



HERICA MARYA ROCHA LINHARES

**ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE FALHAS EM SISTEMAS
DE AUTOMAÇÃO A PARTIR DA IMPLEMENTAÇÃO DO
SISTEMA DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES DA
MANUTENÇÃO**

LAVRAS – MG

2022

HERICA MARYA ROCHA LINHARES

**ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE FALHAS EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO A
PARTIR DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES
DA MANUTENÇÃO**

Relatório Técnico de estágio supervisionado apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva

Orientador

LAVRAS - MG

2022

Aos meus amados pais, Alcione e Carlos, todo meu amor e admiração. Agradeço por estarem presentes e por me apoiarem em todas as etapas da minha vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me manter forte e com saúde durante a jornada.

Aos meus pais, pelo amor incondicional e pelo apoio a todas minhas decisões, mesmo as mais difíceis. Este trabalho é a prova de que seus conselhos e esforços pela minha educação valeram a pena. Obrigada por me guiarem sempre na direção correta.

Aos meus familiares e amigos, da faculdade e da vida, pelo acolhimento e carinho nos momentos em que a jornada se mostrava árdua. Em especial a minha prima e amiga, Bruna Rocha, por todos os momentos de descontração que, mesmo quando a distância, trouxeram leveza aos meus dias.

Ao meu orientador, Leonardo Paiva, pela paciência e atenção dispensada, assim como pelas valiosas contribuições dadas durante todos os anos de vivência acadêmica.

Ao Lucas Rezende, que acima de tudo é um grande amigo, por sempre me lembrar da minha capacidade e por ser um exemplo de dedicação.

À OMPI DO BRASIL e seus colaboradores, por todas as oportunidades oferecidas e aprendizados compartilhados, desde o período de estágio até este momento. Em especial, aos colegas de Manutenção, que me respeitaram e acolheram como membro valioso do time.

Aos meus queridos supervisores e mentores, Rafael França, Thiago César e Davidson Lima, pelos conselhos e ensinamentos, assim como por todo apoio. Todo sucesso a vocês.

À todos os mestres que contribuíram com minha formação acadêmica e profissional e que dividiram, com paixão, seus conhecimentos de forma altruísta.

À instituição UFLA, pela infraestrutura oferecida e pelas oportunidades e experiências que me permitiu vivenciar.

RESUMO

O presente trabalho foi elaborado a partir da experiência de vivência de estágio na empresa Ompi do Brasil Indústria e Comércio de Embalagens Farmacêuticas, localizada na cidade de Sete Lagoas, em Minas Gerais. A empresa faz parte do grupo italiano Stevanato Group e atua no setor farmacêutico, na produção e comercialização de embalagens primárias de vidro (cartuchos, frascos e ampolas) para medicamentos e cosméticos. As indústrias voltadas para o ramo farmacêutico têm se destacado por serem uma das mais inovadoras dentre os setores produtivos e, principalmente devido à crise de COVID-19 iniciada em 2020, vêm recebendo grandes investimentos em tecnologia e em pesquisa e desenvolvimento, visando aumento da disponibilidade e produtividade das máquinas envolvidas no processo, de forma que possam atender à crescente demanda de mercado. Nesse contexto, este trabalho visa apresentar os principais processos de automação presentes no ciclo produtivo da empresa e os impactos relacionados à quebra e falhas de seus componentes, responsáveis por gerar indisponibilidade de máquina devido às paradas e ao tempo de reparo, além de perdas do material produzido. Para isso, se fez necessário implementar um sistema de gestão de informações da manutenção, que permitiu uma análise mais assertiva das falhas ocorridas e, por meio de indicadores de performance, tornou possível observar o impacto desses eventos no desempenho da produção, com objetivo de desenvolver estratégias de manutenção para redução e prevenção das principais falhas e quebras dos componentes dos sistemas de automação. Por meio da adoção de estratégias de manutenção preventiva e melhoria de processo, foi possível constatar que as ações estabelecidas foram eficazes na redução das falhas tratadas e impactaram positivamente nos principais indicadores de performance de manutenção.

Palavras-Chave: Automação. Gestão de Manutenção. Redução de Falhas.

ABSTRACT

The present work was elaborated from the experience of internship at the company Ompi do Brasil Indústria e Comércio de Embalagens Farmacêuticas, located in the city of Sete Lagoas, in Minas Gerais. The company is part of the Italian company Stevanato Group and operates in the pharmaceutical sector, producing and delivering primary glass packaging (cartridges, vials and ampoules) for medicines and cosmetics. Industries focused on the pharmaceutical sector have stood out for being one of the most innovative among the productive sectors and, mainly due to the COVID-19 crisis that started in 2020, have been receiving large investments in technology and in research and development, aiming at increasing availability and productivity of the machines involved in the process, so that they can meet the growing market demand. In this context, this project aims to present the main automation processes present in the company's production system and the impacts related to the breakage and failures of its components, responsible for generating machine unavailability due to stops and repair time, in addition to material losses. For this, it was necessary to implement a maintenance management database, which allowed a more assertive analysis of the failures that occurred and, through performance indicators, made it possible to observe the impact of these events on production performance, with the objective of developing maintenance strategies to reduce and prevent failures and breakdowns of automation system components. Through the adoption of preventive maintenance and process improvement strategies, it was possible to verify that the actions established were effective in reducing the failures and had a positive impact on the main maintenance performance indicators.

Keywords: Automation. Maintenance Management. Breakdown Reduction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Unidade da Ompi do Brasil, em Sete Lagoas (MG).....	10
Figura 2 - Processo de conformação de vidro por prensagem.....	14
Figura 3 - Processo de conformação de vidro por sopro.....	15
Figura 4 - Processo de conformação do vidro por estiramento.....	15
Figura 5 - Portfólio e cosmética das Ampolas.....	17
Figura 6 - Ciclo de varredura do CLP.....	19
Figura 7 - Os sete tipos de manutenção.....	22
Figura 8 - Pilares propostos pela metodologia WCM.....	25
Figura 9 - Macro composição das máquinas produtoras de embalagens farmacêuticas.....	26
Figura 10 - Aba da planilha Powerbi com dados de manutenção.....	30
Figura 11 - Resultados da análise de impacto das falhas de sistemas de automação.....	31
Figura 12 - Gráfico dos modos de falha dos grupos de maior impacto.....	32
Figura 13 - Medidas controladas na produção de ampolas.....	34
Figura 14 - Imagem processada do tronco da ampola no sistema de visão.....	36
Figura 15 - Descritivo de falhas no grupo de Controle Serigráfico.....	38
Figura 16 - Estrutura do transdutor utilizado no grupo de controle.....	40
Figura 17 - Método dos Cinco Porquês aplicado ao transdutor.....	41
Figura 18 - Transdutor montado com ponta na extremidade.....	42
Figura 19 - Transdutor desmontado com corpo livre.....	42
Figura 20 - Antes e depois da limpeza dos componentes internos do transdutor.....	43
Figura 21 - Resultados da implementação da manutenção preventiva em transdutores.....	44
Figura 22 - Comparativo de horas de paradas dos grupos de automação (2021-2022).....	45
Figura 23 - Disposição dos sensores de presença em relação ao sistema de controle.....	46
Figura 24 - Contadores de entrada e saída das peças.....	47
Figura 25 - Subtração da contagem de entrada e saída de peças.....	47
Figura 26 - Acionamento do alarme a partir da contagem de peças.....	48
Figura 27 - Zeramento do contador de peças.....	49
Figura 28 - Instalação dos componentes da melhoria de sistema de controle cosmético.....	50
Figura 29 - Resultados da implementação de melhoria de sistema de controle cosmético.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Unidade de Processamento Central
IHM	Interface Homem-Máquina
KPI	Indicadores Chave de Performance
LVDT	Transformador Diferencial Variável Linear
MTBF	Tempo Médio entre Falhas
MTTR	Tempo Médio de Reparo
OEE	Eficácia Global de Equipamento
PIB	Produto Interno Bruto
TPM	Manutenção Produtiva Total
TPS	Sistema Toyota de Produção
TQM	Gestão da Qualidade Total
WCM	Produção de Classe Mundial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivo Geral.....	11
2.2	Objetivo Específico.....	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1	Tecnologias na indústria.....	12
3.2	Processo de conformação do vidro para embalagens.....	13
3.3	Sistemas de inspeção de qualidade de embalagens.....	16
	farmacêuticas	
3.4	Componentes dos sistemas de automação em indústria.....	18
	de embalagens farmacêuticas	
3.5	Gestão de manutenção.....	20
3.6	Tipos de manutenção.....	21
3.7	Indicadores de performance	22
3.7.1	Eficácia Global do Equipamento - OEE.....	23
3.7.2	Tempo Médio Entre Falhas – MTFB.....	23
3.7.3	Tempo Médio de Reparo - MTTR.....	24
3.8	Metodologia WCM.....	24
4	METODOLOGIA.....	26
4.1	Processo Produtivo.....	26
4.2	Departamento de Manutenção.....	28
4.3	Gestão de Manutenção.....	29
4.3.1	Sistema de Controle Dimensional da Linha de Transporte.....	33
4.3.2	Sistema de Controle Dimensional da Rotativa.....	36
4.3.3	Grupo de Controle Serigráfico da Linha de Transporte.....	37
	depois do forno	
5	RESULTADOS.....	40
5.1	Manutenção Preventiva de Transdutores.....	40
5.2	Melhoria de Sistema de Controle Cosmético.....	45
6	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

As indústrias voltadas para o ramo farmacêutico vêm se destacando por serem uma das mais inovadoras dentre os setores produtivos, constituindo empresas multinacionais de grande porte e colocando-se entre uma das mais rentáveis em escala global. De acordo com Magalhães et al. (2003), a partir da década de 1990, os gastos com saúde tiveram grande participação no Produto Interno Bruto (PIB) dos países subdesenvolvidos, o que pressionou os governos a adotarem medidas que reduzissem o custo dos medicamentos. Já a pandemia de COVID-19, iniciada no ano de 2020, foi responsável pelo aumento do uso e preço de medicamentos, como mostra estudo realizado em 2021 pela Fenasaúde - Federação Nacional de Saúde Suplementar (2021), além de colocar em foco cuidados com a saúde e a importância da vacinação no combate e prevenção de infecções causadas por agentes biológicos.

Desse modo, para que as empresas se mantenham competitivas em um mercado cada vez mais acirrado, são feitos investimentos frequentes em tecnologia, pesquisa e desenvolvimento, com o intuito de melhorar a produtividade dos ativos e automatizar o processo produtivo. Nesse aspecto, a automação se mostra um recurso essencial para integrar os processos e aumentar a qualidade e confiabilidade dos equipamentos, uma vez que as atividades humanas se voltam ao monitoramento do sistema por meio de supervisórios, reduzindo falhas operacionais e perda de matéria prima, e também são fundamentais na redução de acidentes, visto que os operadores podem atuar no sistema fazendo uso de interfaces, evitando contato manual com partes móveis da máquina. Os sistemas de controle, por sua vez, facilitam a inspeção de qualidade e evitam que produtos não conformes cheguem ao cliente final, principalmente se tratando de produtos voltados a atender o setor farmacêutico, que possui grande rigorosidade da qualidade dos produtos, pois podem colocar em risco vidas humanas.

Ainda com o intuito de aumentar a produtividade, deve-se atentar em manter a boa condição física dos equipamentos, a fim de reduzir a quantidade de quebras, os tempos de parada e reparo das máquinas, a redução de perdas e o controle do padrão de qualidade do produto final. Assim, a Manutenção deve atuar como um departamento estratégico para garantir a disponibilidade dos ativos, atuando em potenciais problemas da produção e, conseqüentemente, aumentando o desempenho do processo produtivo, por meio de uma abordagem proativa, evitando a perspectiva limitada que restringe suas tarefas a ações de reparo e passando a observar e trabalhar em prol das necessidades da produção, atuando prioritariamente na prevenção das falhas (PASCHOAL et al., 2009).

Diante disso, são várias as estratégias de manutenção que devem ser avaliadas com o objetivo de evitar a indisponibilidade dos equipamentos. O conceito de Manutenção Produtiva Total (MPT) adota uma abordagem de melhoria contínua na prevenção de falhas buscando alcançar zero falhas e zero perdas, de forma a pensar em ações planejadas de manutenção e evitando ações reativas para ajudar na avaliação da eficiência dos ativos e do processo, é possível recorrer aos indicadores de desempenho, que auxiliam no direcionamento das melhorias e ações a serem aplicadas em prol do objetivo traçado pela empresa (ROMÃO, 2020). Dessa forma, os indicadores podem ser aplicados para avaliar o estado dos equipamentos e planejar estratégias de manutenção para restaurar os ativos à condição de base e evitar falhas no processo.

Diante dos conceitos e noções expostos anteriormente, o presente trabalho trata-se de um relatório técnico elaborado durante o período de estágio no setor de manutenção na empresa Ompi do Brasil Indústria e Comércio de Embalagens Farmacêuticas, localizada na cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais (FIGURA 1). A empresa atua no setor farmacêutico, na produção e comercialização de embalagens primárias de vidro (cartuchos, frascos e ampolas) para medicamentos e cosméticos. A empresa faz parte do grupo italiano Stevanato Group, presente em países como Alemanha, Eslováquia, México, Dinamarca, China e Estados Unidos. Além das embalagens de vidro e plástico produzidas pela Ompi no mundo, o grupo possui outras empresas que atuam no desenvolvimento e comercialização de máquinas para produção de embalagens, sistemas de inspeção visual e empacadoras e na prestação de serviços de análise e consultoria para farmacêuticas. Com mais de 70 anos de história, o Grupo Stevanato evoluiu de fabricante de vidro para fornecedor líder de soluções integradas.

Figura 1 - Unidade da Ompi do Brasil, em Sete Lagoas (MG)



Fonte: SETE LAGOAS NOTÍCIAS, 2018.

2 OBJETIVOS

Foram traçados os seguintes objetivos para o escopo deste trabalho.

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa apresentar e analisar os processos de automação envolvidos no ciclo produtivo de uma indústria de embalagens farmacêuticas de vidro, assim como destacar a importância de se estabelecer um sistema de gestão de manutenção para manter a disponibilidade desses equipamentos. A partir disso, o objetivo principal é implementar um sistema de gestão de informações da manutenção a fim de desenvolver estratégias para redução de falhas e quebras nos principais componentes dos sistemas de automação encontrados nessa indústria e discutir o impacto e relevância desses resultados no desempenho do processo produtivo.

2.2 Objetivo Específico

Com o intuito de alcançar as especificações do projeto, foram adotados os seguintes objetivos:

- a) reunir os dados disponíveis sobre intervenções de manutenção (a partir dos *softwares* de gerenciamento da empresa) e desenvolver uma planilha geral que organize esses dados para cada setor produtivo e máquina;
- b) analisar os dados das falhas dos equipamentos de manutenção e seus impactos nos indicadores de desempenho;
- c) definir estratégias para redução desses eventos (manutenção preventiva *versus* manutenção corretiva);
- d) implementar as estratégias definidas;
- e) acompanhar resultados e aprovar/reprovar as ações tomadas;
- f) discutir a relevância do projeto.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o melhor desenvolvimento e entendimento deste trabalho, se faz necessário abordar os processos envolvidos na produção de insumos voltados a atender a indústria farmacêutica, os componentes de sistemas de automação e seus modos de falhas nesse tipo de indústria, além de expor conceitos relacionados à gestão de manutenção e à análise de indicadores de desempenho.

3.1 Tecnologias na indústria

Historicamente, a década de 1970, conhecida como “milagre econômico”, foi um marco para o desenvolvimento da indústria no Brasil. O PIB geral alcançou médias anuais de 11 a 12%, enquanto o PIB industrial atingiu a média de 18% por alguns anos, o que consagrou a economia brasileira como uma das dez maiores e mais industrializadas no contexto mundial (BARBOSA, 2020). Foi a partir desse momento que as indústrias tradicionais (manufatureiras), que nas duas décadas anteriores representavam 40% de toda indústria, tiveram sua participação reduzida pela metade, enquanto as indústrias dinâmicas, que visavam produção em larga escala e investimentos em tecnologia, praticamente quadruplicaram sua participação (VICECONTI, 1977).

Já na década de 2010, com origem na Alemanha, surgiu a definição da Indústria 4.0, que apresenta uma perspectiva mais elaborada em relação ao uso da tecnologia, a partir de conceitos mais robustos de automação, como inteligência artificial, *data science*, *big data*, *machine learning*, dentre outros conceitos, influenciando na forma como as máquinas se comunicam e utilizando o fluxo de dados para promover melhorias mais expressivas no processo (TERTULIANO; CÂMARA; SZABO, 2019).

Desse modo, o cenário de um mercado extremamente competitivo alinhado a negócios cada vez mais globalizados tornam os investimentos em tecnologia prioridade para a maioria das indústrias, uma vez que a modernização dos equipamentos e a automação dos processos abriram um leque gigantesco de possibilidades de melhoria no setor produtivo, como aumento do desempenho das máquinas e da qualidade do produto final, assim como redução de custos por desperdício de matéria prima e maior aproveitamento da mão-de-obra.

Nesse aspecto, a indústria farmacêutica pode ser considerada um grande difusor de desenvolvimento tecnológico e tem fundamental importância para a economia, com participação de 2,5% no valor agregado pela indústria brasileira no ano de 2001, de acordo com

boletim do Núcleo de Economia Industrial e da Tecnologia, da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Isso é resultado das sucessivas fusões e aquisições de empresas menores feitas pelas grandes corporações farmacêuticas a partir de meados dos anos 1980, com o objetivo de aumentar o poder de investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação (MAGALHÃES, 2003). Essa busca pela excelência se dá, principalmente, pela rigidez de exigências sanitárias, na qualidade das instalações e na confiabilidade dos produtos, fortemente auditadas por órgãos regulatórios nacionais ou supranacionais (CAPANEMA, 2006).

Já em 2020, o advento da pandemia de COVID-19 colocou em evidência a dependência internacional de países como China e Índia, maiores produtores e exportadores mundiais, para fornecimento de insumos para a produção de medicamentos. Com isso, viu-se a necessidade de recorrer à produção nacional para não comprometer a produção da vacina contra COVID-19 no Brasil. Diante da emergência mundial de saúde, da escassez de recursos e da necessidade de ofertar serviços básicos de saúde à população, a pesquisa e a inovação se tornaram um grande interesse dos gestores públicos pelo mundo. “Nessa perspectiva, a saúde passa a ser vista como um espaço econômico e produtivo, que vai além dos serviços assistenciais, tendo a inovação como um dos elementos centrais para seu desenvolvimento” (FERNANDES; GADELHA; MALDONADO, 2021).

A partir disso, estima-se que no primeiro semestre de 2020 a produção nacional de medicamentos tenha sido a maior dos últimos cinco anos, o que tornou possível a regularização do abastecimento de suprimentos em hospitais públicos, com medicamentos como sedativos, anestésicos, antibióticos e ansiolíticos. Desse modo, os avanços tecnológicos e investimentos expressivos em pesquisa e desenvolvimento têm sido impulsionados pela grande demanda da indústria farmacêutica, que necessita suprir uma vasta cadeia de medicamentos e vacinas, com o objetivo de atender, principalmente, àqueles que foram afetados pela pandemia.

3.2 Processo de conformação do vidro para embalagens

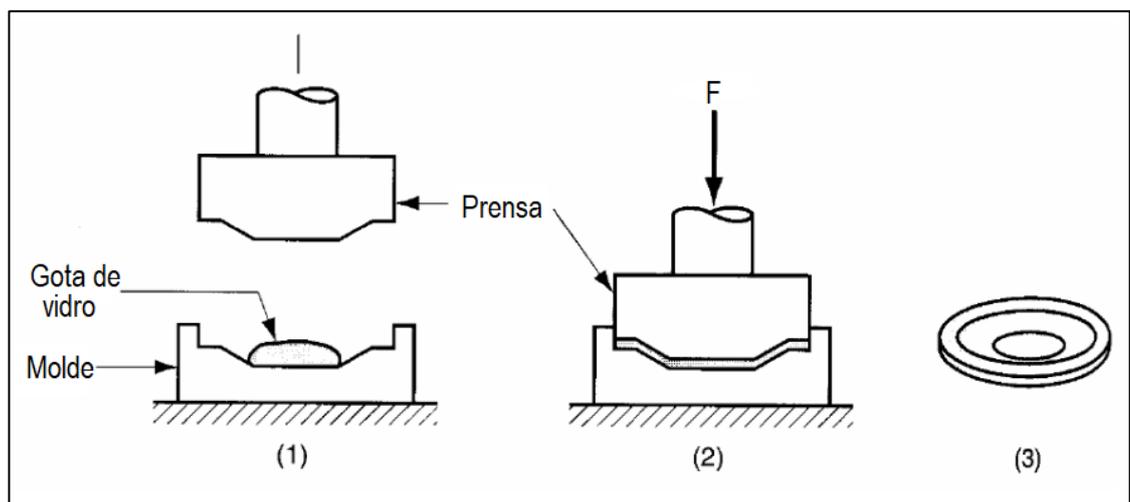
Um dos insumos que alimentam a cadeia farmacêutica são as embalagens para medicamentos, que são motivo de grande debate devido à forte regulamentação de qualidade alinhada à falta de padronização de materiais. As normas existentes para esse segmento abrangem os riscos associados ao manuseio e uso das embalagens, à possibilidade de reação química com medicamentos, além de aspectos associados com rótulos e dosagem recomendada, que dizem respeito à saúde do usuário final.

Dessa forma, é correto afirmar que o desempenho e a confiabilidade das embalagens estão diretamente relacionados à escolha do material e ao processo de transformação da matéria prima em embalagem. O vidro é um dos materiais mais amplamente utilizados, principalmente por ser neutro e não apresentar porosidade, de forma a não reagir com os produtos armazenados nele e não permitir a penetração de odores e outras substâncias externas que possam contaminar o produto (WESTPHAL, 2016). O vidro possui características únicas pois, diferentemente de grande parte dos sólidos, não possui estrutura cristalina, o que torna suas características mais semelhantes às dos líquidos. Devido à sua natureza amorfa e estrutura física, seus processos de fabricação apresentam muitas limitações em razão da dificuldade de se trabalhar o vidro mecanicamente (ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007).

De acordo com Ackerman (2017), a matéria prima do vidro é cerca de 70% areia, juntamente com outros minerais, como calcário, dolomita, barrilha, feldspato e corantes, que são levados ao misturador em temperatura entre 1600 e 1800 graus até gerar um fluido de vidro que possa ser moldado. Após o processo de conformação, o vidro é resfriado entre 600 a 100 graus para manter sua resistência. Os processos mais comuns de conformação da matéria prima de vidro são: prensagem, sopro e estiramento.

No processo de Prensagem, como pode ser visto na Figura 2, o vidro fundido é conformado por meio da aplicação de pressão contra um molde de ferro fundido revestido com grafita, que confere forma e resfria o vidro ao mesmo tempo. É o processo mais simples utilizado na fabricação de peças de superfícies mais espessas e bocas mais largas, como pratos e vasos (ACKERMAN, 2017).

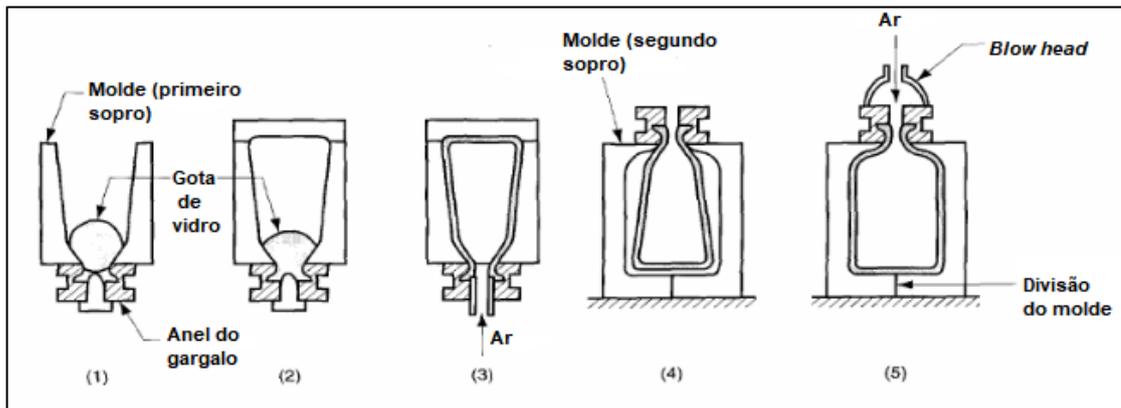
Figura 2 - Processo de conformação de vidro por prensagem



Fonte: adaptado de SILVA, [s.d.].

Já o processo de Sopro é muito comum na produção de garrafas e outras embalagens com bocas finas. Nesse processo, demonstrado na Figura 3, a gota de vidro é soprada dentro de um molde até atingir a forma da boca da garrafa e pode ser soprado novamente para moldar o corpo da embalagem (ACKERMAN, 2017).

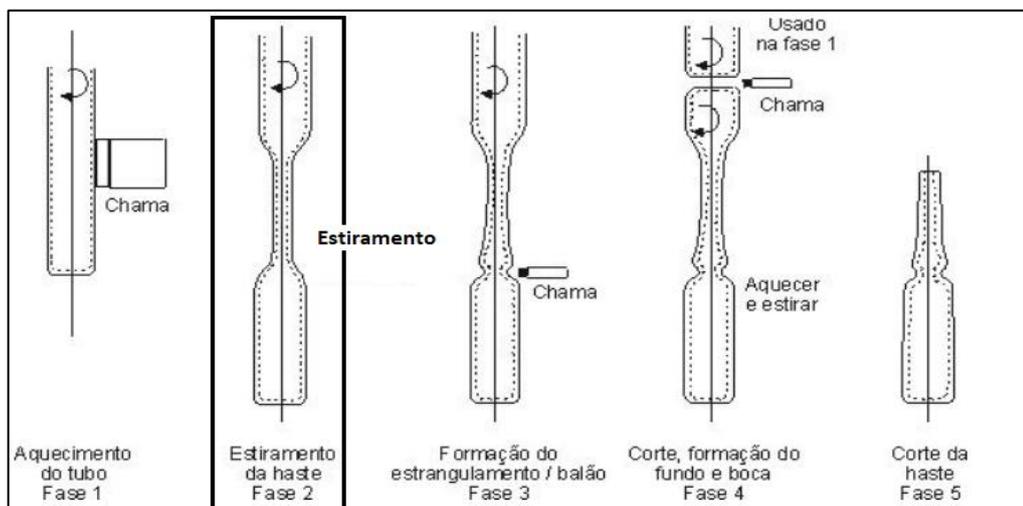
Figura 3 - Processo de conformação de vidro por sopro



Fonte: adaptado de SILVA, [s.d.].

No processo de Estiramento, conforme Figura 4, o vidro é aquecido e esticado na vertical, por meio de uma máquina de puxar, até atingir a formatura desejada. As embalagens farmacêuticas são mais comumente produzidas por meio desse processo, que permite moldar formas mais robustas e com dimensões precisas, sem que seja necessário o contato da matéria prima de vidro com outros materiais presentes em moldes, que pode gerar contaminação da embalagem e, conseqüentemente, do medicamento a ser armazenado nela (ORTIZ, 1998).

Figura 4 - Processo de conformação do vidro por estiramento



Fonte: Adaptado de ORTIZ, 1998.

Os tubos de vidro, que podem ser posteriormente convertidos em recipientes farmacêuticos, como ampolas, cartuchos, frascos e seringas, são historicamente feitos de vidro borossilicato, que é considerada a opção mais tradicional e econômica para uma embalagem farmacêutica. Esse tipo de vidro possui a temperatura de fusão mais alta e o coeficiente de dilatação menor do que o do vidro comum, apresentando características como alta resistência a calor, produtos químicos e mudanças bruscas de temperatura, segundo publicação em *website* da multinacional SCHOTT, empresa alemã líder mundial em fabricação e fornecimento de vidro. Atualmente, o vidro tem perdido mercado para outros materiais devido a seu alto custo e facilidade de quebra, que geralmente aumentam os custos logísticos. Um substituto comum para ele é o plástico que, apesar de ser mais viável economicamente, é mais poluente (baixa degradabilidade), apresenta baixa resistência a calor e maior risco de contaminação do produto (WESTPHAL, 2016).

3.3 Sistemas de inspeção de qualidade de embalagens farmacêuticas

A automatização do trabalho e as tecnologias introduzidas no período da Segunda Revolução Industrial permitiram que as indústrias produzissem em maior quantidade e velocidade (produção em massa) e, devido a isso, diversos produtos passaram a ser devolvidos por causa dos defeitos produtivos. Portanto, a inspeção de qualidade surge a partir da necessidade de se estabelecer procedimentos de verificação da qualidade dos produtos, por meio de ações adotadas para conferir, testar e comparar os resultados com as especificações requisitadas do produto para garantir conformidade com o que foi solicitado pelo cliente. Os critérios a serem validados podem ser características físicas ou dimensionais, embalagens, etiquetagem, assim como testes funcionais e de queda. Dessa forma, pode-se dizer que a abordagem da inspeção foi criada para melhorar a qualidade da produção e reduzir custos com devolução e substituição de produtos (COUTINHO, 2021).

Com a evolução das tecnologias e da automação, o processo de inspeção que era feito manualmente (pela força humana) passou a ser executado também por sistemas de inspeção automatizados, desenvolvidos para detectar qualquer tipo de defeito ou imperfeição de forma instantânea e eficiente. Esses equipamentos são compostos por câmeras de captura de imagem, iluminação, CPU, *softwares* e *hardwares* e são conhecidos como Sistemas de Visão Industrial. Geralmente fazem controle de todo processo produtivo, da fabricação até o empacotamento, garantindo a qualidade do produto final e diminuindo custos de produção, e já são considerados

recursos estratégicos para setores industriais que possuem alto nível de regulamentação (PEREIRA, 2020).

Como já discutido, o vidro é o principal material utilizado na produção de embalagens farmacêuticas e seus processos de fabricação e conformação ainda possuem muitas limitações. Devido a isso, o produto final, que são as embalagens, podem apresentar defeitos como partículas, bolhas de ar ou fissuras, que podem ser prejudiciais ao usuário final do medicamento e ocasionam *recalls* farmacêuticos. “Nos últimos anos, mais de 20 *recalls* de produtos foram associados a problemas do vidro e mais de 100 milhões de unidades de medicamentos embalados em frascos ou seringas foram retirados do mercado” (traduzido de FOGLIA; PRETE; ZANDA, 2015).

Portanto, é de suma importância que os fabricantes de vidro farmacêutico possuam estratégias de verificação de qualidade que atendam aos requisitos de alta qualidade e regulamentação e, ao mesmo tempo, que não exponha os colaboradores a situações de risco associadas ao contato com o vidro em alta temperatura e cortes. Nesse caso, os sistemas de visão são excelentes opções, pois permitem uma inspeção segura e precisa da embalagem em 360 graus, ainda que o vidro seja monocromático e translúcido, de modo que os defeitos são detectados de acordo com escalas de cinza, usando algoritmos de processamento de imagem (FOGLIA; PRETE; ZANDA, 2015).

Figura 5 – Portfólio e cosmética das Ampolas



Fonte: STEVANATO GROUP, 2022.

A Figura 5 mostra os modelos de ampolas disponíveis, com todas as tolerâncias geométricas que são consideradas e devem ser seguidas na produção dessas embalagens. Além disso, também podem ser adicionados recursos cosméticos como anéis de identificação, textos e logotipos, sendo inspecionados por sistemas de visão com tolerâncias rigorosas de dimensional e cosmética (STEVANATO GROUP, 2022).

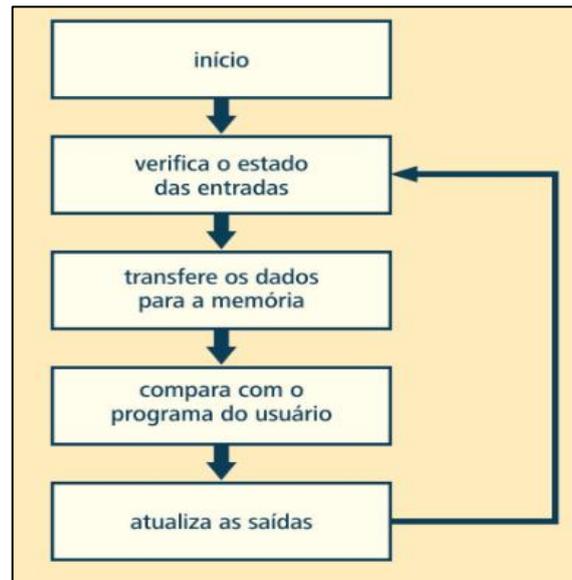
3.4 Componentes dos sistemas de automação em indústria de embalagens farmacêuticas

Os sistemas de controle estão presentes em praticamente todas as atividades industriais, sendo a base da automação de processos industriais, e estão associados à precisão da produção, que permite que todas as variáveis envolvidas no processo sejam mensuradas e processadas com objetivo de garantir o desempenho do processo e a qualidade do produto. Portanto, neste tópico serão abordadas as características de componentes frequentemente encontrados em sistemas de automação industriais, com foco naqueles presentes em sistemas de visão de uma indústria de embalagens farmacêuticas de vidro.

De acordo com Zancan (2011), os processos industriais são formados por diversos elementos mecânicos, elétricos, eletrônicos, hidráulicos ou pneumáticos, o que torna necessário a utilização dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) para monitorar e gerenciar essas variáveis por meio de algoritmos. A estrutura do CLP é similar à de um computador comum, com CPU (Unidade de Processamento Central), memória para leitura e gravação (memória RAM), memória de leitura (ROM) e portas de comunicação (COMs), que possibilitam interface com os outros dispositivos do processo, além de suportar condições extremas, como alta temperatura, vibração e poeira, pois é projetado especialmente para atuar em ambientes industriais.

O controle e o processamento das informações de entrada e saída é feito de forma sequencial por meio de ciclos de varredura. Nesse ciclo, apresentado na Figura 6, o controlador verifica o estado dos cartões de entrada, transferindo os valores de leitura às variáveis de memória de entrada do programa. Em seguida, são executados os trechos de código com base no programa inserido na CPU, em que são realizados todos os cálculos lógicos necessários, atualizando o valor das variáveis de memória de saída do programa que, após finalização de toda a execução, são transferidas aos cartões de saída do CLP para serem modificadas fisicamente nos componentes de saída.

Figura 6 - Ciclo de varredura do CLP



Fonte: ZANCAN, 2011.

Portanto, para que o CLP possa controlar o processo por meio do programa do usuário (*software*), é preciso que esteja conectado com dispositivos de entrada, que fornecem as informações necessárias sobre o estado atual do processo, e dispositivos de saída, que atuam para correção do processo. Essas variáveis podem ser digitais, obtidas por meio de sensores, botoeiras, chaves fim de curso, termostatos e pressostatos, por exemplo, ou podem ser analógicas, geralmente conectadas a variáveis físicas tais como temperatura, pressão, força, massa, entre outros. As entradas analógicas são geralmente empregadas em processos que requerem controle mais preciso, por meio do monitoramento de seu valor real a cada atualização do ciclo do CLP (ZANCAN, 2011). Para aquisição dos valores de entradas analógicas são utilizados dispositivos que convertem essas variáveis físicas em sinais elétricos proporcionais, cujas amplitudes são reconhecidas pelas entradas analógicas do CLP. Um desses dispositivos é o transdutor, que converte a informação de um sensor em um sinal elétrico, tornando possível a medição da grandeza com precisão (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ESCOLA POLITÉCNICA, [s.d.]).

Os sistemas de visão, por sua vez, funcionam como entradas digitais do CLP e são compostos por câmeras com processadores embutidos, assim como por interfaces de transmissão e digitalização de imagens - conhecidas como *framegrabber*, sistema de iluminação e *softwares* de processamento de imagem. Após retiradas fotos do produto, elas são processadas pelo processador interno, que extrai dados numéricos de características existentes nas imagens (convertendo pixels em centímetros ou milímetros) e compara essas informações

com aquelas fornecidas como referência. A aprovação da inspeção é enviada como sinal digital para o CLP, que aciona os atuadores que fazem o descarte da peça. Apesar de mais rápidos e precisos, os sistemas de visão ainda não se igualam à percepção humana e se baseiam em atributos subjetivos ou não mensuráveis (BALLAST, 2013).

3.5 Gestão de manutenção

De acordo com Kardec e Nascif (2019), a manutenção precisa exercer um papel estratégico para alcançar os resultados desejados pela empresa. Para isso, é necessário que haja uma mudança de paradigma, de forma que a manutenção deixe de exercer apenas atividades de reparo e comece a desenvolver estratégias para manter a disponibilidade dos equipamentos e reduzir a probabilidade de paradas não planejadas de produção.

Para tal, é importante que seja estabelecida uma cultura de Planejamento Estratégico, que deve ser implementada, primeiramente, por meio da análise da situação atual e a definição dos objetivos desejados para, dessa forma, ser possível estabelecer caminhos estratégicos para melhoria do processo guiados pelo monitoramento dos indicadores de desempenho mais adequados para ele (KARDEC; NASCIF, 2019).

A partir da adoção desse paradigma moderno para gestão de manutenção foi criado o conceito da Manutenção Produtiva Total (TPM), implementada pela primeira vez na década de 1970 no Japão pelo grupo Toyota. A TPM tem como principal objetivo inserir melhorias nos equipamentos e aumentar a qualificação dos colaboradores, buscando alcançar máxima eficiência produtiva baseada em seus Oito Pilares, mostrados na Figura 7. Os pilares representam as estratégias que devem ser abordadas para atingir uma gestão eficiente de manutenção, são eles (KARDEC; NASCIF, 2019):

- a) o pilar de Melhoria Focada é destinado a avaliar a eficácia do processo, buscando por oportunidades de melhoria da performance dos equipamentos.
- b) o pilar de Manutenção Autônoma visa treinar os operadores de produção para reconhecer padrões das máquinas e para executar ações cotidianas de manutenção;
- c) o pilar de Manutenção Planejada visa prolongar a vida útil dos equipamentos por meio de planejamento de ações preventivas e uso de técnicas de predição de falhas;
- d) o pilar de Educação e Treinamento tem como objetivo investir em treinamento e capacitação técnica das equipes de manutenção;
- e) o pilar de Controle Inicial deve estudar formas de tirar o máximo de eficiência das máquinas para produzir produtos de maior qualidade;

- f) o pilar de Manutenção da Qualidade visa reduzir os defeitos e garantir que as falhas não atinjam as etapas finais da produção, assegurando a qualidade do produto final;
- g) o pilar de Administração (TPM *Office*) atua na organização do ambiente de trabalho e das informações necessárias para análise dos processos;
- h) o pilar de Segurança, Saúde e Meio Ambiente tem como objetivo preservar a integridade e bem estar dos colaboradores, assim como minimizar impactos do processo industrial para o meio ambiente.

Outro conceito importante na filosofia da Manutenção Produtiva Total é o de Quebra Zero, uma vez que as paradas não programadas devido a quebras são um dos principais agravadores da perda de rendimento operacional (KARDEC; NASCIF, 2019, p. 266).

3.6 Tipos de manutenção

Existem diversas denominações para as formas de atuação da manutenção, que também podem ser consideradas estratégias de manutenção quando aplicadas a partir do resultado de uma definição gerencial baseada em dados técnicos-econômicos, que podem ser baseados em indicadores de performance (KARDEC; NASCIF, 2019, p. 65-66). Vale destacar que as definições de tipos de manutenção sofreram modificações ao longo do tempo devido a evolução tecnológica na indústria e a necessidade de adaptação da manutenção a equipamentos cada vez mais robustos e automatizados.

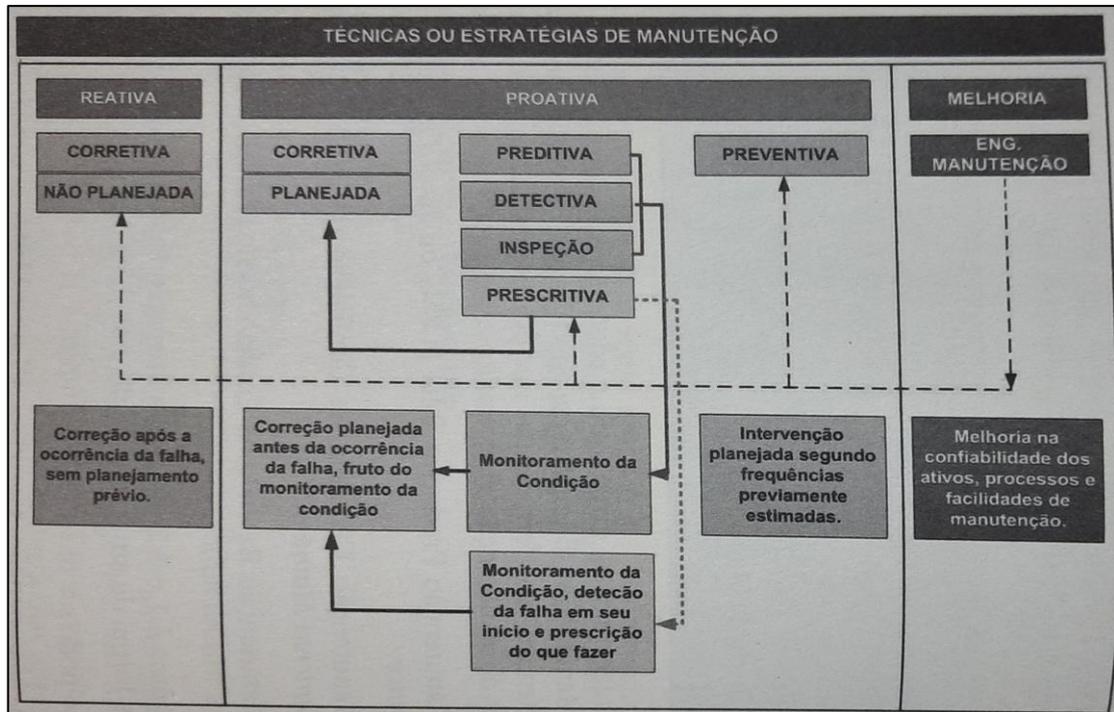
Em novembro de 1994 foi estabelecida a NBR 5462, uma norma que define termos relacionados a confiabilidade e manutenibilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Foram especificados três principais tipos de manutenção:

- a) Manutenção Preventiva: efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, visa reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um equipamento;
- b) Manutenção Corretiva: efetuada após a ocorrência de uma quebra com o objetivo de a recolocar o equipamento nas condições requeridas de funcionamento;
- c) Manutenção Preditiva: efetuada com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Porém, Kardec e Nascif (2019) realizam uma abordagem diferente e mais completa dos tipos de manutenção, considerando o estabelecimento da Indústria 4.0 que permitiu a implementação de controles mais sensíveis para detecção de falhas antes de sua ocorrência,

principalmente por meio do conceito de *machine learning*. Dessa forma, são abordados por esses autores sete tipos de estratégias de manutenção, que podem ser esclarecidas na Figura 7.

Figura 7 - Os sete tipos de manutenção



Fonte: KARDEC; NASCIF, (2019, p. 68)

De acordo com os autores, as manutenções Preditiva, Detectiva, de Inspeção e Prescritiva ocorrem a partir de evidências objetivas obtidas por meio do acompanhamento, monitoramento e diagnóstico que poderão resultar na ação corretiva para reparar a condição de base do equipamento e são conhecidas como Manutenção Baseada na Condição. Também foi introduzido o conceito de Engenharia de Manutenção, com foco no desenvolvimento de ações para melhoria da confiabilidade dos equipamentos e performance do processo.

3.7 Indicadores de performance

Os Indicadores Chave de Performance (KPI - *Key Performance Indicators*) têm sido extremamente utilizados no setor industrial como forma de mensurar os resultados do sistema produtivo e auxiliar no direcionamento das ações de melhoria contínua e manutenção preventiva. É amplamente difundido em organizações que utilizam modelos gerenciais como Gestão da Qualidade Total (TQM - *Total Quality Management*), Produção de Classe Mundial

(WCM - *World Class Manufacturing*), seis *sigma* e produção enxuta, assim como no modelo da Manutenção Produtiva Total.

3.7.1 Eficácia Global do Equipamento - OEE

O OEE (sigla para *Overall Equipment Effectiveness*) é considerado um dos indicadores mais relevantes na medição do desempenho de equipamentos, pois pode identificar pontos de perdas e melhorias e contribuir para o aumento da produtividade e dos lucros da empresa. Para seu cálculo, são levadas em consideração as variáveis de produtividade (BUSSO, 2013):

- a) A variável de disponibilidade mensura a porcentagem de perda de disponibilidade do equipamento devido a atividades de *setup* e ajustes, além de paradas para manutenções corretivas;
- b) A variável de performance mensura a perda de desempenho do equipamento devido a redução da velocidade padrão em razão de alguma anomalia no funcionamento;
- c) A variável de qualidade indica porcentagem do material efetivamente produzido, considerando perdas devido à baixa qualidade e defeitos do produto final.

Dessa forma, o cálculo do OEE é feito de acordo com a Equação (1) a seguir, com todas as variáveis em unidade de porcentagem:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} * \text{Performance} * \text{Qualidade} \quad (1)$$

O processo para reduzir as causas das perdas identificadas por meio da análise desse indicador requer que haja integração dos esforços de áreas como qualidade e produção como suporte às atividades de manutenção e produção, para que o processo de melhoria seja sistêmico auxiliando no aumento do desempenho geral da empresa (BUSSO; MIYAKE, 2013).

3.7.2 Tempo Médio Entre Falhas - MTBF

Um dos principais indicadores de desempenho da manutenção, junto com o MTTR (a ser abordado no próximo Subtópico - 3.8.3), o MTBF (sigla para *Mean Time Between Failures*) calcula a média de tempo associada entre a ocorrência de uma ou mais paradas não programadas devido alguma falha. Dessa forma, os valores de MTBF são usados para estimar a probabilidade de um equipamento ou componente falhar em um determinado período de tempo. Seu cálculo

é feito de acordo com a Equação (2) a seguir e a unidade final da medida é dada em horas (KARDEC; NASCIF, 2019, p. 165):

$$\text{MTBF} = (\text{Tempo total disponível} - \text{Tempo perdido}) / (\text{Número de paradas}) \quad (2)$$

A diferença entre os tempos total disponível e perdido indicam quanto tempo a máquina ficou efetivamente produzindo, enquanto o número de paradas é literalmente a quantidade de falhas ocorridas no período analisado.

3.7.3 Tempo Médio de Reparo - MTTR

O segundo principal indicador de desempenho da manutenção é o MTTR (sigla para *Mean Time to Repair*) que aponta o tempo médio necessário para reparar um componente em falha e restituir sua condição de trabalho, por meio da ação de manutenção corretiva. Seu cálculo pode ser feito de acordo com a Equação (3) abaixo e a unidade final da medida é dada em horas (KARDEC; NASCIF, 2019, p. 166):

$$\text{MTTR} = (\text{Tempo total de reparo}) / (\text{Quantidade de falhas}) \quad (3)$$

Considera-se que o tempo total de reparo abrange todo o tempo necessário para que a manutenção do ativo seja feita, incluindo tempo de logística, de espera por peças de reposição, deslocamento, entre outros tempos.

3.8 Metodologia WCM

O WCM, da sigla *World Class Manufacturing*, é um programa de excelência operacional baseado em um conjunto de princípios e técnicas de gestão, com foco na melhoria e otimização dos processos produtivos, na redução de custos e no combate sistemático ao desperdício. O conceito do WCM foi introduzido em 1982 pelo americano Richard Schonberger, estudioso de tendências da indústria japonesa, e tem origem no Sistema Toyota de Produção (TPS) ou Toyotismo, proposto pelo Dr. Hajime Yamashina, que também é pautado na melhoria de processos produtivos (PINTO, 2018).

Atualmente, o WCM é considerado um padrão a ser seguido para as indústrias se inserirem e serem reconhecidas pelo mercado mundial. Para tal, foram criados ao total dez pilares técnicos e gerenciais com pontos principais que precisam ser trabalhados pela empresa

para atingir a excelência esperada pelo padrão do programa. Esses pilares estão demonstrados na Figura 8.

Figura 8 - Pilares propostos pela metodologia WCM



Fonte: ROSSETTI, 2020.

Os pilares gerenciais abordam os objetivos e compromissos da empresa, avaliando temas como expansão, competências da organização, qualificação e motivação dos colaboradores, entre outros aspectos humanos e relacionados à gestão de pessoas. Os pilares técnicos, por sua vez, abordam a produtividade e a qualidade do processo, em busca de oportunidades de melhoria no setor produtivo, aumento da produtividade, redução de quebras e de defeitos na qualidade do produto, melhoria nos custos industriais, gestão de armazém e de peças de reposição, além de suportar projetos de desenvolvimento técnico e treinamento dos colaboradores (ROSSETTI, 2020).

Desse modo, vale ressaltar que, por ser derivado do Toyotismo, vários dos pilares técnicos do WCM foram baseados nos conceitos da TPM - Manutenção Produtiva Total, já abordada no Tópico 3.5 deste trabalho, com várias semelhanças nos conceitos e na abordagem das técnicas de otimização.

4 METODOLOGIA

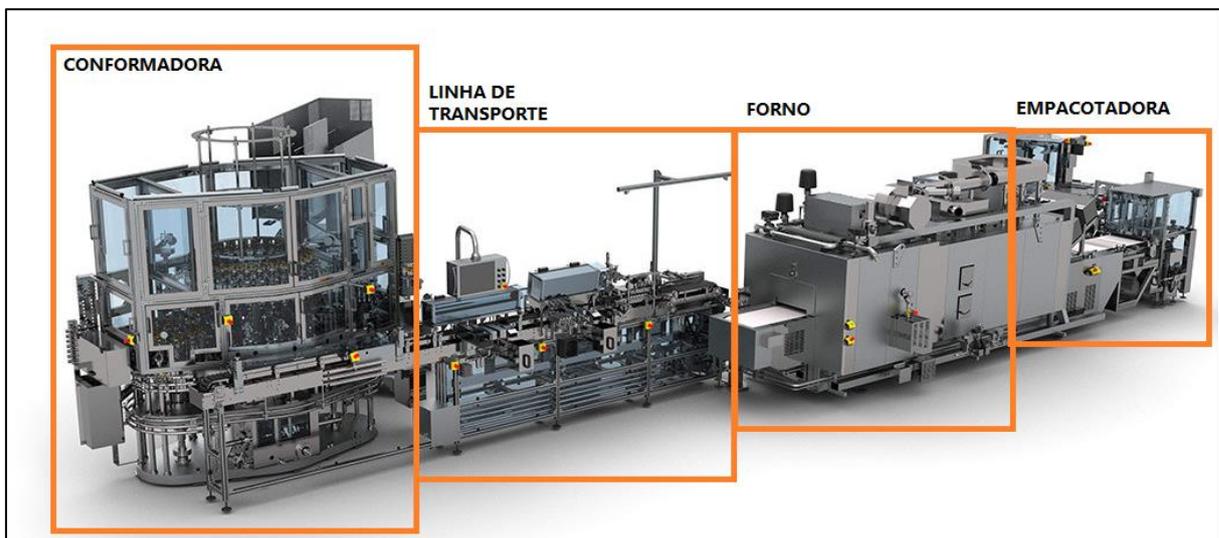
Com o intuito de alcançar os objetivos deste trabalho, neste capítulo será descrito de forma detalhada a aplicação dos conceitos introduzidos no contexto da empresa, abordando a introdução do sistema de gestão de dados de manutenção, a importância da interpretação de indicadores de desempenho na identificação de falhas que causam perda de produtividade no processo e no desenvolvimento de estratégias de manutenção que atuam na redução de quebras e aumentam a disponibilidade dos componentes de sistemas de automação.

4.1 Processo Produtivo

A Ompi do Brasil, empresa do grupo italiano Stevanato, atua no setor farmacêutico, na produção e comercialização de embalagens primárias de vidro para medicamentos e cosméticos. Em 2022, a empresa atingiu volume produtivo máximo totalizando 21 máquinas produzindo cartuchos, frascos e ampolas de forma ininterrupta.

As máquinas que produzem as embalagens são compostas de quatro grandes estruturas principais, são elas: conformadora (também chamada de rotativa), linha de transporte, forno e empacotadora, como pode ser visto na Figura 9. Apesar dessas estruturas possuírem funcionalidade similar em todas as máquinas, sua disposição e componentes podem alterar dependendo do modelo do equipamento e do setor produtivo (ampolas, cartuchos ou frascos), podendo possuir outras estruturas adicionais.

Figura 9 - Macro composição das máquinas produtoras de embalagens farmacêuticas



Fonte: Autora (2022).

O processo produtivo se inicia na Conformadora, que é alimentada com tubos de vidro por meio de um sistema de cargas automático. Já dentro da máquina, os tubos passam por diversos estágios de estiramento, nos quais são aquecidos por queimadores e esticados com a ajuda de mandris até tomar a forma desejada. Após esse processo, os recipientes conformados pela máquina são submetidos a um sistema de controle dimensional inicial antes de seguir para a linha de transporte. Na linha de transporte, são feitos os acabamentos finais da peça, como a formação da cúpula e o inserimento de impressão serigráfica, como ocorre na produção de ampolas, por exemplo. Ainda na linha de transporte são encontrados os últimos sistemas de controle dimensionais, que podem ser compostos por câmeras (sistemas de visão) ou por apalpadores, em que as peças seguem finalmente para o processo de recozimento do vidro.

Já nos fornos, as peças são submetidas a temperaturas de cerca de 540° (para ampolas) a 650° (para cartuchos e frascos), com o intuito de eliminar tensões internas decorrentes do estiramento do vidro e, assim, aumentar a dureza do material. Após sair do forno, a peça passa pelo sistema de inspeção cosmético, que verifica defeitos em sua superfície, como sujeiras, rachaduras, incisões, fissuras, entre outros defeitos visuais, que podem ou não influenciar na funcionalidade do produto, mas ainda são considerados defeitos produtivos. O material aprovado em todas as etapas do processo finalmente vai para a empacotadora, que faz a distribuição das peças entre as caixas, que são coletadas e examinadas pela equipe de Garantia da Qualidade antes de serem liberadas para expedição ao cliente final.

Como pôde ser observado, os sistemas de supervisão estão presentes em todas as etapas do processo produtivo e são considerados componentes essenciais do processo, pois permitem monitorar em tempo real a qualidade do produto e previnem que produtos de baixa qualidade cheguem aos clientes. Os sistemas de supervisão, em sua maioria, possuem processamento externo aos CLPs da máquina, por meio de computadores profissionais especializados em processamento de imagem. Após processadas as fotos das câmeras e comparados os valores obtidos com aqueles de referência para qualidade de produto, o computador do sistema de visão envia um sinal de entrada ao CLP notificando se a peça foi aprovada no controle, para que o CLP prossiga com o acionamento da saída de descarte caso necessário.

Dessa forma, os ciclos das máquinas são determinados e controlados por Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), sendo três controladores mestres divididos entre: conformadora; linha de transporte e forno; e empacotadora, que possuem outros controladores escravos associados, cumprindo tarefas paralelas, de forma que todos trabalham interconectados para compartilhar informações e manter todas as partes do processo funcionando em sincronismo. Todas as estações de trabalho são monitoradas por supervisórios, que geram informações do

processo em tempo real, e possuem conexão com IHMs (Interfaces Homem-Máquina) com diferentes níveis de acesso para os usuários, uma vez que estas permitem alterar diversos parâmetros de funcionamento dos equipamentos, de forma que somente colaboradores com treinamento especializado em *setup* de máquina podem acessá-las, sendo que o acesso à programação e à informações sobre o funcionamento do ciclo do CLP são restritos a empresa fabricante, conforme será descrito no próximo Tópico 4.2 deste trabalho.

4.2 Departamento de Manutenção

Na empresa em questão, o departamento de Manutenção fica responsável por todas as atividades relacionadas a manutenção e reparo das máquinas e equipamentos produtivos, e é subdividido em três setores dedicados: Mecânica, Elétrica e Automação, que são suportados pela equipe de Planejamento de Manutenção com demandas de atividades de suporte às áreas produtivas e outras atividades voltadas à melhoria dos principais indicadores de performance controlados, que são o OEE, o MTBF e o MTTR.

O setor de Manutenção Mecânica é encarregado por manter em funcionamento os componentes mecânicos das máquinas, como correntes de transporte, cilindros pneumáticos, rolamentos, correias, polias, entre outros elementos mecânicos. Este departamento também é responsável por fazer a revisão dos mandris que atuam na máquina conformadora e por executar o plano preventivo de lubrificação nível manutenção.

O setor de Manutenção Elétrica é encarregado pela manutenção da maior parte dos componentes de entrada e saída dos CLPs, como servomotores, drives, eletroválvulas e sensores. Apesar disso, a manutenção nos sistemas de automação é limitada, uma vez que o acesso aos controladores é restrito somente à empresa fabricante das máquinas, o que quer dizer que a equipe de manutenção não pode acessar ou fazer alterações na programação da maioria dos CLPs da planta. Quando é necessário fazer alterações na programação, como melhorias ou modificações de código, é preciso realizar uma requisição de serviço à empresa fabricante, que agenda uma data para execução da tarefa. Na ocasião, a manutenção se conecta ao CLP com um computador de automação industrial por meio de cabo serial ou *Ethernet*, e a fabricante se conecta a esse computador por meio de um software de acesso remoto, geralmente utilizando uma Rede Privada Virtual (VPN - *Virtual Private Network*), para tornar a conexão à rede industrial mais segura.

O setor de Automação, por sua vez, é responsável pelo manutenção dos Sistemas de Controle Dimensional e Cosmético e tem como função garantir que a inspeção de todos os

produtos está sendo feita da forma requerida pelos modelos padrões de qualidade. Todos os componentes dos sistemas de controle, como câmeras, lentes, iluminadores, processadores e sensores, são monitorados constantemente pela equipe de Automação para que todos - e somente - produtos de má qualidade sejam descartados. Além disso, a equipe de Automação também deve fazer a configuração e ajuste dos sistemas de visão para cada novo *setup* de produção, uma vez que cada produto e cliente possuem requisitos de qualidade diferentes.

4.3 Gestão de Manutenção

Como já discutido, o departamento de manutenção precisa trabalhar estrategicamente em busca de melhorias do processo e dos principais indicadores de performance controlados, que são o MTBF, o MTTR e o indicador geral OEE. Para isso, tornou-se importante estabelecer uma base de dados forte e confiável, que pudesse auxiliar no direcionamento das atividades das equipes, viabilizando a criação de estratégias de manutenção voltadas a reduzir a perda de produtividade em equipamentos que apresentam maior impacto devido a falhas.

A empresa possui diversas aplicações de gestão de ativos integradas à rede industrial, que permitem obter informações detalhadas sobre a produtividade das máquinas, inseridas no sistema pelos técnicos de manutenção e produção, assim como informações sobre perdas, falhas, paradas e registros das atividades realizadas para restauração dos equipamentos. As aplicações ficam conectadas a um servidor na Itália, país no qual a matriz do grupo está estabelecida e, por meio da plataforma de acesso ao servidor, é possível exportar todas as planilhas de dados geradas para trabalhá-las livremente no Excel ou no PowerBi, por exemplo.

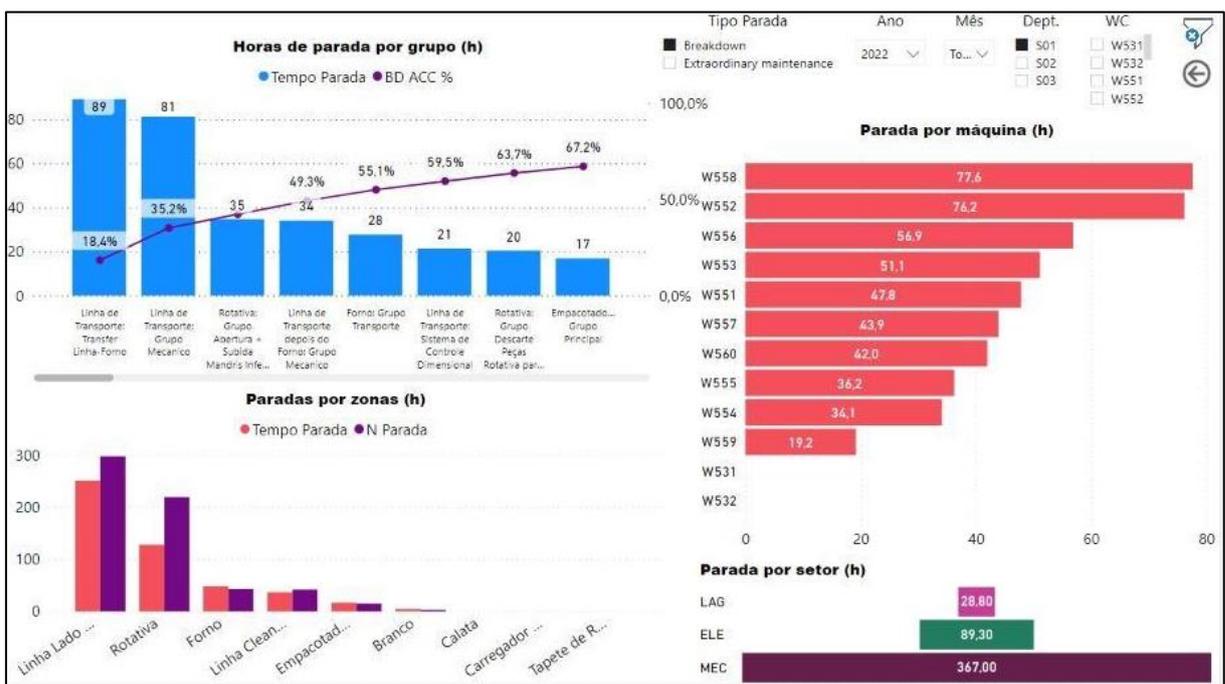
O PowerBi é uma ferramenta de análise da Microsoft muito utilizada em ambientes corporativos para criação e apresentação de relatórios e *dashboards* (painel de controle) de gestão de dados, que podem ser obtidos por meio da conexão de informações de diversas fontes, como planilhas Excel e arquivos armazenados em nuvem. A ferramenta possui recursos para agrupar, calcular e filtrar dados e oferece diversas opções gráficas para tornar a visualização das informações mais simples, rápida e intuitiva para o usuário.

Dessa forma, a partir da obtenção das planilhas disponíveis no servidor da empresa e por meio da análise das informações apresentadas, foi possível elaborar um *dashboard* utilizando a ferramenta Power Bi, que permitiu interligar e interpretar o grande volume de dados operacionais de forma visual e interativa, tornando a análise mais rápida e direcionada. A planilha desenvolvida dispõe de informações completas relacionadas as manutenções corretivas, como horas gastas para restaurar o equipamento, grupos e máquinas com maior

perda de disponibilidade por quebras, além de calcular os indicadores chaves de desempenho, como OEE, MTBF, MTTR para cada máquina, departamento produtivo e setor de manutenção (Elétrica, Mecânica ou Automação). Na planilha também é possível consultar dados de consumo de peças de reposição, custos de reparo de máquinas, taxa de execução de manutenções preventivas e acompanhamento de compras de materiais de manutenção.

A Figura 10 mostra uma das abas do *dashboard* desenvolvido, que sintetiza as informações disponíveis sobre horas de parada por falhas declaradas. O primeiro gráfico “Horas de parada por grupo (h)” apresenta todos os subgrupos das máquinas, de forma genérica, destacando aqueles com maiores impactos por horas de quebra. Já o gráfico “Paradas por zonas (h)” apresenta o número e tempo de paradas por zonas ou macro grupos, sendo possível observar que a Linha Lado Produção e Rotativa são os equipamentos mais críticos do ponto de vista de manutenção. Também são apresentadas as horas de paradas por máquina, sendo que as máquinas em destaque são as W558 com 77,6 horas e W552 com 76,2 horas de parada por quebras, assim como impacto dos setores de Manutenção, sendo que Manutenção Mecânica se sobressai com 367 horas declaradas de atividades corretivas. Além disso, são disponibilizados vários filtros - como ano, mês, departamento produtivo e máquina, além da opção de filtro dinâmico, com objetivo de facilitar a busca e tornar a análise das informações mais prática e dinâmica.

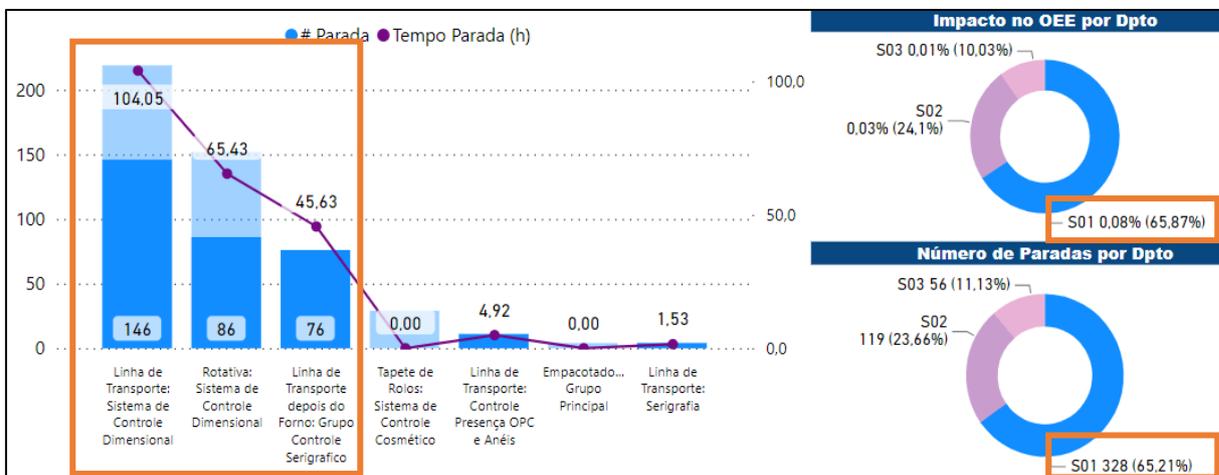
Figura 10 – Aba da planilha Powerbi com dados de manutenção



Fonte: Autora (2022).

Dessa forma, foi possível implementar uma nova plataforma de gestão de informações do departamento de manutenção, que permite identificar lacunas e oportunidades de melhoria, acompanhar a evolução dos indicadores de desempenho por setores produtivos, analisar estoque e perfil de consumo de peças de reposição, avaliar histórico de quebras e modos de falhas dos equipamentos, além de também atender a um requisito essencial para o avanço das atividades do pilar de Manutenção Planejada na iniciativa WCM da empresa. Esse pilar operacional do programa tem como objetivo principal desenvolver e estabelecer um sistema robusto de planejamento de manutenção, de forma a priorizar atividades de prevenção de falhas em relação às atividades corretivas - nas quais a falha já ocorreu, com meta final de alcançar a estratégia definida pela manutenção preditiva, que visa realizar a coleta de dados dos equipamentos por meio de monitoramento em tempo real e, a partir disso, identificar potenciais problemas e atuar antes que ocorra a perda de disponibilidade. Assim, com o sistema de gestão de informações estabelecido, foi possível direcionar a análise dos indicadores de desempenho para os sistemas de automação, buscando oportunidades de melhoria neste segmento em específico, em busca da elaboração de estratégias para redução das principais falhas.

Figura 11 - Resultados da análise de impacto das falhas de sistemas de automação



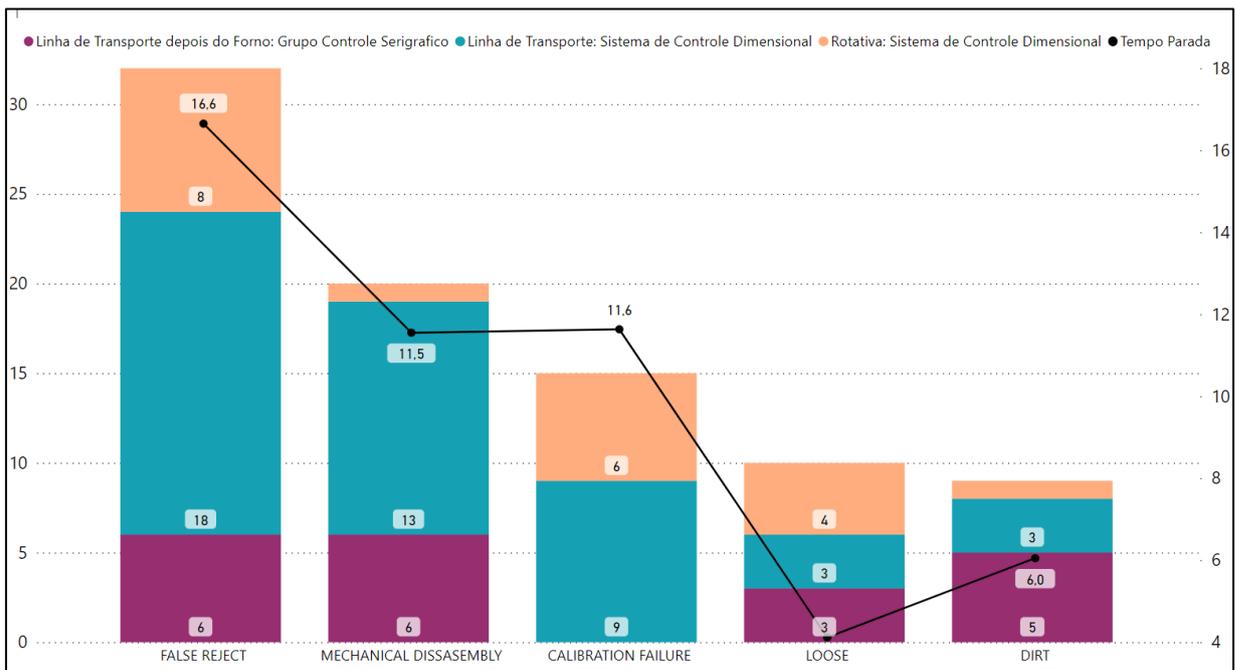
Fonte: Autora (2022).

A análise inicial foi feita por meio do *dashboard* desenvolvido apresentado na Figura 11, que apresenta os dados de parada de automação referentes aos anos de 2020 e 2021. Pode-se notar que o setor produtivo de Ampolas foi aquele que apresentou maior concentração de falhas em sistemas de automação, totalizando 328 paradas de máquina, que equivale a cerca de 65,21% das quebras em todos os setores produtivos, e ocasionando uma perda de OEE de 0,08%, ou seja, perdeu-se um percentual de 0,08% da disponibilidade produtiva programada

para o setor no período analisado. Também foi possível identificar que o grupo que apresentou maior impacto no setor produtivo de Ampolas foi o sistema de controle dimensional da linha de transporte (com 146 falhas e 104,5 horas de parada), seguido pelos sistemas de controle dimensional da rotativa/conformadora (com 86 falhas e 65,43 horas de parada) e de controle serigráfico na linha de transporte após o forno (com 76 falhas e 45,63 horas de parada). Esses grupos são essenciais na identificação de defeitos dimensionais e cosméticos nas ampolas e suas falhas afetam significativamente na inspeção do produto.

Para entender melhor os modos de falha desses grupos em busca das principais causas raízes das quebras, foi feita uma segunda estratificação, por meio da Figura 12 a seguir retirada do *dashboard*, que apresenta os cinco principais modos de falhas apontadas para as quebras e as horas relacionadas as paradas de máquina ocasionadas.

Figura 12 - Gráfico dos modos de falha dos grupos de maior impacto



Fonte: Autora (2022).

Os modos de falha encontrados, que são as formas em que a deficiência do processo se manifesta, podem ser interpretados da seguinte forma:

- a) *False reject* ou falso descarte: ocorre quando o sistema de controle passa a descartar peças que estão com medidas aderentes ao processo, ou seja, quando são descartadas peças de boa qualidade por alguma falha no sistema;

- b) *Mechanical disassembly* ou falha de ajuste mecânico: ocorre quando os componentes mecânicos do sistema de controle não estão ajustados, como corrente, cilindros e suportes, interferindo na inspeção do produto;
- c) *Calibration failure* ou falha de calibração: ocorre quando a medição do sistema de controle dimensional está divergente da medição da peça física, podendo gerar o descarte de peças de boa qualidade ou deixar de descartar peças de má qualidade;
- d) *Loose* ou frouxo: ocorre quando há algum componente desapertado ou com folga, de forma que afete o funcionamento do sistema devido a vibrações naturais da máquina;
- e) *Dirt* ou sujo: classifica falhas devido a sujeira no sistema, geralmente particulado de vidro, que pode interferir na leitura do componente de inspeção e de sensores, ou ocasionar o travamento de algum outro elemento mecânico.

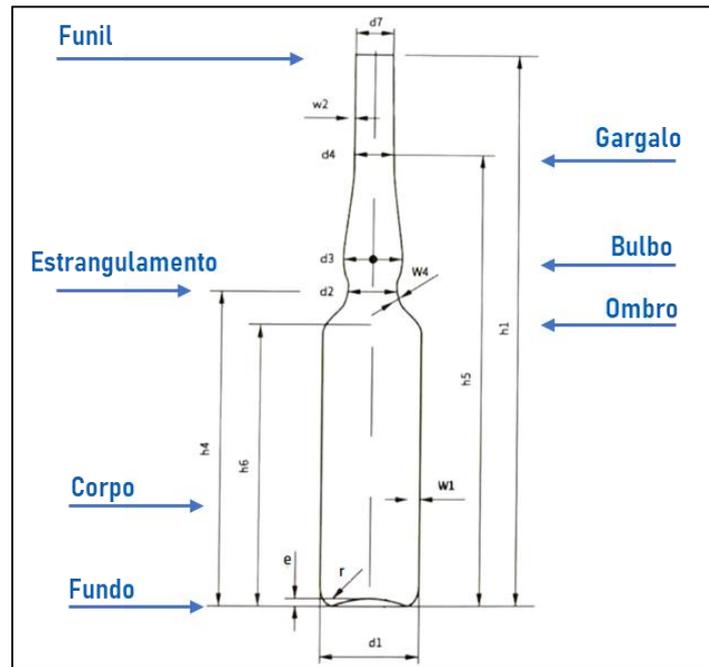
A partir dos dados de modo de falhas obtidos, foi necessário entender o funcionamento dos grupos no processo e os componentes envolvidos em cada um deles, para associá-los aos modos de falhas apontados, com o intuito de identificar os componentes de maior impacto no processo e definir estratégias para redução das perdas nesses sistemas.

4.3.1 Sistema de Controle Dimensional da Linha de Transporte

Primeiramente, iniciou-se a análise das falhas ocorridas no grupo de controle dimensional da linha de transporte que, diferente dos demais sistemas de controle citados, não utiliza um sistema de visão para inspeção do produto. Esse grupo tem como objetivo fazer a medição do fundo côncavo da ampola, representado pela medida ‘e’ na Figura 14. Essa medição é feita seguindo um padrão de controle de valores em milímetros de mínimo e máximo aceitáveis pré-determinados pelo cliente, uma vez que o formato do fundo da ampola influencia diretamente no envasamento e na extração do medicamento da embalagem, impedindo que ele seja removido totalmente pelo usuário final, sendo considerado um defeito funcional da ampola.

As demais medidas consideradas na produção de ampolas e que estão apresentadas na Figura 13 são: alturas da ampola, onde: ‘h1’ é a altura total (fundo até funil), ‘h4’ é a altura do fundo até estrangulamento, ‘h5’ é a altura do fundo até o gargalo e ‘h6’ é a altura do fundo até ombro; espessuras do vidro, onde: ‘w1’ é a espessura do corpo, ‘w2’ é a espessura do gargalo e ‘w4’ espessura do ombro; diâmetros, onde: ‘d1’ é o diâmetro do fundo, ‘d2’ é o diâmetro do estrangulamento, ‘d3’ é o diâmetro do bulbo, ‘d4’ é o diâmetro do gargalo e ‘d7’ é o diâmetro do funil; e ‘r’ que é referente a medida do raio do fundo.

Figura 13 - Medidas controladas na produção de ampolas



Fonte: Autora (2022).

Dessa forma, falhas nesse grupo geram, além da perda de disponibilidade do equipamento devido as horas de máquina parada, a abertura de desvios de qualidade. Esses processos são abertos para gestão de produtos fora da tolerância, que possam ter sido inspecionados de forma incorreta pelo sistema de controle dimensional, e indicam que houve uma inconformidade dos procedimentos padrões estabelecidos. Portanto, o produto gerenciado precisa ser reinspecionado manualmente pela equipe de Garantia da Qualidade, permanecendo bloqueado até o fechamento do desvio e podendo ser liberado para a expedição para o cliente ou destruído, caso esteja inconforme com os padrões de qualidade. Além disso, cerca de 30% de todos os desvios abertos para o setor de Automação em todos os departamentos estão relacionados ao erro de leitura da concavidade da ampola.

Para entender como as falhas no grupo de controle dimensional da linha de transporte ocorrem, primeiro é preciso dominar como o funcionamento do processo de medição é feito e entender como os modos de falhas se apresentam no mesmo. Dessa forma, o processo de medição da concavidade da ampola é feito por meio de um transdutor Transformador Diferencial Variável Linear (LVDT - *Linear Variable Differential Transformer*), que é um dispositivo que faz a detecção de movimentos lineares (energia mecânica) e retorna um sinal elétrico proporcional a esse movimento com o objetivo de mensurar o deslocamento feito. O transdutor fica ligado a um condicionador de sinal, que adequa a tensão recebida para uma faixa

de 0 a 10V, uma vez que, em determinadas situações, o transdutor pode emitir um sinal que não é adequado ao padrão de trabalho do CLP, de forma que a leitura e interpretação dos dados não esteja conforme o emitido pelo transdutor. O CLP, por sua vez, recebe esse sinal por meio de uma entrada analógica e realiza a conversão desse sinal de tensão para a unidade de medida do fundo da ampola, que é feita em milímetros. Dessa forma, o valor obtido pelo CLP é comparado aos valores de máximo e mínimo permitidos e, assim, é definido o valor da saída digital que faz o descarte da peça não conforme.

De acordo com os dados apresentados para o sistema de controle dimensional da linha de transporte, os principais modos de falha identificados, que juntos totalizam cerca de 87% de todas as falhas neste grupo, foram:

- a) 39,1% falso descarte;
- b) 28,3% falta de ajuste mecânico;
- c) 19,6% falha de calibração.

Em análise, foi observado que os modos de falhas estão associados, na maioria das vezes, a perda de ajuste do transdutor de concavidade, que começa a fazer leituras erradas da concavidade da ampola, gerando descarte de peças de boa qualidade (falso descarte), assim como divergência na medição em relação à peça real (falha de calibração). Dessa forma, com o objetivo de compensar a leitura errada, é necessário reajustar o avanço do transdutor, de forma a prolongar a vida útil do componente que custa em média € 350,00 (trezentos e cinquenta euros) – desconsiderando taxas de importação de produto - quando fornecido diretamente pela empresa fabricante das máquinas, na Itália.

Outras falhas comuns nesse grupo estão associadas, principalmente, à corrente de transporte, que é considerado o principal componente fraco das linhas produtivas de ampolas. Isso ocorre porque a corrente não pode ser lubrificada regularmente, para prevenir possíveis contaminações de produto, além de ser submetida em sua extensão a grandes variações de temperatura, de maneira que sofre dilatação e desgaste precoce, ocasionando perda de ajuste e tensionamento e, dessa forma, influenciando na posição que a ampola passa pelo sistema de inspeção, gerando diversas falhas neste e em outros grupos que dependem do posicionamento da corrente.

Portanto, em relação ao grupo de controle dimensional da linha de transporte, conclui-se que grande parte das falhas de automação estão associadas ao transdutor de concavidade, que apresenta perda de ajuste, influenciando na medição do fundo côncavo da ampola. Além disso, é um componente que possui alto valor de mercado, viabilizando a criação de estratégias

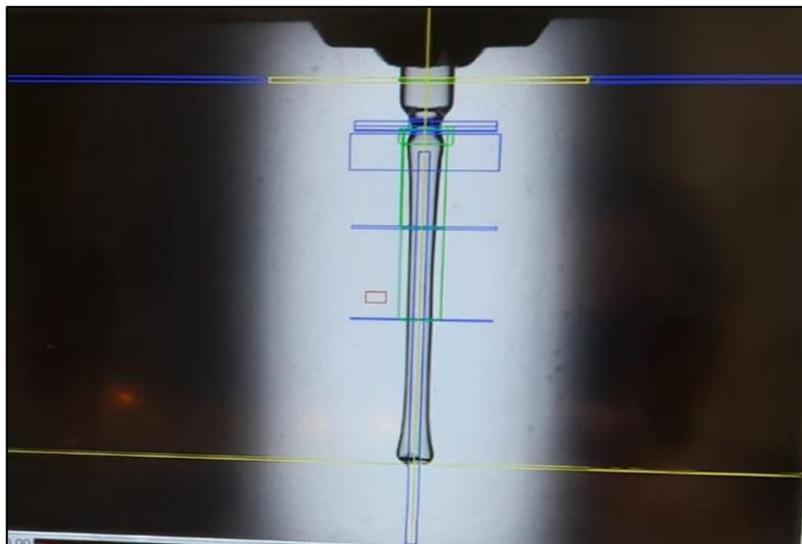
para aumento da vida útil do componente, reduzindo necessidades de paradas de máquina para ajustes e substituição do transdutor.

4.3.2 Sistema de Controle Dimensional da Rotativa

O sistema de controle dimensional da rotativa é o primeiro sistema de controle de qualidade do processo e fica posicionado após o queimador que faz a última estiragem da matéria prima na Conformadora, também chamada Rotativa. Este grupo tem como intuito validar o dimensional do produto após o processo de conformação da matéria prima em embalagem, verificando se as medidas da ampola estão dentro dos limites de máximo e mínimo aceitáveis pelos modelos padrões de qualidade.

Neste processo, a ampola é girada 360 graus verticalmente para que a câmera tire uma sequência de oito fotos, que são processadas em uma escala de cinza, que identifica as bordas do vidro pela diferença de contraste - possível devido a ativação do iluminador durante as fotos, que funciona exatamente como um flash da câmera, de maneira que o vidro reflete a luz em sua superfície, conforme pode ser visto na Figura 14 a seguir.

Figura 14 - Imagem processada do tronco da ampola no sistema de visão



Fonte: Autora (2022).

Dessa forma, o processador de imagem faz a identificação das bordas, converte as medidas obtidas de pixels para milímetros e compara com os valores de máximo e mínimo aceitáveis. Dentre as oito fotografias tiradas, a quantidade de fotos com valores fora do aceitável determina se a peça se manterá no processo ou não. Produtos com alto grau de criticidade

possuem menor aceitação de defeitos, de forma que é programado no sistema de visão a rejeição de peças com uma menor quantidade de fotos com medidas fora do padrão.

De acordo com os dados apresentados para o sistema de controle dimensional da rotativa, os principais modos de falha identificados, que juntos totalizam cerca de 90% de todas as falhas neste grupo, foram:

- a) 40% falso descarte;
- b) 30% falha de calibração;
- c) 20% componente frouxo.

Em análise do banco de dados de manutenção, foi identificado que as causas para esses modos de falha são diversas, uma vez que o descarte inadequado de peças (falso descarte) e a medição errada (falha de calibração) podem ser causados por sujeira no iluminador ou na lente da câmera, assim como pela quebra do vidro de proteção do iluminador e falhas no cilindro de descarte de peças. Outra falha comum está associada ao suporte do iluminador ou câmera frouxos, que interfere na leitura da peça devido à vibração natural da máquina.

Essas falhas são justificadas em razão da rotativa/conformadora ser considerada uma zona de trabalho agressiva, devido, principalmente, às altas temperaturas geradas pelos queimadores, alta emissão de particulado de vidro durante processo de conformação e alto índice de vibração devido a rotação simultânea dos mandris. Em razão disso, grande parte dos ajustes, limpezas e falhas neste grupo de controle podem ocasionar paradas de máquina, uma vez que estão instalados em uma zona baixa manutenibilidade. Portanto, já estão estabelecidas inspeção de rotas para verificações regulares dos componentes do grupo, visando reduzir o índice de falhas e avarias de componentes, ainda que não seja possível prevenir a maior parte deles, por serem intrínsecas ao processo.

Em razão disso, ficou estabelecido que este grupo não viabiliza, por momento, a criação de nova estratégia de manutenção além daquelas já existentes, uma vez que as falhas não estão concentradas em uma causa raiz ou componente específico e o grupo trabalha em uma zona agressiva do processo, com presença de altas temperaturas e particulado de vidro que naturalmente aceleram o desgaste do sistema.

4.3.3 Grupo de Controle Serigráfico da Linha de Transporte depois do forno

O grupo de controle serigráfico da Linha de Transporte, por sua vez, possui funcionamento semelhante ao grupo de controle dimensional da rotativa. As inspeções também são feitas por um sistema de visão com câmera, mas procura por defeitos considerados

cosméticos, ou seja, aqueles relacionados a imperfeições encontradas na superfície do produto. No caso deste grupo, o sistema de controle procura por defeitos na impressão serigráfica da ampola, que é uma gravação em tinta de uma imagem definida pelo cliente, geralmente com informações do medicamento ou com o nome da farmacêutica que receberá o produto. Portanto, as fotos retiradas são processadas a partir do contraste da impressão em relação ao vidro, exatamente como é feito no processo anterior, e analisadas em busca de irregularidades em relação ao modelo padrão da estampa, que podem reduzir a visibilidade da leitura das informações, podendo causar o manuseio errado do medicamento pelo cliente final, por exemplo.

De acordo com os dados apresentados para o sistema de controle serigráfico da Linha de Transporte, os principais modos de falha identificados, que juntos totalizam cerca de 85% de todas as falhas neste grupo, foram:

- a) 30% falta de ajuste mecânico;
- b) 30% falso descarte;
- c) 25% de sujeira.

É importante ressaltar que apenas metade das máquinas de ampolas possuem esse sistema de visão, uma vez que nem todas as máquinas estão habilitadas para produção de serigrafia, o que faz com que o impacto seja ainda mais significativo se comparado aos demais.

Em análises das principais causas desses modos de falha, foi identificado que grande parte das quebras que estão associadas a falta de ajuste mecânico são referentes a falha no sistema de elevação da peça durante a inspeção, conforme pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Descritivo de falhas no grupo de Controle Serigráfico

Tipo Parada IPROD		Data do Evento (IPROD)	Repart.	Duração	Observações IPROD
<input type="checkbox"/>	GSM BANCADA DE ROLETES	sábado, 23 de janeiro de 2021	S01	30	LCA montagem do liflither
<input type="checkbox"/>	GSM ELETROVÁLVULAS	domingo, 24 de janeiro de 2021	S01	9	LCA AJ e aperto e posicao do lifth
<input type="checkbox"/>	GSM LINHA (ELEVAÇÃO, ARRASTO)	quarta-feira, 27 de janeiro de 2021	S01	12	LCA-Vimec descartando peças boas (aj do mesmo)
<input type="checkbox"/>	GSM PASSO PEREGRINO	quinta-feira, 28 de janeiro de 2021	S01	39	LCA Troca do Lifter
<input type="checkbox"/>	GSM PREND. POS. EM CAIXA	sábado, 30 de janeiro de 2021	S01	40	LCA / Montagem da chapa de proteção do liflither
<input type="checkbox"/>	GSM RIBALTINA RULLIERA	terça-feira, 2 de março de 2021	S01	10	LCA software do vimec travado
<input type="checkbox"/>	GT APALPADORES LINHA	sexta-feira, 5 de março de 2021	S01	33	AJ VIMEC. LCA
<input type="checkbox"/>	GT CÂMERAS DE VÍDEO CLEANER	sábado, 6 de março de 2021	S01	21	LCA- Ajuste VIMEC
<input type="checkbox"/>	GT CÂMERAS DE VÍDEO LINHA	quarta-feira, 10 de março de 2021	S01	48	LCA- Ajuste sistema VIMEC
<input type="checkbox"/>	GT CÂMERAS DE VÍDEO NOVIS	quinta-feira, 11 de março de 2021	S01	14	falha na leitura do vimec
<input checked="" type="checkbox"/>	GT CONTROLE SERIGRÁFICO	domingo, 14 de março de 2021	S01	24	LCA peça presa no LIFLITHER do VIMEC/ ajuste no VIMEC
<input type="checkbox"/>	GT Falha câmeras de vídeo				
<input type="checkbox"/>	GT ILUMINADORES NOVIS/CLEANER/STEM				
		segunda-feira, 15 de março de 2021	S01	20	LCA- Peça travada no sistema VIMEC
		sexta-feira, 19 de março de 2021	S01	8	LCA-Troca do rolamento Vimec (sujeira no corpo)
		sábado, 20 de março de 2021	S01	15	LCA - ajuste do liflither do Vimec
		terça-feira, 30 de março de 2021	S01	28	LCA/Ajuste vimec
		segunda-feira, 26 de abril de 2021	S01	20	LCA - Peça garrou no Vimec
		sábado, 1 de maio de 2021	S01	8	AJ vimec fora de posição
		quarta-feira, 19 de maio de 2021	S01	5	LCA ajuste no vimec

Media Fermata	MTBF (IPROD)	MTTR (EAM)
0,56	1.636...	0,62

Fonte: Autora (2022).

A Figura 15 mostra uma das abas desenvolvidas no *dashboard* proposto, em que é possível obter o tipo de parada de acordo com a descrição padrão do *software* de gerenciamento de produção, chamado IPROD. Aplicando o filtro de tipo de parada para “GT Controle Serigráfico”, referente ao grupo de controle serigráfico em análise, é possível obter os indicadores MTBF e MTTR para o grupo, assim como informações, em tabela, dos últimos eventos ocorridos, constando data do evento, departamento (S01 representa o setor produtivo de Ampolas), duração em minutos e observações resumidas do evento. Nas observações pode-se notar que grande parte das falhas estão associadas ao sistema LIFTER (referente ao sistema mecânico de elevação da peça) e as falhas relacionadas ao “travamento” de peças no grupo de inspeção (também chamado VIMEC em referência ao fabricante do sistema de visão). De acordo com o MTTR apresentado, as falhas duram em média 37 minutos para serem resolvidas.

Essa falha é recorrente, pois, no controle serigráfico, a peça é inspecionada na horizontal, enquanto nos outros sistemas de controle a inspeção é feita totalmente na vertical. Nesse caso, é necessário um conjunto mecânico para elevar a peça que está sendo transportada do vértice da corrente e girá-la em 360 graus para inspeção completa da impressão serigráfica. Porém, durante esse processo, é comum que a peça desencaixe do vértice e cruze na corrente de transporte, bloqueando as demais peças que estão vindo na sequência. Essa falha ocorre, principalmente, em razão de problemas no cilindro pneumático que faz o movimento do conjunto mecânico, geralmente relacionados ao fim da vida útil do componente ou redução de capacidade devido sujeira interna. Essa falha gera diversos outros problemas, como perdas de peças, travamento da corrente, falso descarte e quebra de outros componentes do sistema, além de também gerar a necessidade de abertura de desvio para gestão do material.

Também foi constatado que um grande agravante da perda de produtividade nas falhas nesse grupo está relacionado a demora para notificar a manutenção sobre a falha, que ocasiona em maior perda de material e tempo de parada, uma vez que a identificação rápida poderia evitar a quebra e, assim, a parada do equipamento e a abertura do desvio. Esse grupo de controle fica localizado dentro da sala controlada, fora da área de gestão da produção, e não havia nenhum alarme ou sinalização que ajudasse na identificação da falha.

Portanto, a estratégia definida para redução do impacto das falhas foi desenvolver uma melhoria do sistema que gerasse um alarme visível para a equipe de produção, notificando sobre o alto índice de perda devido a falha no grupo. Essa estratégia só pôde ser viabilizada pois o CLP da linha de transporte do setor de Ampolas é o único que não possui restrição de acesso, possibilitando que a equipe de Automação faça alterações livremente em sua programação.

5 RESULTADOS

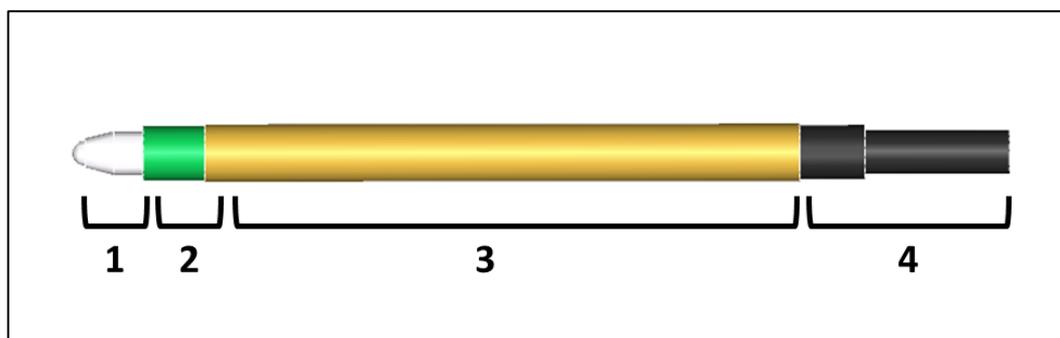
Neste capítulo serão relatados os resultados obtidos nas estratégias de manutenção definidas, que visava reduzir falhas no grupo de controle dimensional da Linha de Transporte, por meio da manutenção preventiva dos transdutores de medição do fundo côncavo das ampolas; e no grupo de controle serigráfico na linha após o forno, por meio de uma melhoria que inserisse alarmes para notificar a equipe de produção de alto índice de descarte de peças no grupo.

5.1 Manutenção preventiva de transdutores

A partir da definição do transdutor como o principal causador de falhas no grupo de controle dimensional da Linha de Transporte, foi feito um estudo deste componente, procurando entender melhor seu funcionamento, montagem e as causas de suas quebras.

O transdutor LVDT utilizado é do modelo T301 da marca Peter Hirt, cuja estrutura pode ser vista na Figura 16. Em (1) tem-se a extremidade com rosca, na qual é instalada a ponta que faz as medições da concavidade; em (2) tem-se a estrutura que fixa o corpo a parte interna do transdutor, composta por uma borracha flexível que permite sua movimentação; em (3) está representado o corpo, responsável por proteger os componentes internos do transdutor; e em (4) tem-se a conexão do cabo com três linhas de saída na blindagem conectadas ao corpo principal, que vai ligado ao condicionador de sinais.

Figura 16 - Estrutura do transdutor utilizado no grupo de controle



Fonte: Autora (2022).

Para as primeiras análises, foi utilizada a técnica dos “cinco porquês”, idealizada no modelo do Toyotismo, que auxilia na identificação de potenciais causas de um determinado

problema, em busca de ações corretivas e preventivas para sua solução. A Figura 17 a seguir, mostra a análise dos “cinco porquês” feita, na qual é identificado que o transdutor, durante inspeção, não faz o movimento regular, ocasionando na medição incorreta da medida da concavidade da ampola. Isso ocorre porque particulado de vidro é projetado no transdutor, impedindo que a estrutura interna do transdutor se movesse adequadamente e, devido a isso, gerava a leitura e conversão incorreta do movimento linear. Além disso, não existia nenhum procedimento ou ação de manutenção para limpeza do transdutor, o que ocasionava no acúmulo de particulado no vidro dentro do equipamento, que reduzia sua vida útil e ocasionava na quebra. Portanto, a ação corretiva era de substituição do transdutor, pois acreditava-se que o mesmo estava danificado e não podia ser reparado. Após desmontagem de um desses transdutores com defeitos, foi identificada a possibilidade de limpeza da sujeira interna, viabilizando a criação de uma atividade periódica de manutenção preventiva para aumentar o tempo de vida útil do equipamento.

Figura 17 - Método dos Cinco Porquês aplicado ao transdutor

Problema	Causas Potenciais			Ações	
	Porquê (1)	Porquê (2)	Porquê (3)	AÇÃO PREVENTIVA	AÇÃO CORRETIVA
Transdutor de concavidade não faz a medição correta das ampolas	Durante a inspeção, o transdutor não faz movimento liso / suave.	Particulado de vidro é acumulado dentro do transdutor, dificultando o movimento	Não existe procedimento para limpeza regular do transdutor	Criação de atividade de manutenção preventiva para limpeza do transdutor	Substituição do transdutor

Fonte: Autora (2022).

Dessa forma, essa atividade foi inserida no plano de manutenção preventiva de sistemas de automação, para ser realizada trimestralmente, durante parada para preventiva pré-agendada com a equipe de PCP (Planejamento e Controle de Produção). Também se desenvolveu um procedimento padrão para execução da atividade, que deve ser seguido com atenção para não causar danos ao transdutor. Os passos do procedimento estão descritos a seguir:

- a) primeiramente, deve ser feita a remoção da ponta da extremidade do transdutor, que está destacada na Figura 18, com o intuito de evitar danos durante o manuseio, em razão da alta sensibilidade e fragilidade do componente;

Figura 18 - Transdutor montado com ponta na extremidade



Fonte: Autora (2022).

- b) em seguida, é preciso deformar com cuidado a borracha de proteção (verde) para deixar o encaixe da chave livre para desenroscar e, assim, remover o corpo da parte interna, deixando os componentes do transdutor livres. Após desmontado, conforme Figura 19, também é possível visualizar a mola responsável por retornar a agulha de medição para a posição inicial. Portanto, aproveita-se também para verificar se a deformação está conforme o esperado e, caso não esteja, deve-se fazer a substituição por uma mola nova;

Figura 19 - Transdutor desmontado com corpo livre



Fonte: Autora (2022).

- c) com o transdutor desmontado, é possível observar a sujeira acumulada proveniente da mistura de graxa com o particulado de vidro, como pode ser visto na Figura 20. Para limpeza dos componentes internos, aplica-se um óleo de penetração e deslocamento de água em spray, geralmente WD-40, que limpa o vidro acumulado e qualquer outra impureza presente. Após, utiliza-se ar comprimido para secar a agulha do transdutor e remover o excesso de produto. Para limpeza da parte interna do corpo de proteção da agulha, utiliza-se uma chave Allen tipo 4 envolta por um pano de limpeza;

Figura 20 - Antes e depois da limpeza dos componentes internos do transdutor



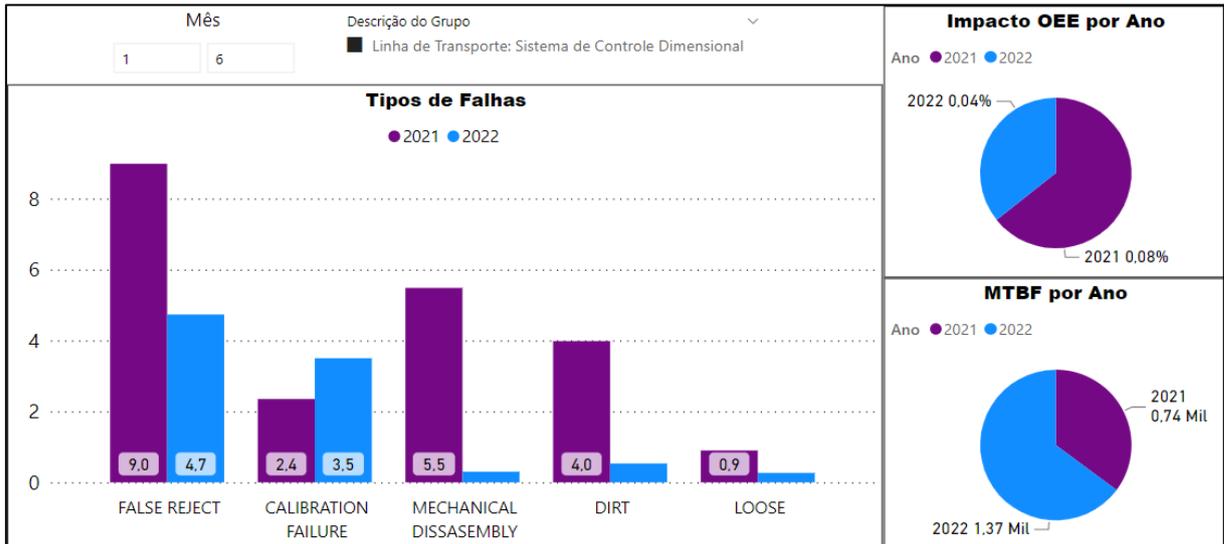
Fonte: Autora (2022).

- d) após a limpeza e verificação de todos os componentes, faz-se a montagem do corpo e da ponta de concavidade, restabelecendo a condição de base do transdutor.

Esse procedimento tem como objetivo garantir que todos os responsáveis pela atividade a executem de forma padrão. Além disso, é feito um controle manual em uma planilha de Excel, que consta a identificação dos transdutores (numeração), data de última manutenção e máquina em que foi instalado. Esta planilha gera um alarme periódico (a cada 90 dias), sinalizando que certo transdutor precisa ser revisado novamente. Dessa forma, a equipe de Automação sinaliza o Planejamento de Manutenção sobre a necessidade de execução da atividade, para agendamento de parada preventiva do equipamento.

Após implementação e acompanhamento das ações preventivas no período de um ano, tem-se os resultados comparativos do grupo controle dimensional da linha de transporte referente aos anos de 2021 e 2022, apresentados na Figura 21.

Figura 21 - Resultados da implementação da manutenção preventiva em transdutores



Fonte: Autora (2022).

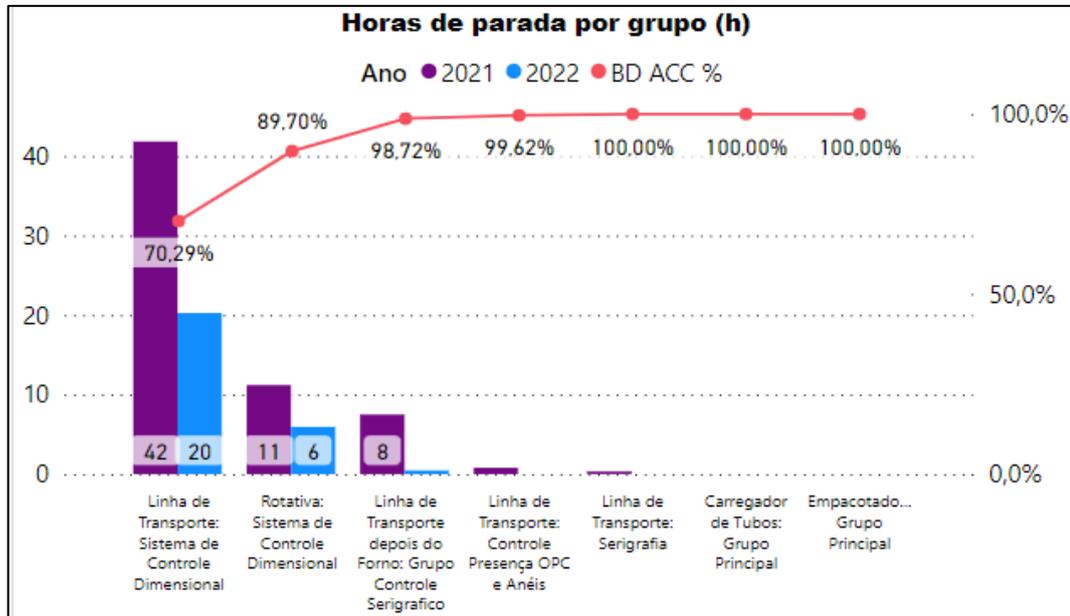
Pode-se observar que o impacto no OEE devido a falhas no grupo, que era de 0,08% no ano de 2021, reduziu para 0,04% no ano de 2022, o que representa uma redução na perda de disponibilidade de cerca de 50% entre os anos. Em relação ao MTBF, que em 2021 era de 0,74 mil horas (cerca de 74 horas por máquina), houve aumento para 1,37 mil horas, que representa 137 horas por máquina, o que quer dizer que as máquinas demoram praticamente o dobro do tempo para apresentar novas falhas neste grupo.

Porém, se analisado o gráfico de “Tipos de Falhas”, que relaciona as horas de equipamento parado nos seis primeiros meses do ano de 2021 e 2022, pode-se observar que o modo de falha de calibração foi o único que não sofreu redução, pois também está relacionado ao cilindro pneumático que faz o avanço do grupo, que aumentou o índice de falhas em razão do desgaste precoce da vedação e outros componentes devido à altura temperatura, reduzindo seu tempo de vida útil.

Apesar dos resultados positivos, o grupo ainda é o principal responsável por quebras e horas indisponíveis de equipamentos de manutenção, conforme mostra Figura 22. Apesar da redução em relação ao ano anterior, o grupo ainda apresenta cerca de 70% de toda perda de produtividade das linhas de ampolas relacionadas aos grupos gerenciados pela equipe de

automação, sendo necessário fazer novos estudos para identificar e propor soluções para as quebras que persistiram neste grupo.

Figura 22 – Comparativo de horas de paradas dos grupos de automação (2021-2022)



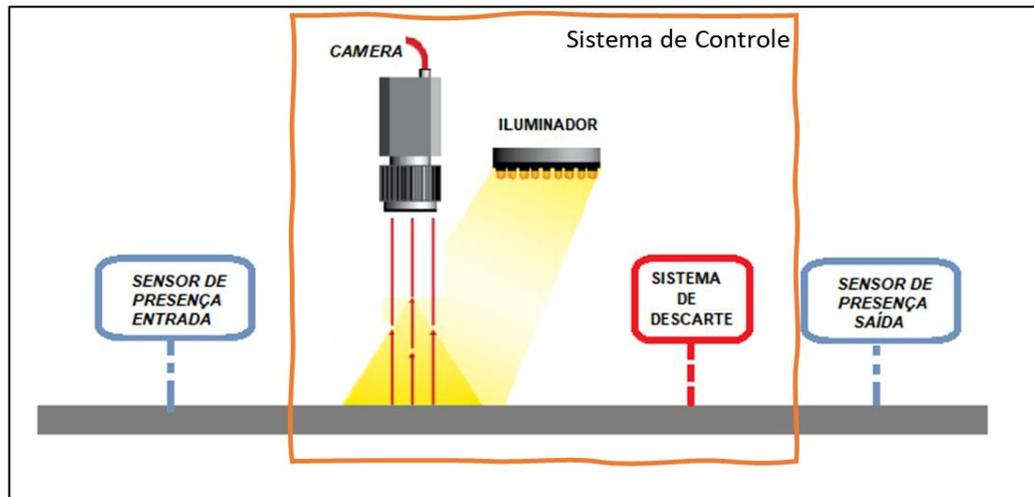
Fonte: Autora (2022).

5.2 Melhoria de sistema de controle cosmético

A partir da definição da estratégia que visa desenvolver uma melhoria que permita uma identificação mais rápida das falhas no grupo de controle serigráfico da Linha de Transporte depois Forno, foi desenvolvido um trecho de código adicional no CLP da linha de transporte/forno, que gera um alarme visual na IHM e faz o acionamento de um sinal luminoso intermitente (giroflex) quando ocorre perdas excessivas de produtos no grupo.

Para identificação da quantidade de produto que estava sendo perdida no sistema, primeiramente foram instalados dois sensores fotoelétricos reflexíveis de modelo TO22PD3 em pontos antes e depois do sistema de controle, com o intuito de criar um contador do produto que passou pela inspeção, com projeto representado na Figura 23. Caso o sistema esteja em falha e o descarte comece a aumentar, o contador irá identificar a divergência entre quantidade de produto que entrou e saiu da inspeção, e geraria os alarmes para notificar a produção do problema. Além disso, esse sistema também ajuda na identificação mais rápida de falhas no grupo serigráfico – que faz a impressão nas ampolas, antecipando a ação de produção de ajuste dessa alçada e reduzindo a quantidade de produto gerenciado por esse defeito cosmético.

Figura 23 - Disposição dos sensores de presença em relação ao sistema de controle



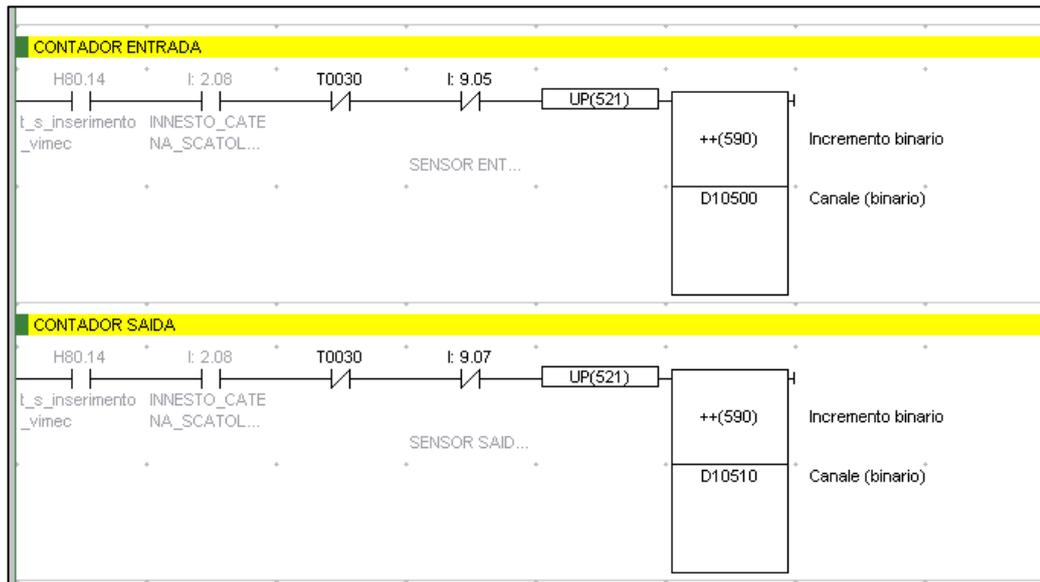
Fonte: Autora (2022).

Portanto, o projeto de funcionamento do sistema deverá atender aos seguintes requisitos:

- será feita a instalação de dois sensores que fazem a contagem da quantidade de produto que entrou e saiu do sistema de visão;
- o CLP deve calcular a diferença entre produto que entrou e saiu do sistema;
- o técnico em automação deverá ajustar o *setpoint* de contagem de peças na IHM;
- quando a diferença for maior do que o *setpoint* será gerado um alarme na IHM do painel da linha de transporte e acionado o alarme luminoso (giroflex) na mesa do operador de produção;
- o reset do alarme poderá ser feito diretamente na IHM ou em uma botoeira instalada na bancada do operador de produção.

O CLP utilizado na linha de transporte/forno é o CJ1M-CPU21 da fabricante OMRON e utiliza-se o *software* CX-Programmer para *download* e *upload* da programação do CLP, que possui suporte a linguagem LADDER, escolhida como base para o código, porque, além de seguir o padrão de programação do CLP, permite um melhor monitoramento da lógica durante o período de desenvolvimento, uma vez que se trata de uma linguagem gráfica. A programação desenvolvida será explicada detalhadamente a seguir.

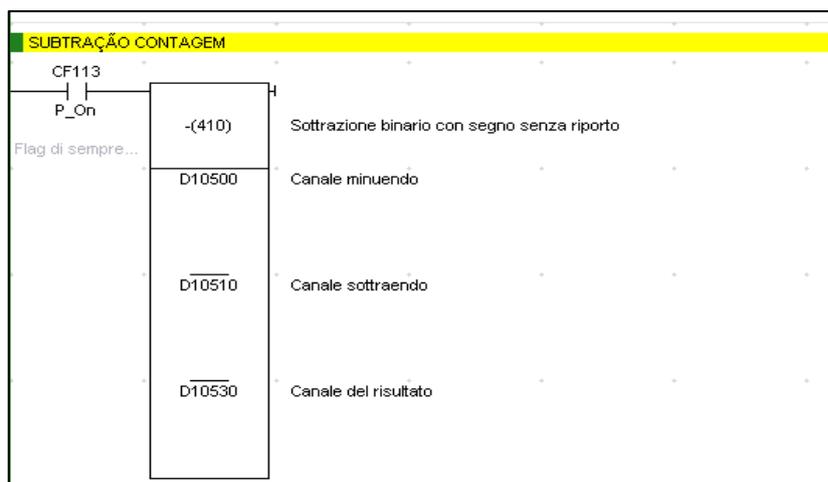
Figura 24 – Contadores de entrada e saída das peças



Fonte: Autora (2022).

A Figura 24 mostra os trechos implementados para contagem de produto, no qual: H80.14 (NA) e I2.08 (NA) indicam que o sistema de visão e corrente de transporte estão habilitados, respectivamente; T0030 (NF) é referente a um temporizador TON, com PT (*preset value*) de 90 segundos; e as entradas I9.05 e I9.07 são referentes aos sensores de entrada e saída instalados, respectivamente. Quando todas essas condições são atendidas, os contadores (D10500 e D10510) incrementam seu valor na borda de subida dos sensores.

Figura 25 – Subtração da contagem de entrada e saída de peças

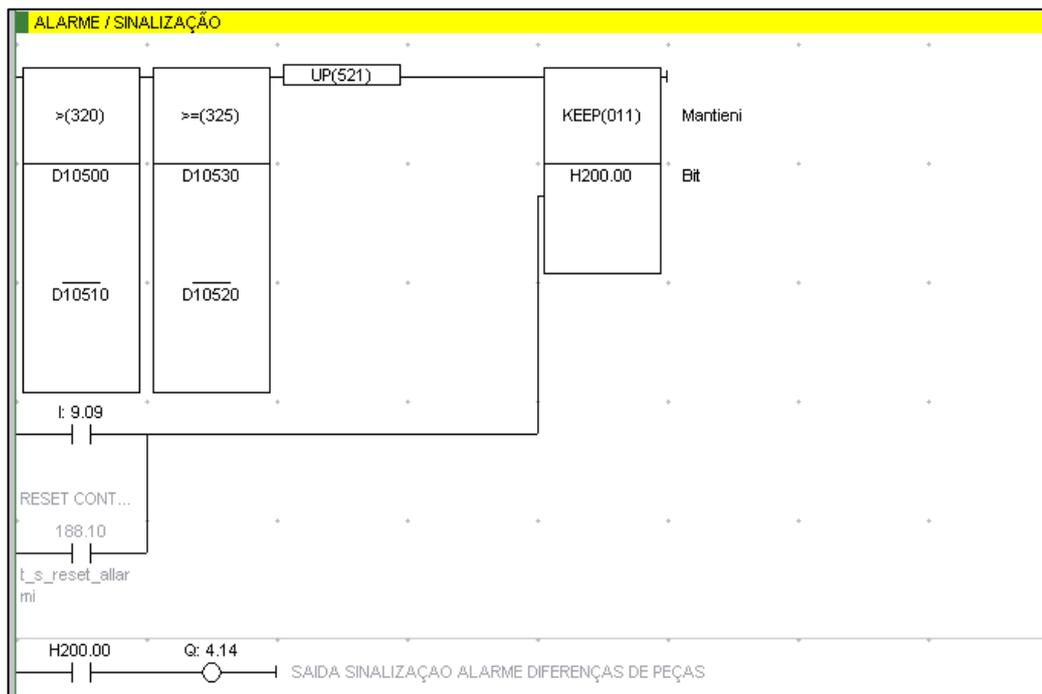


Fonte: Autora (2022).

A diferença entre os valores de entrada e saída dos contadores é calculado no bloco D10530, conforme mostrado na Figura 25. A condição CF113 sempre será atendida, pois se trata de uma *flag* interna que é sempre verdadeira. É importante ressaltar que seria mais eficiente utilizar um contador UP/DOWN (CTUD), que faz incrementação e decrementação em um único bloco, mas a versão do *software* utilizado não oferece suporte a esse bloco de operações.

Após, foi possível criar a lógica para acionamento do alarme, como pode ser visto na Figura 26. O bloco H200.00 é referente a uma bobina de *set*, portanto, quando as condições são atendidas, seu valor vai para verdadeiro até que seja feito um *reset*.

Figura 26 – Acionamento do alarme a partir da contagem de peças



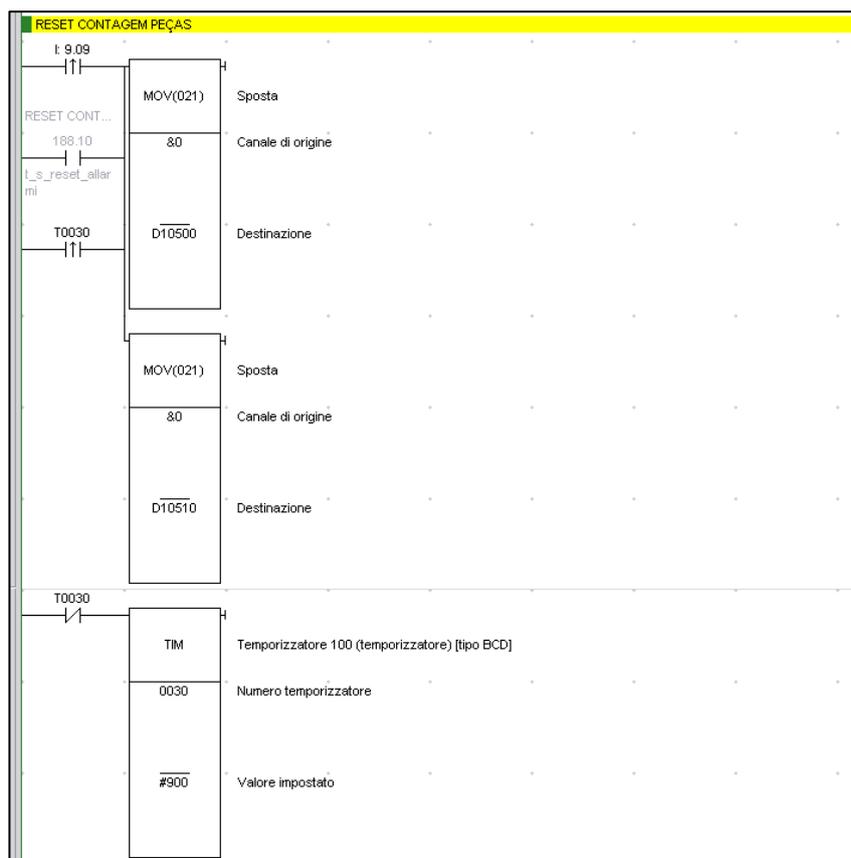
Fonte: Autora (2022).

As condições para acionamento são: quando o contador de entrada (D10500) é maior do que o contador de saída (D10510) - que indica que houve peças perdidas no processo; e quando a diferença entre entrada e saída, calculados anteriormente no bloco D10530 (FIGURA 25), for maior ou igual ao *setpoint*, que pode ser definido na IHM e tem seu valor atribuído na variável interna D10520. Nesse caso, a saída que faz o acionamento do alarme Q4.14, será verdadeira até que seja feito o *reset* do bloco H200.00. O *reset* é feito quando é acionada manualmente a botoeira na mesa do operador (I9.09) ou quando é feito o reconhecimento da falha na IHM (188.10).

Como não era desejado que o contador acumulasse a perda de peças em um longo período de tempo, fez-se um temporizador que zera a contagem a cada 90 segundos, uma vez que a máquina produz cerca de 80 a 90 ampolas por minuto. Portanto, caso o descarte de peças esteja alto ou haja peças caindo da corrente, a falha será identificada em, no máximo, 180 segundos. As perdas que ocorrem nesse período de tempo são irrisórias comparadas a velocidade do processo e esse valor pode ser alterado para adequação a outras velocidades da máquina futuramente.

O bloco que faz o zeramento dos contadores está demonstrado na Figura 27. Os blocos “MOVE” mudam os contadores de entrada e saída para zero quando é feito o acionamento da botoeira na mesa do operador ou quando é reconhecido o alarme na IHM ou quando o temporizador atinge o *preset value* de 90 segundos.

Figura 27 – Zeramento do contador de peças



Fonte: Autora (2022).

Com toda a lógica de programação concluída, era somente necessário habilitar a saída do alarme Q4.14 na IHM, para gerar a mensagem desejada. O *software* utilizado para

modificações na IHM, também da fabricante OMRON, foi o CX-Designer, que possui uma função apenas para declarações de alarmes e eventos.

Após a implementação do código, a melhoria foi adotada primeiramente em uma máquina-piloto, para acompanhamento dos resultados e eficácia. A Figura 28 mostra as interfaces disponibilizadas no projeto: na IHM é possível acompanhar a contagem das peças e *resetar* o alarme; no painel do operador, foi instalado um sinal luminoso (giroflex), que é acionado quando a falha ocorre, e disponibilizado uma botoeira manual para *resetar* o alarme.

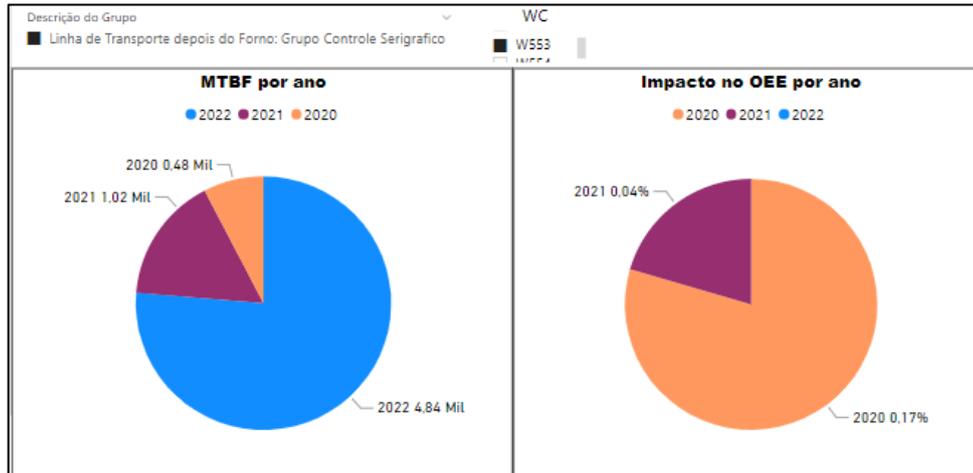
Figura 28 - Instalação dos componentes da melhoria de sistema de controle cosmético



Fonte: Autora (2022).

Para validação do projeto de melhoria, foram levantados os indicadores de performance da máquina-piloto (W553), conforme pode ser visto na Figura 29. O MTBF, que era de 480 horas no ano de 2020 e 1020 horas no ano de 2021, apresentou um aumento para 4840 horas, uma vez que o grupo não apresentou quebras neste ano. Da mesma forma, o impacto no OEE da máquina em 2020 era de 0,17% e em 2021 de 0,04%, sendo que em 2022 não apresentou nenhum impacto, uma vez que não foi necessário fazer paradas no equipamento para intervenção, bastando remover as ampolas que caíram na corrente e fazer pequenos ajustes. Portanto, devido aos resultados positivos, o projeto foi aprovado para expansão para as demais máquinas do setor de ampolas.

Figura 29 – Resultados da implementação de melhoria de sistema de controle cosmético



Fonte: Autora (2022).

Além disso, ambos os projetos atendem a requisitos do programa de WCM da empresa, que incentiva a criação de estratégias de manutenção para aumento da produtividade e redução de perdas no processo. A estratégia definida para o grupo de controle dimensional da linha de transporte é referente ao pilar operacional de Manutenção Planejada, que visa propor ações para aumento do MTBF e OEE das máquinas, por meio de atividades preventivas de manutenção que identifiquem e corrijam as falhas potenciais antes que se tornem quebras.

Já a estratégia definida para o grupo de controle serigráfico da linha depois do forno, atende aos requisitos do pilar de Melhoria Focada, que visa propor melhorias para mitigar problemas inerentes ao processo; e também atende ao pilar de Manutenção Planejada, que tem como um dos objetivos suportar a equipe de Manutenção Autônoma (Produção), nesse aspecto, ajudando-os na identificação de falhas no processo.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o sistema produtivo de uma indústria de embalagens farmacêuticas de vidro do ponto de vista de gestão de manutenção de ativos, analisando os processos de automação envolvidos no ciclo produtivo com o intuito de aumentar a disponibilidade dos equipamentos, por meio da implementação de um sistema de gestão de informações de manutenção a fim de desenvolver estratégias para redução de falhas e quebras nos principais componentes dos sistemas de automação encontrados nessa indústria, principalmente aqueles relacionados à supervisão e a inspeção dos produtos em tempo real, essenciais para a asseguuração da qualidade do produto final no processo produtivo.

Portanto, foi necessário desenvolver e implementar um banco de dados com informações de manutenção a partir de informações disponibilizadas na rede industrial da empresa. Para isso, foram utilizadas diversas planilhas obtidas no servidor da empresa, para desenvolver um *dashboard* na ferramenta Powerbi, que apresenta dados referentes às manutenções preventivas e corretivas, como horas gastas para restauração dos equipamentos, grupos e máquinas com maior perda de disponibilidade devido a quebras, além de calcular todos os indicadores chaves de desempenho requeridos, como OEE, MTBF e MTTR, que são apresentados para cada máquina, departamento produtivo (Ampolas, Cartuchos e Frascos) e setor de manutenção (Mecânica, Elétrica e Automação).

Desse modo, utilizando os dados disponibilizados no *dashboard* criado, foi possível identificar os grupos de sistemas de automação que mais causaram impacto na produtividade e reduziram a disponibilidade dos equipamentos, por meio da análise dos principais indicadores de performance controlados e, assim, identificar e analisar os principais modos de falha destes grupos, associá-los a causa raiz das quebras e, a partir da compreensão do processo, definir oportunidades de melhoria e estratégias para redução destes impactos. Foi observado que a abordagem dessas estratégias pode ser diferente dependendo do modo de falha apresentado, sendo possível recorrer a implementação de manutenções preventivas, manutenções corretivas ou melhorias, por exemplo, para mitigar a ocorrência desses eventos de quebra.

Assim, os grupos que apresentaram menor performance foram: sistema de controle dimensional da linha de transporte, para o qual foi definida uma estratégia de manutenção preventiva nos transdutores de concavidade; sistema de controle dimensional da rotativa, em que não foi apresentada nenhuma estratégia em razão da baixa manutenibilidade da máquina conformadora; e sistema de controle serigráfico da linha depois do forno, para o qual foi identificado uma oportunidade de melhoria por meio da instalação de alarmes, com intuito de

ajudar na identificação das falhas nesse grupo, que fica localizado dentro da sala controlada. Os resultados apresentados para as estratégias definidas foram positivos, uma vez que os indicadores melhoraram em relação aos últimos anos, o que indica que houve aumento da disponibilidade das máquinas se tratando de quebras e falhas de sistemas de automação.

Apesar dos resultados positivos, seguindo a abordagem sugerida pela Manutenção Produtiva Total, o objetivo é alcançar a Quebra Zero do processo. Dessa forma, se faz necessário continuar observando e estudando os equipamentos, em busca de eliminar todas as causas de perdas de disponibilidade do processo, como é proposto ao pilar de Manutenção Planejada, responsável por trabalhar preventivamente e estrategicamente na redução das quebras e falhas existentes no processo.

Dessa forma, a implementação do sistema de gestão de informações de manutenção se faz extremamente útil para a realização de análises mais direcionadas e técnicas do processo, observando as máquinas do ponto de vista de gestão de ativos produtivos. Esse banco de dados também auxilia na identificação dos problemas existentes em equipamentos de automação, auxiliando na viabilização de soluções para redução de quebras e falhas, melhorias no processo e aumento do tempo de vida dos componentes envolvidos.

REFERÊNCIAS

- AKERMAN, M. **Introdução ao vidro e sua produção**. EESC-USP: Wikividros, 2017. Disponível em: <https://wikividros.eesc.usp.br/introducao_ao_vidro_e_sua_producao>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 7. 1994.
- BALLAST. **Sistemas de visão industrial funcionamento e aplicação**. 2013. Disponível em: <<https://ballast.com.br/automacao-industrial/sistemas-de-visao-industrial-funcionamento-e-aplicacao/>>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- BARBOSA, N. **Evolução do PIB per capita e situação política**. IBRE, jan. 2020. Disponível em: <<https://blogdoibre.fgv.br/posts/evolucao-do-pib-capita-e-situacao-politica>>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- BUSSO, C. M.; MIYAKE, D. I. **Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica**. USP, São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/oeo-calculo-eficiencia-equipamentos-integracao-sistemas/>>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- CAPANEMA, L. X. L. **A indústria farmacêutica brasileira e a atuação do BNDES**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 23, p. 193-215, mar. 2006. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2591/1/BS%2023%20A%20ind%c3%bacia%20farmac%c3%aautica_P.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- COUTINHO, T. **O que é inspeção de qualidade de um produto e quem é responsável por ela?** Voitto, 2021. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/inspecao-de-qualidade>>. Acesso em 18 jun. 2022.
- FENASAÚDE. **COVID-19 causa aumento de até 5,275% nos custos dos planos de saúde com medicamentos de intubação**. Rio de Janeiro, jun. 2021. Disponível em: <<https://fenasaude.org.br/noticias/covid-19-causa-aumento-de-ate-de-5-275-nos-custos-dos-planos-de-saude-com-medicamentos-de-intubacao.html>>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- FERNANDES, D. R. A.; GADELHA, C. A. G.; MALDONADO, J. M. S. **Vulnerabilidades das indústrias nacionais de medicamentos e produtos biotecnológicos no contexto da pandemia de COVID-19**. Cad. Saúde Pública (Online), abr. 2021. Disponível em: <<https://scielosp.org/article/csp/2021.v37n4/e00254720/#>>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- FOGLIA, P., PRETE, C. A., ZANDA, M. **An inspection system for pharmaceutical glass tubes**. WSEAS Transactions on Systems, Vol. 14, pag. 123-136, 2015.
- FRANCISCHINI, A.S.; FRANCISCHINI, P. G. **Indicadores de Desempenho: Dos objetivos à ação - métodos para elaborar KPIs e obter resultados**. Alta Books Editora, set. 2018.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 5ª ed., Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2009.
- MAGALHÃES, L. C. G. et al. **Diretrizes para uma Política Industrial de Medicamentos e Farmoquímicos**. Nota Técnica. Rio de Janeiro: Ipea, 2003b.
- ORTIZ, S. A. **Ampolas e frascos de vidro tipo 1 para produtos de uso parental**. Boletim de tecnologia e desenvolvimento de embalagens, vol. 10 - nº 3, 1998. Disponível em:

<https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v10n3/v10n3_artigo1.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2022.

PASCHOAL, D. R., et al. **Disponibilidade e confiabilidade:** aplicação da gestão da manutenção na busca de maior competitividade. Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA (2009): 1-14.

PEREIRA, S. B. **Sistemas de visão:** confiabilidade de soluções amplia aplicações. Revista Automação, out. 2020. Disponível em: <<https://revista-automacao.com/market-overview/32040-sistemas-de-vis%C3%A3o-confiabilidade-de-solu%C3%A7%C3%B5es-amplia-aplica%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em 18 jun. 2022.

PINTO, A. A. **WCM (World Class Manufacturing) A última tendência na qualidade.** 2018. Disponível em: <<http://lmlexcelenciaoperacional.com.br/blog/wcm-world-class-manufacturing-a-%C3%BAltima-tend%C3%Aancia-na-qualidade>>. Acesso em 15 jun. 2022.

ROMÃO, D. **Manutenção centrada em qualidade.** 1ª ed, Brasília: Engeteles Editora, 2020.

ROSA, S.E.S. da; COSENZA, J.P.; BARROSO, D.V. **Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, p. [101]-137, set. 2007. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2666>>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ROSSETTI, G. **Conheça os pilares técnicos do WCM para eliminar desperdícios nas empresas.** Voitto, 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/pilares-tecnicos-do-wcm>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SCHOTT. **História de Inovação.** Disponível em: <<https://www.schott.com/pt-br/sobre-nos/empresa/historia/historia-de-inovacao>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

SETE LAGOAS NOTÍCIAS. **Ompi inaugura fábrica em Sete Lagoas e espera gerar empregos em 2018.** Sete Lagoas, nov. 2017. Disponível em: <<https://www.setelagoasnoticias.com.br/noticia/economia/ompi-inaugura-fabrica-em-sete-lagoas-e-espera-gerar-empregos-em-2018/77/3790>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

SILVA, A. C. **Processos químicos industriais I - Vidro.** EEL USP, s.d. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~acsilva/8%20-%20Vidro.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

STEVANATO GROUP. **Ampoules.** Disponível em: <<https://www.stevanatogroup.com/en/offering/drug-containment-solutions/ampoules/>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

TERTULIANO, I.; C MARA, M.; SZABO, V. **Indústria 4.0:** a inovação aliada à sustentabilidade. PUC-SP, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/14-industria_inovacao_infraestrutura.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ESCOLA POLITÉCNICA. **Sensores e transdutores.** Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/8/89/Aula_1_-_Sensores.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINAS. **Panorama setorial:** indústria farmacêutica - Estrutura e desempenho recente no Brasil. Núcleo de Economia Industrial e da Tecnologia, UNICAMP, nov. 2003. Disponível em: <https://www.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/BoletimNeit/Boletim-NEIT_022.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

VICECONTI, E. V. **O processo de industrialização brasileira**. Revista de Administração de Empresas, v. 17, n. 6, p. 33-43, 1977. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rae/a/jXTDXVDgshvB4PZdYxfqHkN/?lang=pt#>>. Acesso em: 15 fev. 2022.

WESTPHAL, F. S. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. São Paulo: Abividro, 2016, p. 11. Disponível em: <https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro_Manual_Tecnico-do-Vidro_Plano_Edificacoes.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

ZANCAN, M. D. **Controladores Programáveis**. UFSM - RS, 2011. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/17_controladores_programaveis.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2022.