados e das formas como são extraídas as informações de

tendência e esse é um dos próximos passos dentro da melhoria contínua do setor para que esse ramo analítico cresça em paralelo aos bons resultados já apresentados na área econômica, de estoque e de eficiência na recuperação.

VANTAGEM CUSTO RECUPERAÇÃO EQUIPAMENTOS ELETRÔNICO										Última atualização 31/09/2023	
ID de ord.	Ordem	Notificação	Conjunta TAO	Quant. ps.	Ref. fabricante	Valor Início	Custo Início	TIPO DE COMPONENTE	COMPONENTE EM FALHA	Equipamento	FORNECEDOR
ZPM6	1009047826	Alexandre Rocha	80001212	1		R\$ 16.000,00	R\$ 10,00	Acionamento CC	COMPONENTE D	GD-121	FORNECEDOR C
ZPM6	1009045530	Willian	80001212	2		R\$ 32.000,00	R\$ 20,00	Acionamento CC	COMPONENTE A	GD-CH	FORNECEDOR A
ZPM6		LAB	89556022	1		R\$ 35.000,00	R\$ 100,00	CARTELA	COMPONENTE B	GD-X500	FORNECEDOR B
ZPM6		Rodrigo Araujo	Não tem	1		R\$ 1.000,00	R\$ 5,00	ENCODER	COMPONENTE B	Modulo SC	FORNECEDOR B
ZPM6	1003056618		89502955	1		R\$ 9.500,00	R\$ 30,00	FORTE	COMPONENTE B	GD-X500	FORNECEDOR B
ZPM6	1003882430	Carlos Santos	80001418	1		R\$ 3.000,00	R\$ 10,00	MONITOR OPC	COMPONENTE B	GD-X500	FORNECEDOR B
ZPM6	1003048071	Dener Garcia	Não tem	1		R\$ 25.000,00	R\$ 5,00	MONITOR OPC	COMPONENTE B	GD-XW	FORNECEDOR B
ZPM6	1003050583	Danilo Gomes	80001218	2		R\$ 12.000,00	R\$ 20,00	Acionamento Motor de passo	COMPONENTE B	GD-C600	FORNECEDOR A
ZPM6	1003050617	Danilo Gomes	Não tem	1		R\$ 1.000,00	R\$ 20,00	MÓDULO	COMPONENTE B	GD-121	FORNECEDOR B
ZPM6		LAB		2		R\$ 10.000,00	R\$ 50,00	MÓDULO	COMPONENTE B	Protos 100	FORNECEDOR C
ZPM6	1003065926	Adilson	80001212	3		R\$ 48.000,00	R\$ 30,00	Acionamento CC	COMPONENTE B	GD-X500	FORNECEDOR B
ZPM6	1003068753	Marcio Roberto	80008575	1		R\$ 10.000,00	R\$ 50,00	SENSOR	COMPONENTE B	Protos 100	FORNECEDOR B
ZPM6	Não criou	LAB	80007893	2		R\$ 12.000,00	R\$ 80,00	FORTE	COMPONENTE D	Protos 100	FORNECEDOR B
ZPM6	1003075605	Alexandre Rocha	89526839	1		R\$ 16.000,00	R\$ 10,00	Acionamento CC	COMPONENTE A	GD-121	FORNECEDOR B
ZPM6	1003071472	Hugo Pessoa	80001418	1		R\$ 1.000,00	R\$ 50,00	MONITOR OPC	COMPONENTE B	GD-X500	FORNECEDOR B
ZPM6	1003072135	Danilo Gomes	89544876	1		R\$ 6.000,00	R\$ 10,00	Acionamento Motor de passo	COMPONENTE C	GD-C600	FORNECEDOR B
ZPM6	1002822784	Alexandre Rocha	80001418	1		R\$ 150,00	R\$ 150,00	MONITOR OPC	COMPONENTE D	GD-121	FORNECEDOR B
ZPM6	Não criou	Guilherme Gomes		1		R\$ 800,00	R\$ 5,00	FORTE	COMPONENTE A	GD-XW	FORNECEDOR B
ZPM6	Não criou	Alexandre Rocha	89554979	1		R\$ 2.500,00	R\$ 30,00	CARTELA	COMPONENTE B	GD-121	FORNECEDOR B
ZPM6	1003126350	Aelson Velloso	89529532	1		R\$ 16.000,00	R\$ 30,00	CARTELA	COMPONENTE C	Protos 100	FORNECEDOR B
ZPM6	1003126351	Aelson Velloso	89529532	1		R\$ 16.000,00	R\$ 30,00	CARTELA	COMPONENTE D	Protos 100	FORNECEDOR B
ZPM6	1003071872	Aelson Velloso	89531755	1		R\$ 18.000,00	R\$ 50,00	Acionamento CC	COMPONENTE B	Protos 100	FORNECEDOR B
ZPM6	1003127845	Ivan Mateus		1		R\$ 4.500,00	R\$ 10,00	ENCODER	COMPONENTE B	GD-121	FORNECEDOR A
ZPM6	1003129161	André Ambrólino		1		R\$ 8.000,00	R\$ 30,00	CARTELA	COMPONENTE B	GD-X500	FORNECEDOR B
ZPM6	1001969992	Carlos Santos	Não tem	1		R\$ 1.000,00	R\$ 10,00	CARTELA	COMPONENTE B	GD-X2	FORNECEDOR C
ZPM6	1002626230	Felipe Bezerra	89605381	1		R\$ 16.000,00	R\$ 10,00	Acionamento CC	COMPONENTE B	GD-X2	FORNECEDOR A
ZPM6	1002771807	Yan Matta	89660322	1		R\$ 12.000,00	R\$ 20,00	MONITOR OPC	COMPONENTE B	GD-X500	FORNECEDOR B
ZPM6	1003058232	Linyker Reis	80001418	1		R\$ 1.000,00	R\$ 20,00	MONITOR OPC	COMPONENTE C	GD-X500	FORNECEDOR C
ZPM6	Não criou	Guilherme Oliveira	Não tem	1		R\$ 500,00	R\$ 20,00	FORTE	COMPONENTE D	GD-X2	FORNECEDOR A

Figura 39. Modelo simplificado base de dados analítica.

Valor Fornecedor	\$	1.792.765,00	BRL
Comp. para reparo	\$	7.103,00	BRL
Economia	\$	1.785.662,00	BRL

Figura 40. Valores totais laboratório de recuperação 2023.

Para finalizar, é válido lembrar que para se iniciar um laboratório piloto para aplicação dessa estratégia, é necessário um investimento inicial em equipamentos de diagnóstico e recuperação, assim como em mão de obra técnica qualificada para execução dos serviços. Porém, nessa fábrica em questão, o retorno do valor investido ocorreu em meados de cinco meses de operação do laboratório, sendo considerado um rápido ponto de equilíbrio pelo viés financeiro e empresarial.

Como sugestão de trabalho futuro, com auxílio de ferramentas de análise da causa raiz a criação de um *Power BI*® para classificar quais são as peças com maior índice de falha, no sentido de retroalimentar a parte estratégica, seja solicitando ao fornecedor informações ou propondo modificações no projeto da peça para que as falhas diminuam.

5. CONCLUSÃO

Baseado em toda trajetória descrita neste trabalho, fica evidente que a tecnologia e a indústria evoluíram muito nos últimos anos e passaram a ter alguns temas-chaves como modelos para esse novo ecossistema. Esse novo molde apresenta uma necessidade de foco em pontos que vão além da tradicional produtividade e volume como por exemplo custos de manutenção, cadeia de estoque, logística interna e externa, desenvolvimento de pessoas, indicadores de manutenção e inovação. Portanto, é indispensável a adesão pela indústria moderna de novas estratégias e projetos visando otimizar cada um desses pontos em seus processos produtivos. A partir dessa mudança na visão gerencial do mercado, a empresa alimentícia em questão neste trabalho optou por investir recursos em uma reestruturação de uma das vertentes da estratégia de manutenção da fábrica de Uberlândia que é a de reestabelecimento de condição básica de componentes eletrônicos danificados internamente, aplicando primeiramente um projeto piloto e mostrando seus resultados e depois expandindo sua abrangência e benefícios concomitantemente ao aumento de investimento de recursos financeiros e humanos no aumento de capacidade física do laboratório e técnica dos envolvidos nas manutenções realizadas.

Fundamentado nisso, este trabalho apresenta a metodologia em que se baseia todo o processo de recuperação de um componente ou conjunto eletrônico na fábrica desde o momento da falha na máquina, passando pela sinalização de necessidade de conserto, identificação e solução do problema e retorno a disponibilidade do item para utilização novamente em produção caso necessário. Além disso, foi apresentado um estudo de caso aplicando essa metodologia do início ao fim para um componente que veio a falhar em produção na unidade dessa indústria visando mostrar a eficácia da estratégia e os resultados para uma peça isolada. Depois disso, desenvolveu-se a exposição de resultados da replicação desse processo para outros componentes durante um ano nessa planta comparando alguns indicadores de manutenção, principalmente relacionados a custos e estoque, caso fosse substituído por originais dos fornecedores em relação aos mesmos tratados internamente no laboratório.

Com base nos resultados apresentados neste trabalho, pode-se afirmar que é viável e extremamente vantajoso a aplicação desse método em plantas industriais, pois é possível observar uma redução de custos de manutenção em grande escala, do valor de estoque,

de MTTR de falhas e consequente aumento de produtividade e lucro para a empresa no curto, médio e longo prazo devido a grande diferença dos valores e a elevada quantidade de componentes eletrônicos presentes nas indústrias do século XXI.

Com relação a trabalhos futuros, este estudo fomenta a realização de novos estudos em relação aos temas e aplicações abaixo:

- Replicação do método apresentado em indústrias;
- Incrementação de análise de melhorias nos componentes durante processo de recuperação;
- Replicar estratégia de recuperação para motores e servomotores;
- Otimização do processo de identificação e recuperação dos componentes;
- Estudos detalhando o processo de utilização de ferramentas avançadas de identificação de falhas em circuitos eletrônicos;
- Otimização do processo de armazenamento de tratamento de dados para realização de análises de tendência e aplicação dessas ferramentas em prol da melhoria contínua do processo.

Todos esses temas são de grande valia para novos aprofundamentos visando melhorar ainda mais essas aplicações e abrir novas vertentes para manter o processo de melhoria contínua tão exigido hoje no mercado de trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER Charles; SADIKU, Matthew (2013). Fundamentos de Circuitos Elétricos. Editora Mc Graw Hill, 5ª Edição.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- MUSSOI, Fernando; VILLAÇA Marco. “Capacitores”. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – Gerência Educacional de Eletrônica, Florianópolis, 2000.
- BOYLESTAD, Robert L. (2012). Introdução á análise de circuitos. São Paulo. Pearson Education, 12ª Edição.
- CARVALHO, Guilherme Vinícius de. “Aplicação de diodos em experimentos didáticos: uma revisão da literatura. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 2021.
- CARDOSO, Marcelo de Oliveira. “Indústria 4.0: a quarta revolução industrial”. 2016. 45 páginas. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- CASSAPO, Felipe. Indústria 4.0 – Indústria - em Revista – Abr a Jun/2016 | Ano III nº 10, p. 14 – 20).
- CINTRA, J. Componentes Eletrônicos mais Utilizados em Circuitos Digitais. BlogDoJoséCintra, julho/2022. Disponível em: <<https://josecintra.com/blog/componentes-eletronicos-utilizados-circuitos/>> Acesso em 13/03/2023.
- COELHO, Pedro Miguel. Rumo à indústria 4.0. 2016. 65. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016.
- IGLÉSIAS, F. “A Revolução Industrial”, 5ª edição 1984, editora Brasiliense.
- INSTITUIÇÃO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA. Texto Teórico 02: Resistores. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/7/77/ELI_Lab3_Resistor_Matriz.pdf . Acesso em: 19 set. 2023.
- DW. ”Indústria 4.0: Pesquisa sobre os impactos”. 2016. Disponível em: <<http://www.altosestudos.com.br/?p=54908>>. Acesso em: 09 de março de 2023.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: Função Estratégica. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384 p.

MACEDO, Daniel Almeida de. “A quarta revolução industrial”. 2016. Disponível em: <<http://www.gazetadigital.com.br/conteudo/show/secao/60/materia/467815/t/aquarta-revolucao-industrial>>. Acesso em: 10 de março de 2023.

MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MESQUITA, M. Guia Prático com os principais elementos de máquinas. Serviço em Destaque, outubro/2022. Disponível em: <<https://www.servicoemdestaque.com.br/elementos-de-maquinas/>> Acesso em 12 de mar. de 2023

MONTEIRO, Solange Monteiro. “Como Redesenhar um novo futuro” – Revista Conjuntura Económica – Vol.70 nº 04 - abril 2016. Disponível em: Acesso em: 12 de março de 2023.

PINTO, André; OTANI Marcos; LOLIS Mariana. Analisador de falhas em placas de circuito impresso. 2012. Trabalho de conclusão de curso – Departamento Acadêmico de Eletrônica Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

RASTRECURVE 2PLUS. Novas Funcoes, Nuevas funciones, New Functions 21-11-2019. YouTube, 21 de novembro de 2019. Disponível em: <https://canaltech.com.br/educacao/como-referenciar-e-citar-video-do-youtube-nas-normas-abnt/>. Acesso em: 10/09/2023

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson. “As revoluções industriais até a indústria 4.0”. Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (FATEC), São Paulo.

SILVEIRA, Cristiano Bertolucci. ”Indústria 4.0” 2016. Disponível em: <<http://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 10 de março de 2023.

SOUSA, R. “TPM (Total Productive Maintenance) numa indústria de componentes”.

SOUSA, R. G. "Segunda Revolução Industrial". 2016. Disponível em . Acesso em: 16 jul. 2016.

SWAT, J. W.” Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas”. 2016. Disponível em: . Acesso em: 12 de março de 2023.

TEIXEIRA, Bruno. “Análise de disponibilidade em máquinas operatrizes: uma aplicação a máquinas têxteis”. 145 páginas. Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

TEXTO Teórico 02: Resistores, Instituto Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/7/77/ELI_Lab3_Resistor_Matriz.pdf. Acesso em: 17/09/2023

TOZZI, L. P. Reciclagem de placas de circuito impresso para obtenção de metais não

ferrosos. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação – Bacharel em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2017.

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. Planejamento e Controle da Manutenção. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.

VENTURELLI, Marcio. “Indústria 4.0: uma visão da automação industrial”. 2014. Disponível em: < <http://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visaoda-automacao-industrial/>>. Acesso em: 12 de março de 2023.