



**INSTITUTO
FEDERAL**
Pernambuco

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco

Campus Caruaru

Graduação em Engenharia Mecânica

FELIPE PEREIRA DA SILVA

**USO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA COMO FORMA DE PREVENÇÃO DE
INCÊNDIO EM FILTROS DE MANGAS**

CARUARU

2020

FELIPE PEREIRA DA SILVA

**USO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA COMO FORMA DE PREVENÇÃO DE
INCÊNDIO EM FILTROS DE MANGAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para à obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Doutor Alexander Patrick Chaves de Sena.

CARUARU

2020

S586u

Silva, Felipe Pereira da

Uso da manutenção preditiva como forma de prevenção de incêndio em filtros de mangas/ Felipe Pereira da Silva; orientação de Alexander Patrick Chaves de Sena. – Caruaru, 2020.

81 f.

Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia Mecânica) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, 2020.

1. Manutenção preditiva – Engenharia Mecânica. 2. Filtro de mangas. 3. Kaizen - Indústria. 4. Filtro de mangas - Incêndio. 5. Filtro de mangas - monitoramento. 6. Internet of things - Internet das coisas. 7. Indústria 4.0. 7. Tecnologia 4.0. 8. Manutenção preditiva – Estudo de caso. 9. Engenharia Mecânica - IFPE. I. Sena, Alexander Patrick Chaves de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. III. Trabalho de Conclusão de Curso. IV. Título.

CDD: 621.816

CDU: 621

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido no caminho certo durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final e por ter me ajudado durante todo o curso.

Gratidão pela minha família por sempre ter me incentivado a estudar e não ter medido esforços para me ajudar sempre que precisei. Este TCC é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão e valeram a pena.

Agradeço à minha querida esposa Samara Batista por estar ao meu lado em todos os momentos e compreender as várias horas em que estive ausente por causa do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador Alexander Sena que apesar da intensa rotina de sua vida acadêmica aceitou me orientar nesta monografia. As suas valiosas indicações fizeram toda a diferença.

A todos os meus professores do curso de Engenharia Mecânica do IFPE Campus Caruaru pela excelência da qualidade técnica de cada que sempre transmitiram seu saber com muito profissionalismo e sem medir esforços.

Também agradeço a todos os meus colegas de curso, em especial o Anderson Vinícius, Bruno torres, Arleson Kennedy, Luana Meyrelles, Déborah Azevedo, Jessica Maria, Aluscka Aretuza, Pedro Natanael, Mauro Bezerra, Rafael Eduardo, Renan Muniz, Paulo Filipe, Caio Ricardo, Bruna Santos e Caio Vinicius pela oportunidade do convívio e pela cooperação mútua durante estes anos.

“Tudo posso Naquele que me fortalece.”

Provérbios 12:1

RESUMO

Neste trabalho é apresentado como a manutenção preditiva pode auxiliar na prevenção de incêndio em um Filtro de Mangas do processo de produção de óxido de chumbo de uma fábrica de baterias automotiva. Para identificação das causas raízes do problema, foi utilizado como base a metodologia Kaizen. Após identificação das causas, foi desenvolvido um sistema embarcado com transmissão de dados via wi-fi capaz de obter dados provenientes de sensores de temperatura interligados ao filtro e enviá-los a um serviço de armazenamento em nuvem através da internet. Também foi desenvolvida uma aplicação web possibilitando a interação com o usuário e coletar dados provenientes do sistema de monitoramento, possibilitando a visualização da temperatura em tempo real e dados históricos por meio de um desktop, smartphone ou tablet. O sistema desenvolvido também é capaz de enviar sinais de alerta sempre que a temperatura do filtro ultrapasse a temperatura máxima permitida. Também foi realizada uma análise, onde foi necessário realizar a troca das mangas do filtro por mangas de maior resistência térmica e realizar o ajuste do sistema de limpeza. O sistema de monitoramento mostrou-se eficiente e responsivo no envio de dados e de alertas de temperatura e as melhorias aplicadas mostraram ser viáveis do ponto de vista econômico, de segurança e meio ambiente. A aplicação das melhorias desenvolvidas neste trabalho gerou um ganho anual de R\$ 500.000,00 para a empresa de baterias.

Palavras-Chave: Filtro de mangas, Manutenção Preditiva, Internet das Coisas, Kaizen.

ABSTRACT

In this work, it is presented how predictive maintenance can assist in the prevention of fire in a Baghouse Filter of the lead oxide production process of an automotive battery manufacturing plant. To identify the root causes of the problem, the Kaizen methodology was used as the basis. After identifying the causes, an embedded system was developed with data transmission via wi-fi capable of obtaining data from temperature sensors connected to the filter and sending them to a cloud storage service over the internet. A web application was also developed to enable interaction with the user and collect data from the monitoring system, allowing the visualization of the temperature in real time and historical data through a desktop, smartphone or tablet. The developed system is also capable of sending warning signals whenever the filter temperature exceeds the maximum allowed temperature. An analysis was also carried out, in which it was necessary to change the filter bags for bags with greater thermal resistance and to adjust the sleeve cleaning system. The monitoring system proved to be efficient and responsive in sending data and temperature alerts and the improvements applied proved to be viable from an economic, safety and environmental point of view. The application of the improvements developed in this work generated an annual gain of R \$ 500,000.00 for the battery manufacturing plant.

Keywords: Baghouse Filter, Predictive Maintenance, Internet of Things, Kaizen.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	16
INTRODUÇÃO	16
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	16
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.2.1. Objetivos Gerais	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	17
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
CAPÍTULO II.....	19
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. FILTRO DE MANGAS.....	19
2.1.1. Princípio de Funcionamento.....	20
2.1.2. Sistema de Limpeza.....	21
2.2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO	23
2.2.1. Manutenção Preditiva	23
2.3. INDÚSTRIA 4.0.....	26
2.3.1. Revoluções Antecessoras.....	26
2.3.2. Tecnologias 4.0	27
2.4. INTRODUÇÃO A INTERNET DAS COISAS	29
CAPÍTULO III	32
ESTUDO DE CASO	32
3.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO	32
3.2. KAIZEN	32
3.3. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	35

3.3.1. Descrição do Problema.....	35
3.3.2. Definição dos objetivos.....	37
3.4. ETAPA DE OBSERVAÇÃO	38
3.4.1. Ferramenta 5G	38
3.5. ANÁLISE DAS CAUSAS	41
3.5.1. Brainstorming.....	41
3.5.2. Digrama de Causa e Efeito e “5 porquês”.....	46
3.6. PLANEJAMENTO DAS AÇÕES.....	49
CAPÍTULO IV.....	51
DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA.....	51
4.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A SOLUÇÃO PROPOSTA	51
4.2. SELEÇÃO DOS MATERIAIS.....	52
4.2.1. NodeMCU ESP8266	52
4.2.2. Placa Base.....	55
4.2.3. Módulo MAX6675 e Termopar Tipo K.....	56
4.3. MONTAGEM DO PROTÓTIPO	57
4.4. PLATAFORMA IOT	59
4.5. AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO.....	61
CAPÍTULO V	63
RESULTADOS E PADRONIZAÇÃO	63
5.1. RESULTADOS DO MONITORAMENTO REMOTO	63
5.2. BENEFÍCIOS DA SOLUÇÃO	69
CAPÍTULO VI.....	70

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	70
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
6.2. TRABALHOS FUTUROS.....	70
REFERÊNCIAS.....	71
APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE.....	78
APÊNDICE B – PADRONIZAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO	81.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Diagrama de filtragem e estrutura do meio filtrante. Fonte: Lisboa (2007). ..	20
Figura 2.2 – (a) Componentes do filtro de mangas verticais. (b) Componentes do filtro de mangas horizontais.	22
Figura 2.3 – Principais tipos de sistemas de limpeza de mangas. Fonte: Barbosa (2014)..	23
Figura 2.4 – Sistema de limpeza móvel. Fonte: Luer Filter (2006).....	23
Figura 2.5 – Etapas operacionais da manutenção preditiva. Fonte: (ARAÚJO e CÂMARA, 2010, p. 47).....	26
Figura 2.6 – Resumo das revoluções industriais. Fonte: Santos (2018).....	29
Figura 3.1 – Dois fluxos de Kaizen. Fonte: Rother e Shook (1999).	34
Figura 3.2 – Etapas do ciclo PDCA. Fonte: Adaptado de Campos (1994).	35
Figura 3.3 – Cronograma de 8 etapas. Fonte: Autoria própria.	36
Figura 3.4 – Pareto de número de incêndio em filtros de mangas (à esquerda) e custo com incêndios no FMG 34 (à direita). Fonte: Autoria própria.....	37
Figura 3.5 – Processo de fabricação de óxido de chumbo em um moinho de bola. Fonte: Adaptado de Silva (2010).	38
Figura 3.6 – Gráficos de metas. Fonte: Autoria própria.	39
Figura 3.7 – Filtro de mangas FMG 34. Fonte: Autoria própria.	40
Figura 3.8 – Sistema supervisorio de monitoramento de temperatura do FMG 34. Fonte: Autoria própria.	41
Figura 3.9 – Log de erro do MDB-01 E FMG 34 no dia do incêndio. Fonte: Autoria própria.	41
Figura 3.10 – Brainstorm aplicado. Fonte: Autoria própria.	43
Figura 3.11 – Desalinhamento do sensor com régua de parada do carrinho de limpeza. Fonte: Autoria própria.	44

Figura 3.12 – Componentes básicos do sistema de limpeza do FMG 34. Fonte: Autoria própria.....	44
Figura 3.13 – Gráfico da pressão diferencial no FMG 34 no dia do incêndio. Fonte: Autoria própria.....	45
Figura 3.14 – Checklist de inspeção diária do FMG 34. Fonte: Autoria própria.	45
Figura 3.15 – Ficha técnica das mangas que incendiaram no FMG 34. Fonte: Autoria própria.	46
Figura 3.16 – Ficha técnica das novas mangas do FMG 34. Fonte: Autoria própria.	47
Figura 3.17 – Diagrama de causa e efeito. Fonte: Autoria própria.	48
Figura 3.18 – Método dos “5 porquês”. Fonte: Autoria própria.....	49
Figura 3.19 – Plano de ação. Fonte: Autoria própria.....	50
Figura 4.1 – Diagrama de funcionamento do sistema. Fonte: Autoria própria.	52
Figura 4.2 – Interações da IoT. Fonte: Morais (2018).....	54
Figura 4.3 – NodeMCU ESP8266. Fonte: Morais (2018).....	55
Figura 4.4 – Pinagem da NodeMCU. Fonte: Morais (2018).	55
Figura 4.5 – Placa base para NodeMCU. Fonte: (OLIVEIRA, 2018).....	56
Figura 4.6 – Módulo leitor de temperatura MAX6675 acoplado à um termopar tipo K. Fonte: Autoria própria.	57
Figura 4.7 – Características e restrições dos termopares. FONTE: Camtec (2020).....	58
Figura 4.8 – Diagrama esquemático da montagem do protótipo. Fonte: Autoria própria...	59
Figura 4.9 – Montagem do final do protótipo. Fonte: Autoria própria.	59
Figura 4.10 – Arquitetura de funcionamento da Blynk. Fonte: Blynk (2018).	61
Figura 4.11 – Interface da IDE do Arduino. Fonte: Autoria própria.	62
Figura 5.1 – Instalação do protótipo no FMG 34. Fonte: Autoria própria.	64

Figura 5.2 – Comparação de temperaturas medidas pelo protótipo e pelo supervisor. Fonte: Autoria própria.	65
Figura 5.3 – Interface desenvolvida para monitoramento de temperatura do FMG 34 a partir de smartphone e tablet pelo aplicativo Blynk. Fonte: Autoria própria.....	66
Figura 5.4 – Interface web desenvolvida para monitoramento de temperatura do FMG 34 pela plataforma Cayenne. Fonte: Autoria própria.	67
Figura 5.5 – Alertas de temperatura acima de 135 °C no FMG 34. Fonte: Autoria própria.	67
Figura 5.6 – Dados armazenados na nuvem da plataforma Cayenne. Fonte: Autoria própria.	68
Figura 5.7 – Item de controle. Fonte: Autoria própria.....	68
Figura 5.8 – Dados de temperatura do FMG 34. Fonte: Autoria própria.	69
Figura 6.1 – Causas identificadas e soluções propostas. Fonte: Autoria própria.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Custos gerados com o incêndio no FMG 34 no ano de 2017.	36
Tabela 3.2 – Significado dos 5G's.....	40
Tabela 4.1 – Materiais utilizados no projeto.	53
Tabela 5.1 – Comparativo entre resultados das leituras de temperatura (supervisório e protótipo).	66
Tabela 5.2 – Análise do custo-benefício.	70.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

API	Application Programming Interface
BLE	Bluetooth Low Energy
CLP	Controlador Lógico Programável
CPS	Cyber Physical Systems
CS	Chip Select
CSV	Comma-Separated Values
DC	Direct Current
FMG	Filtro de Manga e Gaiola
GND	Ground
GPIO	General Purpose Input/Output
GSM	Global System for Mobile
IDE	Integrated Development Environment
IoT	Internet of Things
MDB	Moinho de Bolas
mmca	mílimetro de coluna de água
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
PTFE	Politetrafluoroetileno
RFID	Radio Frequency IDentification
SCK	Serial Clock Input
SM	Serviço de Manutenção
SO	Serial data Output
SPI	Serial Peripheral Interface
USB	Universal Serial Bus
Wi-Fi	Wireless Fidelity

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O crescente e contínuo desenvolvimento tecnológico, populacional, industrial e seus consequentes impactos no ecossistema, ocasionam constantes debates sobre as políticas ambientais. As normas ambientais têm se tornado cada vez mais restritivas em virtude da crescente preocupação com as modificações climáticas, e nas condições de saúde dos colaboradores e vizinhos das indústrias (LIMA, 2019). Os maiores volumes de emissões de efluentes atuais, em curva de crescimento, contrapondo os rígidos limites de emissões, norteiam uma dependência cada vez mais ampla dos equipamentos de exaustão e filtragem (BARBOSA, 2014). Os sistemas de proteção ambiental têm se tornado cada vez mais importantes dentro de instalações industriais, com a finalidade de exaurir os gases oriundos do processo produtivo, contendo material particulado, provendo a separação e o descarte na atmosfera, de gases isentos de particulado ou contendo material particulado dentro dos limites pré-estabelecidos (LIMA, 2019).

O processo produtivo de baterias automotivas é uma atividade de alto potencial poluidor, tendo em vista que suas matérias primas principais se fundamentam em metal pesado e ácido, proporcionando condições para emissão atmosférica de fumos metálicos e material particulado, que por sua vez podem contaminar as águas e o solo. A emissão atmosférica oriunda da fabricação destes produtos deve ser cuidadosamente monitorada e controlada, uma vez que as micropartículas de metal são facilmente submergidas no ar (GONZAGA, SILVA e POSSIGNOLO, 2015).

Existem diversos tipos de sistema de proteção industrial, dentre eles: filtros de mangas, ciclones e multiciclones, lavadores de gases, precipitadores eletrostáticos, câmara inercial, dentre outros. O filtro de mangas é o mais utilizado dentro da indústria, pois apresenta alta eficiência de coleta (acima de 99%) para partículas inaláveis. Utiliza-se como mecanismo de captura de partículas a impactação direta. Problemas no monitoramento da temperatura de trabalho podem causar encolhimento, ressecamento ou ainda excesso térmico, ocasionando uma queima das mangas e a possibilidade de incêndio do filtro, dependendo das condições de

oxigênio no ambiente de filtração. Uma correção não planejada destes problemas pode ocasionar um alto custo de manutenção.

Vários autores têm se dedicado às técnicas de manutenção que visam à precaução de problemas e substituem com grande vigor a manutenção corretiva. Entretanto, isso demanda o desenvolvimento de métodos cada vez mais avançados, que conjuguem aspectos como: possibilidade ou não de se realizar paradas na linha de produção para inspeção do equipamento, custo da manutenção, acompanhamento histórico e antecipação de resultados, dentre outros (DE OLIVEIRA, 2007). O gerenciamento preditivo almeja a detecção e a indicação da natureza de uma avaria em estado inicial por meio da análise periódica dos parâmetros da máquina, possibilitando uma ação planejada, geralmente não causando interrupção ou distúrbio no processo durante o monitoramento.

O processamento em tempo real é bastante útil para o monitoramento de equipamentos industriais no conceito da Manutenção 4.0, pois as informações podem ser agregadas localmente e transmitidas para dispositivos remotos, que podem realizar o monitoramento, com respostas rápidas quando necessárias. Segundo Santos (2006), a conexão de objetos está crescendo muito com a utilização de IoT (Internet of Things) pelas grandes empresas presentes no mercado. Para algumas empresas, a IoT significa vantagem competitiva e diferencial estratégico, mas por outro lado pode ser vista como um desafio ou um risco empresarial devido ao conhecimento na área de atuação.

Observando todo este contexto, se tornou relevante o desenvolvimento de soluções que almejam uma diminuição das paralisações da produção por falha em equipamentos, promovendo um aumento do índice de disponibilidade da máquina e redução dos custos de manutenção, através do monitoramento preditivo em tempo real, utilizando os conceitos de IoT.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho consiste na aplicação de um plano de manutenção preditiva a partir do desenvolvimento de uma solução tecnológica para o monitoramento remoto da temperatura de filtros de mangas. O intuito é o monitoramento em tempo real e a identificação, através da mobilidade da aplicação web interligada a *Internet of Things* (IoT), de altas temperaturas que ocasionem um ponto de inflamação (chama) do material das mangas.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar um processo investigativo através da metodologia Kaizen para identificação das causas raízes do problema da queima de mangas;
- Mitigar e eliminar as causas que influenciam ou que podem influenciar o problema de incêndio em filtros de manga;
- Desenvolver um firmware com a finalidade de obter dados provenientes de sensores de temperatura interligados aos filtros;
- Desenvolver uma aplicação web para interagir com o usuário e coletar dados provenientes do sistema de monitoramento;
- Possibilitar a visualização da temperatura em tempo real e dados históricos, por meio de gráficos;
- Validar os resultados obtidos pelos sensores;
- Mensurar os ganhos obtidos com a aplicação nos custos de manutenção;
- Realizar uma padronização da solução preditiva.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis capítulos. No Capítulo II são apresentados os referenciais teóricos sobre filtros de mangas, gestão da manutenção, indústria 4.0, Internet das Coisas e Kaizen.

No Capítulo III a metodologia utilizada é descrita detalhadamente.

No Capítulo IV é apresentado o estudo de caso do Kaizen aplicado à análise dos filtros de mangas de uma empresa de produção de baterias automotivas, apontando para um plano de ação.

No Capítulo V é apresentado, como execução do plano de ação, o desenvolvimento e a implantação do sistema remoto de monitoramento de temperatura para prevenção de incêndio.

No Capítulo VI são apresentados os resultados e a padronização da solução e no Capítulo VII as considerações finais.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. FILTRO DE MANGAS

Segundo Manahan (2013), os filtros de mangas são equipamentos utilizados para remover partículas contidas em um meio gasoso depositando-as em um coletor de poeiras industriais. O Filtro de mangas é o equipamento mais antigo utilizado para remoção de partículas sólidas de uma corrente gasosa, sendo um equipamento de fácil operação (RODRIGUES, 2006). Na Figura (2.1) é apresentado um típico diagrama deste equipamento.

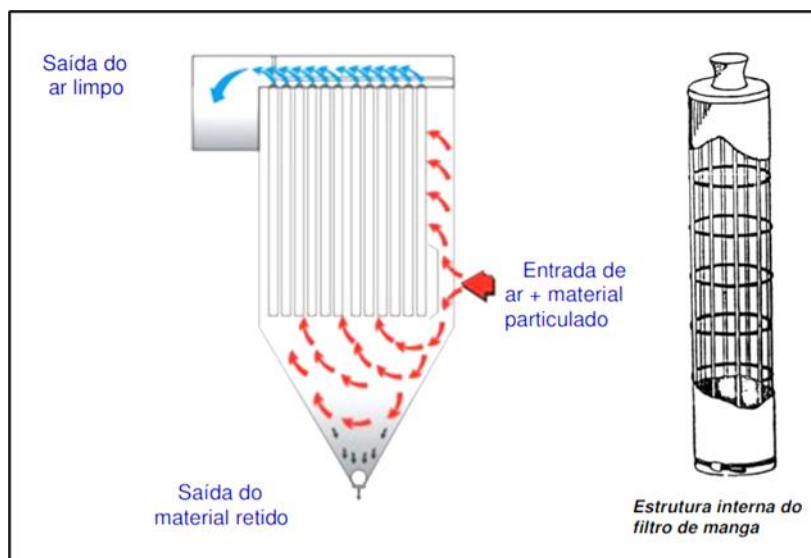


Figura 2.1 – Diagrama de filtragem e estrutura do meio filtrante. Fonte: Lisboa (2007).

Para Rocha (2010, p. 5), o filtro de mangas provoca a remoção cargas de particulado de processos industriais, com altíssima eficiência, através da passagem forçada do ar por meios filtrantes compostos de tecidos especiais.

O filtro de mangas tornou-se comum no meio industrial por ser o mais seguro método de controle de emissão de poluentes secos. Considerado como um separador de "altíssima eficiência de coleta" (99% para partículas maiores que um micron), e de fácil operação. O filtro de mangas utiliza tecidos especiais (trançados ou agulhados) como meios filtrantes e é capaz de recolher altas cargas de materiais particulados resultantes de processos industriais dos mais diversos segmentos tais como: cimento, gesso, cerâmica, borracha, química, petroquímica, siderúrgica, automobilística, cal, mineração, amianto, alumínio, ferro, coque, silicatos, amidos, carvão, anilinas, fibras de grãos e muitos outros.

Evidentemente, devido à sua alta eficiência o filtro de mangas é o sistema mais adequado para fazer o controle de emissão de particulado garantindo tanto a qualidade do ar interno e externo no ambiente industrial.

Lisboa (2007) aponta como principais vantagens dos filtros de mangas a elevada eficiência de coleta que chega a 99,9%, a vida útil longa de até 20 anos e também o fato da coleta do material ser a seco, possibilitando a recuperação do material de maneira fácil. Lisboa (2007) apresenta algumas desvantagens dos filtros de mangas, dentre elas estão à temperatura máxima de operação que é restringida ao material da manga e o elevado custo de manutenção.

É necessário que haja uma manutenção estruturada e pronta para atuação nesses equipamentos evitando que haja a interrupção não programada. É fundamental que se utilize de técnicas eficientes de manutenção para prever quebras que possam causar danos ao meio ambiente e saúde e segurança dos trabalhadores.

2.1.1. Princípio de Funcionamento

O filtro de mangas pode ser dividido em três grandes partes: câmara/pleno de ar limpo, corpo principal e moega. Existem vários tipos de filtros de mangas, dentre os principais estão os de mangas verticais e mangas horizontais, porém o princípio básico de funcionamento é o mesmo: o ar sujo é forçado por um exaustor a entrar no filtro, forçando a sua passagem através das mangas, retendo o material particulado em suas fibras, o ar limpo é então exaurido através da câmara limpa onde é devolvido à atmosfera através de chaminés. As mangas são limpas em intervalos definidos através de um sistema de limpeza onde desprende o particulado das mangas acondicionando-os em um coletor industrial ou transportado através de uma válvula rotativa acoplada a uma rosca de transporte direcionando o material ao processo. Para Marques (2017, p. 6):

...de forma geral, as partes importantes são: Gaiolas, que dão suporte para o tecido ser colocado e compor o meio filtrante; Tecido, responsável por realizar a filtração do gás, sendo assim a parte fundamental no equipamento; Moega, que é o recipiente de descarga do pó despreendido das mangas e também das partículas que entram com baixa velocidade; Chapa Espelho, local onde as mangas são fixadas, com aberturas distribuídas em fileiras, de forma a garantir que o número total de mangas esteja distribuído de acordo com o projeto na caixa de filtração.

A Figura (2.2) apresenta os componentes básicos dos filtros com mangas com disposição vertical e horizontal.

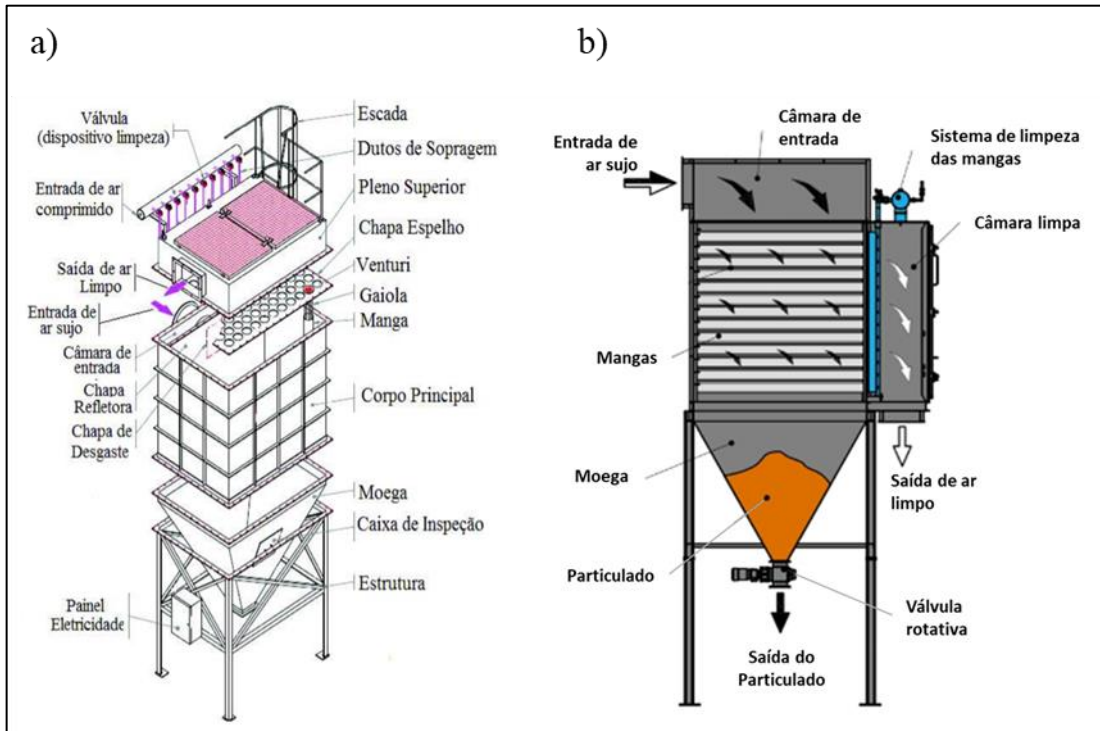


Figura 2.2 – (a) Componentes do filtro de mangas verticais. (b) Componentes do filtro de mangas horizontais.
Fonte: (a) Adaptado de Ventec (2010). (b) Adaptado de Instalfilter (2015).

2.1.2. Sistema de Limpeza

Para Lisboa (2007) os filtros podem ser classificados de acordo com o tipo do sistema de limpeza das mangas:

- Sacudimento mecânico: consiste em movimentos verticais ou horizontais com o objetivo de desprender as partículas impregnadas nas mangas;
- Ar reverso: o desprendimento das partículas se dá pela inversão do sentido do fluxo de ar dentro do Filtro operando em baixas vazões;
- Jato pulsante: Nesse sistema, um jato de ar comprimido é injetado no interior das mangas através de um tubo de Venturi, fazendo com que o pó das mangas seja desprendido.

O tipo de limpeza mais utilizado na indústria ainda é o jato pulsante, pelo fato de poder sequenciar a limpeza por fileira de mangas através de um sequenciador programável, ou através de um carrinho de limpeza que percorre todas as fileiras de mangas limpando cada fileira por vez. A vantagem do sistema de pulsação é que enquanto umas fileiras estão sendo limpas as demais estão fazendo a filtragem. Os três tipos de sistemas de limpeza das mangas citados são apresentados na Figura (2.3).

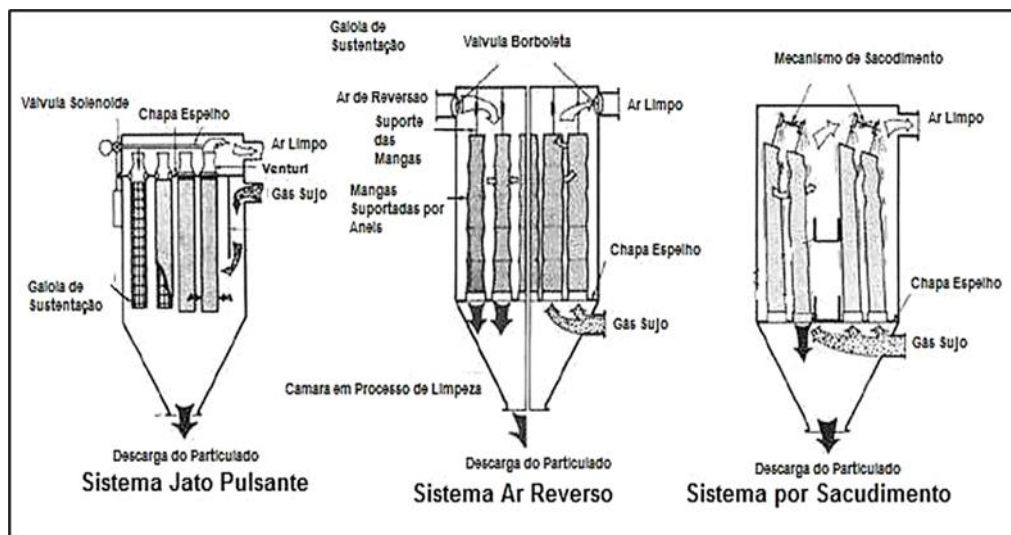


Figura 2.3 – Principais tipos de sistemas de limpeza de mangas. Fonte: Barbosa (2014).

Há ainda um quarto tipo de sistema de limpeza, que são utilizados em filtros de mangas horizontais. Trata-se de um sistema de limpeza móvel, onde é utilizado um carrinho mecânico responsável por fazer o deslocamento de uma linha de limpeza composta por um ventilador de média pressão e válvulas solenoides, que se deslocam juntos com uma tubulação com orifícios que sopram dentro da cavidade interna das mangas promovendo a limpeza (LUER FILTER, 2006). Na Figura (2.4) é apresentado o esquemático do sistema.

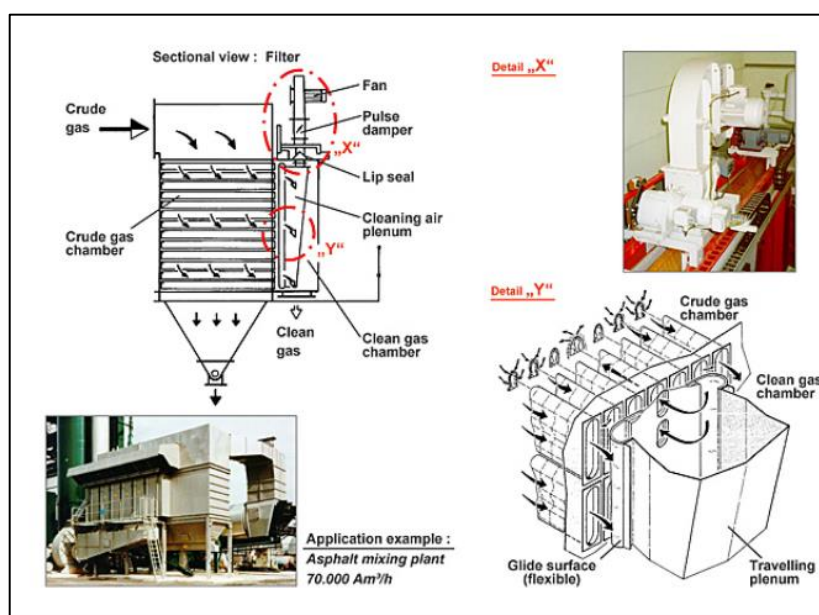


Figura 2.4 – Sistema de limpeza móvel. Fonte: Luer Filter (2006).

2.2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Segundo Gomide, Ramos e Fontes (2006), as principais estratégias de manutenção são: manutenção corretiva, preventiva, manutenção detectiva e manutenção preditiva. Nesse contexto, é importante que esteja evidente a particularização da estratégia selecionada, com a finalidade de possibilitar um melhor detalhamento e uma clara identificação. Assim, a estratégia escolhida definirá qual será o grau de sofisticação do programa a ser adotado (FERREIRA, 2010).

Gomide, Ramos e Fontes (2006) definem a manutenção corretiva como uma atividade que é voltada para restaurar ou realizar reparos em anomalias ou falhas, ocorrendo ou não de forma planejada. Em todos os casos, torna-se necessária uma paralisação parcial ou total do sistema, podendo ocasionar custos elevados (GOMIDE, RAMOS e FONTES, 2006). Essa costuma ser a primeira estratégia que os profissionais adotam, pois geralmente as pessoas esperam quebrar ou falhar para procurar uma solução, o que acaba encarecendo a manutenção, que é impossível de ser totalmente eliminada, já que muitas ocorrências são imprevisíveis.

A manutenção preventiva pode ser compreendida como uma manutenção planejada, que tem sua base pautada em históricos de quebras durante o funcionamento, ou em revisões efetuadas periodicamente. O enfoque central é diminuir ou evitar falhas no desempenho, seguindo sempre um plano já elaborado, o qual considera os intervalos de tempo, geralmente definidos por manuais técnicos. Segundo Gomide, Ramos e Fontes (2006), além da elaboração de uma definição completa acerca da manutenção preventiva, é ressaltada a imprescindibilidade de serem registradas quaisquer atividades realizadas de manutenção, criando-se assim, um histórico, que sirva como base no desenvolvimento de planejamento, otimizando a manutenção realizada.

A manutenção detectiva é consideravelmente nova, pois sua origem data da década de 1990, sendo ainda pouco conhecida no país, e assim como a preditiva, ao ser verificada a falha, realiza-se a programação da sua correção. Tal manutenção tem seu enfoque em sistemas para proteção, os quais não podem falhar ao serem solicitados. Neste sentido, busca-se deixar o sistema mais confiável, podendo-se tomar como um simples exemplo dessa manutenção, o teste das lâmpadas de sinalizações e os alarmes de painéis. Segundo Gomide, Ramos e Fontes (2006), a manutenção detectiva é uma atividade que busca detectar o que está causando as anomalias e as falhas, dando suporte aos planos de manutenção, visando chegar à raiz do problema, não se prendendo apenas aos seus sintomas.

2.2.1. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva se constitui como uma atitude ou filosofia, que faz uso da condição de operação real dos sistemas e dos equipamentos, de modo que a operação total seja otimizada. Seu objetivo é o prenúncio das falhas em sistemas e equipamentos, seguindo diversos parâmetros. Dessa forma, quando é atingido, ou se aproxima de um estado de degradação ao limite do que é estabelecido, toma-se a decisão de intervir.

Geralmente, esse acompanhamento possibilita um preparo prévio do serviço, além de fornecer outras opções e decisões, ou seja, se trata de uma maneira de melhorar o desempenho, reduzindo os custos e os prazos de manutenção, além de prever onde podem ocorrer falhas com antecedência.

De acordo com Albuquerque (2013), essa consiste em um acompanhamento periódico de máquinas ou equipamentos, utilizando-se dos dados coletados durante as inspeções ou monitoramento. Dentre as técnicas mais utilizadas, podem ser citadas a análise de vibração, inspeção visual, ultrassom e as técnicas de análise não destrutivas.

Segundo Corrêa e Corrêa (2007), geralmente, essa manutenção tem sua aplicação quando há a possibilidade de monitorar as condições que podem determinar as falhas, como as temperaturas, ruídos e vibrações, ou em casos onde uma excessiva manutenção se torna dispendiosa.

Acerca de suas características econômicas, as pesquisas afirmam que a preditiva preza a realização do mínimo de intervenções que forem possíveis, sendo programadas as atividades de manutenção apenas em casos onde se fazem indispensáveis, o que diminui o custo global (ASSIS, 2010).

Tudo isso é possível devido ao fato de que, ao monitorar com regularidade as reais condições apresentadas pelos sistemas e o seu desempenho, utilizando-se de equipamentos e programas específicos, o processo tende a garantir a quantidade máxima dos intervalos de manutenção, reduzindo as paradas que não foram programadas.

Voltando-se para a diferença entre as manutenções preditiva e preventiva, a primeira se apresenta de um modo mais dinâmico e ativo, já que as ações são decididas conforme o monitoramento acerca do estado de conservação, reduzindo substituições e perdas; e a segunda corresponde a uma atividade rotineira e periódica, seguindo o tempo periódico definido pelas características dos componentes (REZENDE e ABREU, 2013). Na Figura (2.5) são apresentadas etapas operacionais da manutenção preditiva.

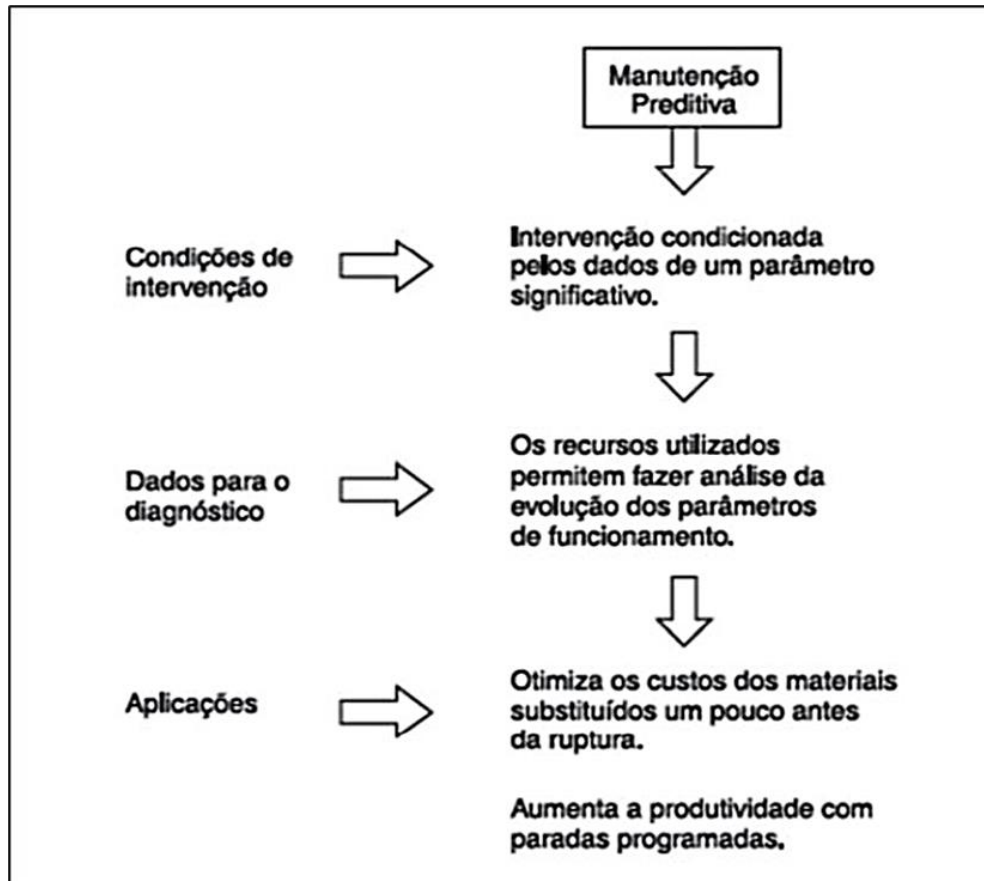


Figura 2.5 – Etapas operacionais da manutenção preditiva. Fonte: (ARAÚJO e CÂMARA, 2010, p. 47).

Na indústria, a preditiva acabou se associando diretamente com o termo indústria 4.0, em decorrência da utilização de suas tecnologias, desenvolvidas na Alemanha para designar a informatização da manufatura, aplicando-se conceitos ciberfísicos, computação, internet das coisas, dentre outros. Todos esses fatores buscam simplificar a execução e a visão de fábricas inteligentes, as quais não dependem somente das pessoas para serem tomadas decisões, já que esses são cada vez menos encontrados em linhas de montagem, passando a supervisionar as máquinas através dos softwares (MMTECH, 2018).

Devido a tal ubiquidade de conexão, torna-se possível que as empresas desenvolvam relatórios mais eficientes, o que por sua vez, aumenta a produtividade. Com a indústria 4.0, os softwares, armazenamento de dados, semicondutores e redes tornam-se significativamente mais eficientes, do ponto de vista econômico e técnico, integrando as funcionalidades.

Ressalta-se ainda, que cada equipamento requer uma determinada frequência, uma maneira de registro e um responsável, assim, se houverem manutenções preditivas constantes, torna-se possível a eliminação de manutenções periódicas, e, portanto, dentre seus principais objetivos estão o aumento da produtividade junto à redução dos custos.

2.3. INDÚSTRIA 4.0

2.3.1. Revoluções Antecessoras

A indústria 4.0 é a fase mais moderna das revoluções industriais, sendo que a Primeira Revolução Industrial, de acordo com Drucker (2000) iniciou-se na Inglaterra, entre 1760 e 1840, passando a substituir o modelo de fabricação artesanal por máquinas a vapor.

Essa revolução se tornou impulsionadora do crescimento econômico da Inglaterra, com consequências econômicas e sociais, em decorrência da mecanização dos processos e da uniformização dos produtos se comparados com os produzidos por artesãos.

Em seguida, a Segunda Revolução Industrial, ocorrida entre os anos de 1870 e 1914, se caracterizou pelo aperfeiçoamento das pesquisas e das tecnologias obtidas na primeira revolução, nas áreas da química, elétrica, transportes, biologia, agricultura, materiais e engenharia. Neste período, passou-se a utilizar o termo micro-invenções, que designa as melhorias incrementais, os ajustes graduais e as adições realizadas com o intuito de maximizar o potencial total das macro-invenções (MOKYR, 1998). Para Coelho (2016), o desenvolvimento das máquinas industriais movidas a energia elétrica, ocasionou o desenvolvimento de métodos produtivos e avanços econômicos, fazendo parte desta fase, grandes empresas como a General Electric e a Ford que atuaram a nível mundial de desenvolvimento. Muitos sistemas e produtos chegaram a níveis que requeriam a padronização e uma coordenação, levando líderes e industriais, em seus setores respectivos, a intervirem no desenvolvimento de faixas de tensões para a utilização da energia elétrica, medidores de grandezas e unidades, regras de trânsito, layout de teclados de máquinas, além de padronização de outros. Dessa maneira, essa revolução trouxe consigo características determinantes, dentre elas, uma disseminação do enfoque tecnológico e científico que se encontrava presente apenas na Inglaterra, desencadeando uma busca, nos países ocidentais industrializados, por liderança (MOKYR, 1991).

A Terceira Revolução Industrial, ocorrida por volta dos anos de 1970, foi considerada como do tipo digital, disseminando a aplicação de materiais semicondutores, computadores, robotização e automatização das linhas produtivas. As informações passaram a ser armazenadas e processadas digitalmente, da mesma maneira que os meios de comunicação foram otimizados (COELHO, 2016). A partir da década de 90, passou a requerer um estágio avançado de integração, com uma automação flexível e programável, em decorrência de segmentos críticos da indústria mecânica, gerando o desenvolvimento de espaço para a instalação de um novo complexo industrial, integrando a automação, a mecânica e a computação. Coutinho (2016)

ressalta que os principais fatores que desencadearam a transformação do setor de automação industrial, foram à automação flexível e o peso crescente do complexo eletrônico, com um crescimento acelerado que agregou valor aos produtos, na formação de renda e no índice de empregos nos países industrializados. Dessa maneira, a tendência da microeletrônica tecnológica desencadeou fortes impactos aos processos industriais. No século XX, a automação embasou-se nos sistemas eletromecânicos, sendo não programável e repetitiva, passando a ser enfoque de aperfeiçoamento e melhorias. Nesta revolução, a informação e o controle eletromecânico foram substituídos pela eletrônica microprocessada, permitindo o controle integrado de processos, que por sua vez, otimizou os fluxos produtivos (COUTINHO, 2016).

2.3.2. Tecnologias 4.0

Após as três primeiras revoluções industriais, chegou o período da Indústria 4.0, que de acordo com Zhou, Liu e Zhou (2015), originou-se na Alemanha, em 2011, sendo apresentado pela primeira vez, na Feira de Hannover, como uma importante estratégia tecnológica, contando com a colaboração de políticos, empresários e universidades, com ideias voltadas a estimular a competitividade entre as empresas do país.

Em 2012, o grupo composto pelos responsáveis do projeto, apresentou um relatório contendo recomendações ao Governo Federal da Alemanha, visando realizar o planejamento da sua implementação. Em seguida, no ano de 2013, foi publicado um trabalho final acerca desse planejamento, tendo como fundamento principal, a conectividade de ativos, sistemas e máquinas, de forma que as organizações possam desenvolver redes inteligentes, em toda a sua cadeia de valor, controlando autonomamente todos os módulos produtivos (SILVEIRA, 2017).

De acordo com Quin, Liu e Grosvenor (2016), através dessa revolução, espera-se que ocorram melhorias em todos os processos industriais, compreendendo a engenharia, o controle da produção, o planejamento, a logística, a operação, e uma análise constante por todo o ciclo de vida dos serviços e produtos.

De maneira simplificada, Silveira (2017) afirma que o conceito de indústria 4.0 compreende as inovações tecnológicas mais importantes na área de controle, automação e tecnologia da informação, todos aplicados no processo de manufatura, partindo-se de sistemas ciberfísicos, internet dos serviços e internet das coisas, aumentando a autonomia, a eficiência e a customização de todos os serviços e processos produtivos. Na Figura (2.6) é possível verificar, de maneira simplificada, os principais avanços das revoluções.

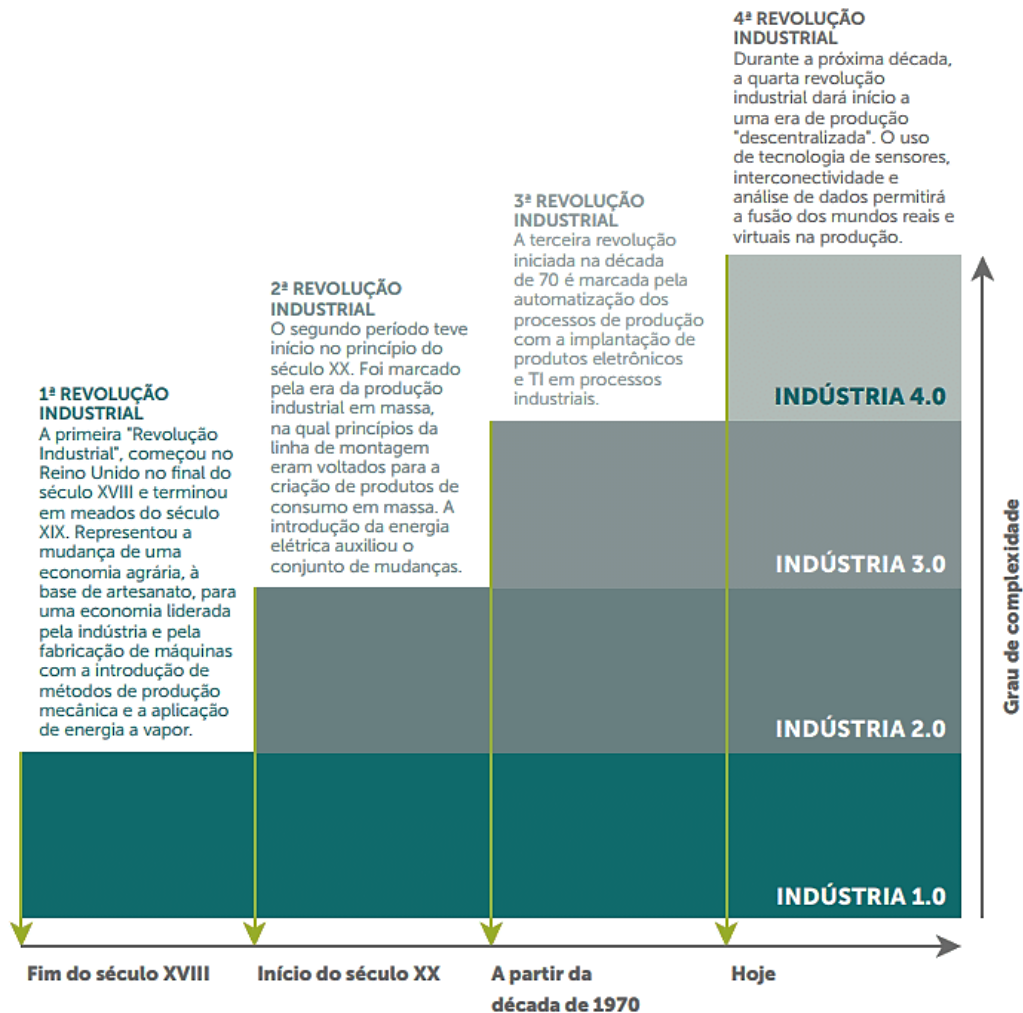


Figura 2.6 – Resumo das revoluções industriais. Fonte: Santos (2018).

Cheng et al. (2016), afirma que a indústria 4.0 é pautada em sistemas cibernéticos-físicos (CPS), e na Internet of Things (IoT), que conduzirão as organizações a outro nível produtivo, onde o primeiro baseia-se em uma configuração dinâmica da manufatura, que diferentemente do que ocorre nas metodologias tradicionais de produção, encontra-se em um posicionamento superior da produção e dos processos que essa envolve.

Segundo Silveira (2017), a indústria 4.0 possui seis princípios para desenvolvimento e implementação, os quais definem os sistemas de produção inteligentes, que devem originar-se no decorrer dos próximos anos, sendo eles: a capacidade de operar instantaneamente; a virtualização, com cópias das fábricas inteligentes; descentralização na tomada de decisões; orientação a serviços, com a utilização de softwares; e a modularidade, produzindo conforme as demandas.

As principais tecnologias habilitadoras e diretamente ligadas à indústria 4.0 incluem a internet das coisas, o big data, a computação em nuvem, as máquinas autônomas (robótica

colaborativa e transporte autônomos), os softwares de simulações de projetos e processos, a realidade aumentada, a manufatura aditiva (impressão 3D) e a cibersegurança. Existem ainda tecnologias relacionadas indiretamente, tais como a inteligência artificial, as energias renováveis, a nanotecnologia e os materiais inteligentes. Existem muitos dispositivos que conquistam uma importante posição dentro da indústria 4.0, dentre eles, os chamados módulos IO-Link, que possuem seu próprio endereço de IP, com conexões de baixo e alto níveis diretas e a RFID, que tem se disseminado fortemente com seus sistemas para rastreabilidade.

2.4. INTRODUÇÃO A INTERNET DAS COISAS

Pode-se dizer que a Internet das Coisas (do inglês, Internet of Things - IoT) ou Internet dos objetos é uma extensão da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia, mas com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à Internet. Neste contexto, para Santos (2016) fica claro que com essas novas possibilidades, surgem grandes oportunidades de aplicações no dia-a-dia possibilitando controle e monitoramento remoto dos objetos em tempo real. O mais preocupante, contudo, é constatar que com todo esse avanço torna-se necessário vencer desafios que permeiam o meio técnico e social.

A Internet das coisas está sendo utilizada em diversas áreas de aplicação, tal como em instalações de fabricação (automação de chão de fábrica), redes de energia, monitoramento de saúde, de segurança, monitoramento ambiental, entretenimento, sistemas de transporte, etc. Essas aplicações estão sendo conectadas à internet, e, portanto, podem ser controladas e monitoradas a partir de qualquer lugar. Essa conectividade significa uma maior quantidade de dados, recolhidos a partir de mais lugares, com muitas maneiras de aumentar a eficiência e melhorar a proteção e segurança. (FABRICIO, 2018, p. 21).

É possível perceber, que a Internet das Coisas vem ganhando cada vez mais espaço numa multiplicidade de áreas da vida humana, permitindo a comunicação interativa entre os objetos e usuários.

A Internet das Coisas, à parte de maiores rigores semânticos, é um termo que acaba evocando o aumento da comunicação entre máquinas pela internet (M2M, ou machine-to-machine, que recentemente ultrapassou em volume a comunicação interpessoal pela internet), o desenvolvimento de diversos utensílios (desde os prosaicos exemplos das geladeiras ou torradeiras ligadas à internet), além de microdispositivos, como sensores que, dispostos das mais diversas maneiras para captar dados a partir de seu ambiente, tornam-se partes integrantes da internet. (MAGRANI, 2018, p. 11)

A conexão com a rede mundial de computadores viabilizará o controle remoto dos objetos e permitirá que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços. Estas

novas habilidades, dos objetos comuns, geram diversas oportunidades tanto no âmbito acadêmico quanto no industrial (SANTOS et al., 2016). Há uma particular relevância o fato de a Internet das Coisas estimular o desenvolvimento de novas aplicações e novos produtos (MAGRANI, 2018).

Segundo dados levantados pela consultoria de risco Marsh (2018), a Internet das Coisas, com 48% de participação, é a segunda tecnologia mais utilizada nas empresas em todo o mundo ficando atrás apenas da telemetria, mostrando o grande potencial que esse setor tem na área da tecnologia.

A IoT pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual (SANTOS et al., 2016). A Figura (2.7) apresenta os blocos básicos de construção da IoT.

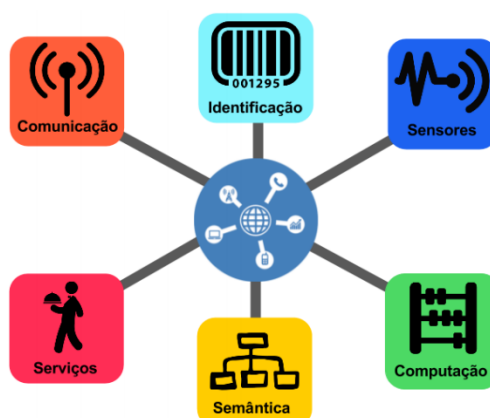


Figura 2.7 – Blocos básicos da IoT. Fonte: Santos et. al. (2016).

- **Identificação:** é um dos blocos mais importantes, visto que é primordial identificar os objetos unicamente para conectá-los à Internet. Tecnologias como RFID, NFC (Near Field Communication) e endereçamento IP podem ser empregados para identificar os objetos.
- **Sensores/Atuadores:** sensores coletam informações sobre o contexto onde os objetos se encontram e, em seguida, armazenam/encaminham esses dados para *data warehouse*, *clouds* ou centros de armazenamento. Atuadores podem manipular o ambiente ou reagir de acordo com os dados lidos.
- **Comunicação:** diz respeito às diversas técnicas usadas para conectar objetos inteligentes. Também desempenha papel importante no consumo de energia dos objetos

sendo, portanto, um fator crítico. Algumas das tecnologias usadas são Wi-Fi, Bluetooth, IEEE 802.15.4 e RFID.

- **Computação:** inclui a unidade de processamento como, por exemplo, processadores, microcontroladores e FPGAs, responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes.
- **Serviços:** a IoT pode prover diversas classes de serviços, dentre elas, destacam-se os Serviços de Identificação, responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) (de interesse do usuário) em Entidades Virtuais (EV) como, por exemplo, a temperatura de um local físico em seu valor, coordenadas geográficas do sensor e instante da coleta;
- **Serviços de Agregação de Dados** que coletam e resumizam dados homogêneos e/ou heterogêneos obtidos dos objetos inteligentes; **Serviços de Colaboração e Inteligência** que agem sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário; e **Serviços de Ubiquidade** que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários.
- **Semântica:** refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Trata da descoberta de conhecimento e uso eficiente dos recursos existentes na IoT, a partir dos dados existentes, com o objetivo de prover determinado serviço. Para tanto, podem ser usadas diversas técnicas como Resource Description Framework (RDF), Web Ontology Language (OWL) e Efficient XML Interchange (EXI).

CAPÍTULO III

ESTUDO DE CASO

3.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO

Esta pesquisa utiliza no chão de fábrica, uma abordagem qualitativa e quantitativa, e neste sentido, aborda uma base de raciocínio hipotético-dedutivo para analisar o fenômeno e o raciocínio indutivo para quantificar os dados obtidos assim como os resultados alcançados.

Como instrumentos para coleta de dados, foram utilizadas ferramentas administrativas que auxiliam a organização das ideias e identificação das causas dos problemas de forma rápida e permitindo a tomada de ações efetivas para sanar os problemas identificados promovendo a melhoria contínua. A escolha das ferramentas foi pensada na realidade das indústrias que já às utilizam tanto no conceito de TPM (Total Productive Maintenance), quanto no WCM (World Class Manufacturing) que visam à eliminação de perdas nos processos.

A pesquisa foi iniciada com a análise do principal tipo de falha em filtros de mangas apresentado em uma Fábrica de baterias, focando na identificação das causas raízes através da coleta de dados primários *in loco*. Foi realizado um estudo sobre as áreas do conhecimento científico que compõem filtros de mangas, manutenção preditiva e áreas afins que serviu como embasamento teórico para o desenvolvimento da solução. A partir da identificação da causa raiz, foi elaborado um plano de ação, que convergiu para adoção de medidas de restauração de condições básicas, melhorias e o desenvolvimento de um sistema de monitoramento da avaria, definindo-se a ação, o responsável e o prazo para a execução das atividades. Com a aplicação das soluções, foi possível analisar os resultados, mensurar os ganhos em relação ao custo geral da implantação, realizar a padronização do sistema e treinar os envolvidos.

3.2. KAIZEN

Após a Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidas no Japão, novas práticas de manufatura, as quais possibilitaram que o seu mercado voltasse à competitividade mundial. As técnicas de produção enxuta (sistema Toyota) buscaram identificar e sanar quaisquer atividades que demandassem recursos sem agregação de valor, ou seja, tempo de espera, desperdícios, superprodução, processos inadequados, excesso de transporte dos materiais, movimentação de pessoas, erros que requerem retificação, dentre outros (WOMACK, JONES e ROOS, 1992).

A produção enxuta desenvolveu diversas ferramentas voltadas à otimização do processo produtivo nas organizações, dentre as quais o Kaizen, que de acordo com Endeavor (2015), é um termo que se originou do idioma japonês, significando mudanças para melhor. O termo foi utilizado como uma filosofia voltada à contínua melhoria, de modo geral, e sua aplicação se originou no ambiente industrial, sendo posteriormente expandido para outras organizações. A partir de então, seus princípios foram sendo disseminados em todo o mundo, passando a fazer parte de diversos segmentos, não somente na produtividade.

O professor Masaaki Imai é considerado como pai do Kaizen, por ser um dos maiores responsáveis por esse movimento, tendo escrito o livro “Kaizen – The secret to Japans competitive success”, um marco sobre o assunto, e fundado o Kaizen Institute, voltado a transmitir as práticas e os ensinamentos a nível mundial. Imai apresentou o pressuposto de que os indivíduos podem melhorar constantemente na realização de suas tarefas, que o trabalho em grupo se sobressai ao individual, e que as pessoas são o maior bem de uma empresa, devendo ser incentivadas para que busquem as metas junto com o suprimento de seus objetivos pessoais (ENDEAVOR, 2015).

Rother e Shook (1999) afirmam existirem dois níveis de Kaizen, o primeiro é o de sistema ou de fluxo, que tem como enfoque principal, o fluxo de valor voltado ao gerenciamento; e o de processo, que aborda os processos individuais, relacionado com líderes das equipes e as próprias equipes de trabalho. Ambos são apresentados conforme Figura (3.1).

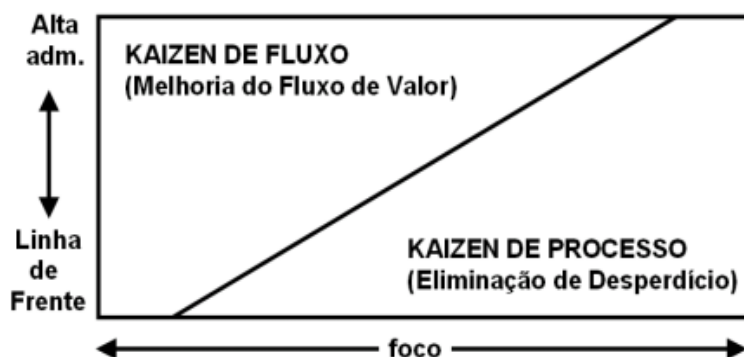


Figura 3.1 – Dois fluxos de Kaizen. Fonte: Rother e Shook (1999).

Seguindo os princípios de produção enxuta na reorganização da manufatura, pode ocorrer uma radical mudança organizacional, com uma estrutura estratégica e cultural. Dessa maneira, o gerenciamento da demanda tem início com uma visão estratégica, procedida por montagem e análise do estado atual, identificação de oportunidades e problemas, escolha e

experimentos, implantação da mudança e a estabilização do novo modelo operativo (ARAÚJO, 2004).

Novická, Papcun e Zolotová (2016) afirmam que ao iniciar um projeto Kaizen, é preciso seguir o chamado ciclo PDCA (Planejar, Executar, Seguir e Agir), que compreende quatro etapas a serem repetidas até que todos os problemas sejam completamente sanados. A Figura (3.2) apresenta de forma detalhada as fases de cada etapa do ciclo PDCA e o seu respectivo objetivo.

PDCA	FLUXOGRAMA	ETAPA	OBJETIVO
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer a sua importância.
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais.
	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
D	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais.
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	?	O bloqueio foi efetivo?	
A	7	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	8	Conclusão	Recaptular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro.

Figura 3.2 – Etapas do ciclo PDCA. Fonte: Adaptado de Campos (1994).

Nesse trabalho foi elaborado um *Kaizen* de processo com o objetivo de reduzir o custo e as perdas causadas por incêndios em filtros de mangas em uma fábrica de baterias automotivas. Portanto, foi elaborado um cronograma das 8 etapas do PDCA, conforme apresentado na Figura (3.3), onde os prazos foram definidos considerando os tempos para pesquisa, desenvolvimento, aquisição de materiais e implementação.

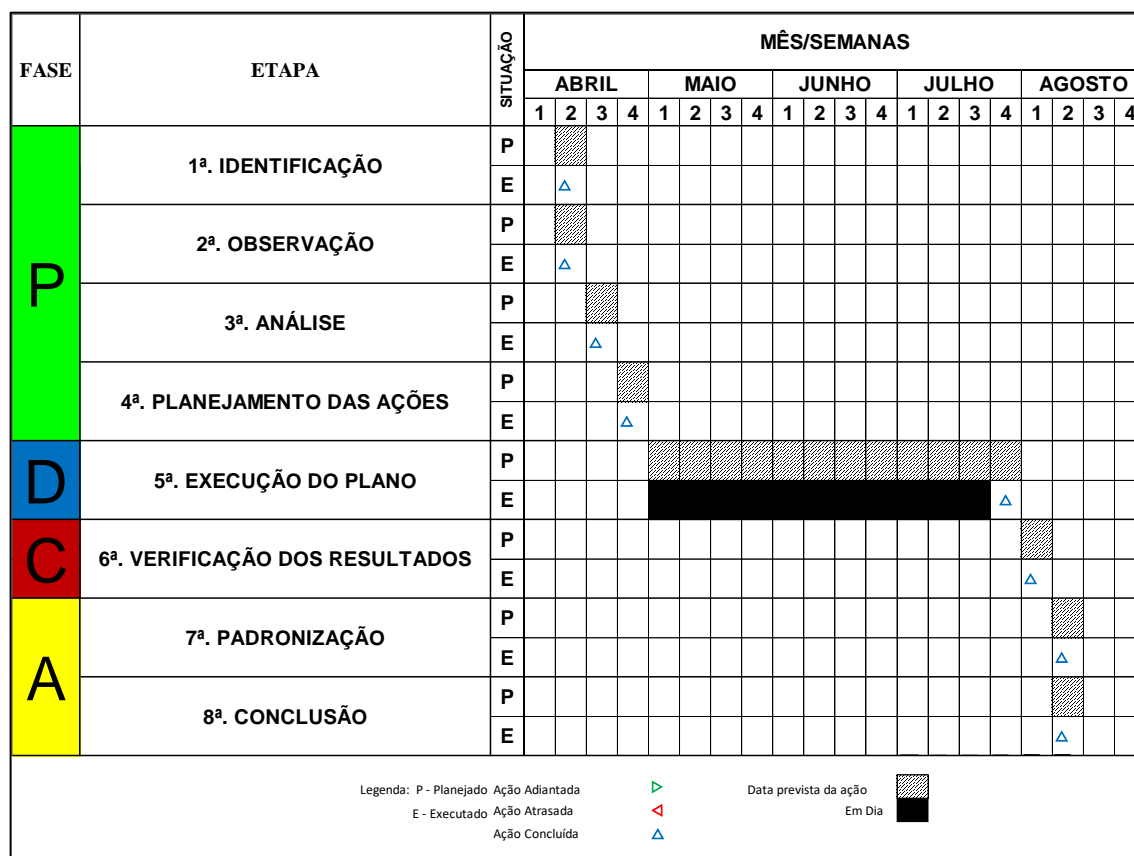


Figura 3.3 – Cronograma de 8 etapas. Fonte: Autoria própria.

3.3. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

3.3.1. Descrição do Problema

No ano de 2017 ocorreram cinco incêndios em filtros de mangas na Fábrica de baterias automotivas em estudo, dos quais dois foram no filtro de mangas e gaiola N° 34 (FMG 34). Os incêndios no FMG 34 foram as falhas que causaram maior perda para a unidade, gerando um custo total de R\$ 500.300,00 para reparo conforme dados apresentados na Tabela (3.1). O incêndio também pode causar riscos à segurança das pessoas e ao meio ambiente.

Tabela 3.1 – Custos gerados com o incêndio no FMG 34 no ano de 2017.

Materiais	Custos do Primeiro incêndio (R\$)	Custos do Segundo incêndio (R\$)
Mangas	R\$ 195.000,00	R\$ 195.000,00
Gaiola	R\$ 4.500,00	R\$ 25.000,00
Espelho	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
Manta termoacústica	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Mão de obra	R\$ 4.400,00	R\$ 4.400,00
Serviço elétrico	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Total	R\$ 239.900,00	R\$ 260.400,00

Fonte: Autoria própria.

O incêndio no FMG 34 causa grande impacto na produção de baterias, tendo em vista que este filtro é integrado ao Moinho de Bolas 01 (MDB-01) que é responsável pela produção do óxido de chumbo que compõe a pasta das placas das baterias de chumbo-ácido ali produzidas.

Na Figura (3.4), são apresentados o gráfico de Pareto do número de incêndios ocorridos em filtros de mangas em 2017 e o custo com incêndios em 2017 no FMG 34. Observa-se pelo Pareto que o filtro que há mais oportunidades de melhorias é o FMG 34, portanto ele foi escolhido como equipamento piloto para serem realizadas as melhorias. Assim, que comprovada a eficácia da solução, a mesma pode ser replicada para os demais filtros.

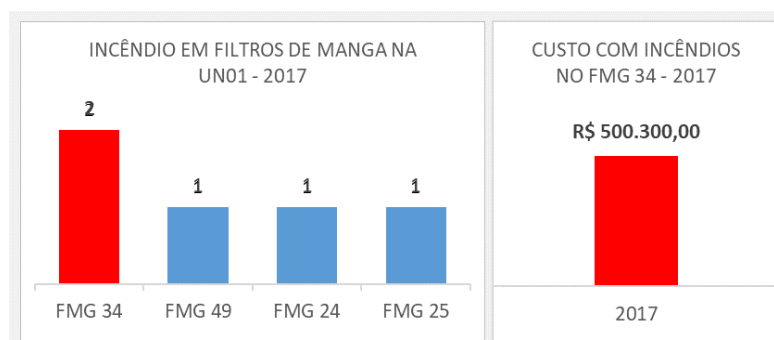


Figura 3.4 – Pareto de número de incêndio em filtros de mangas (à esquerda) e custo com incêndios no FMG 34 (à direita). Fonte: Autoria própria.

O moinho de bolas foi desenvolvido no Japão em 1924 por Shimadzu e consiste em um cilindro de aço que rotaciona em torno de um eixo horizontal (BODE, 1977). No processo de produção de óxido de chumbo, um forno cadinho opera a 400 °C sendo alimentado por lingotes de chumbo-puro, os quais são fundidos e alimentam uma cilindradeira onde são produzidos pequenos cilindros (FIGUEIREDO, 2004).

Os cilindros produzidos alimentam o moinho de bolas, onde os próprios cilindros de chumbo servem como elemento de moagem, colidindo entre si, formando esferas que reagem com o ar que é injetado através de fluxo controlado, formando assim o óxido de chumbo. Durante esse processo de oxidação é liberado cerca de 938 KJ de calor para cada Kg de óxido de chumbo formado (SILVA, 2010).

Na fábrica de baterias em estudo, o moinho MDB-01 opera em temperatura interna entre 170°C e 220°C, sendo, esta variável, controlada por meio do resfriamento com água, durante o processo de oxidação. Na saída do MDB-01 é acoplado um filtro de mangas horizontais, o qual força a passagem do ar com partículas de chumbo por suas mangas fazendo com que o chumbo fique retido na superfície externa. Nesse processo, o ar que passa pelas

mangas é devolvido limpo à atmosfera e o chumbo que fica retido é desprendido através do sistema de limpeza. A limpeza é realizada através de um ventilador de média pressão desprendendo as partículas de chumbo das mangas. O óxido de chumbo é então transportado aos silos de armazenagem através de um elevador de canecas e uma rosca helicoidal. A Figura (3.5) apresenta o fluxo detalhado da produção de óxido no moinho de bolas.

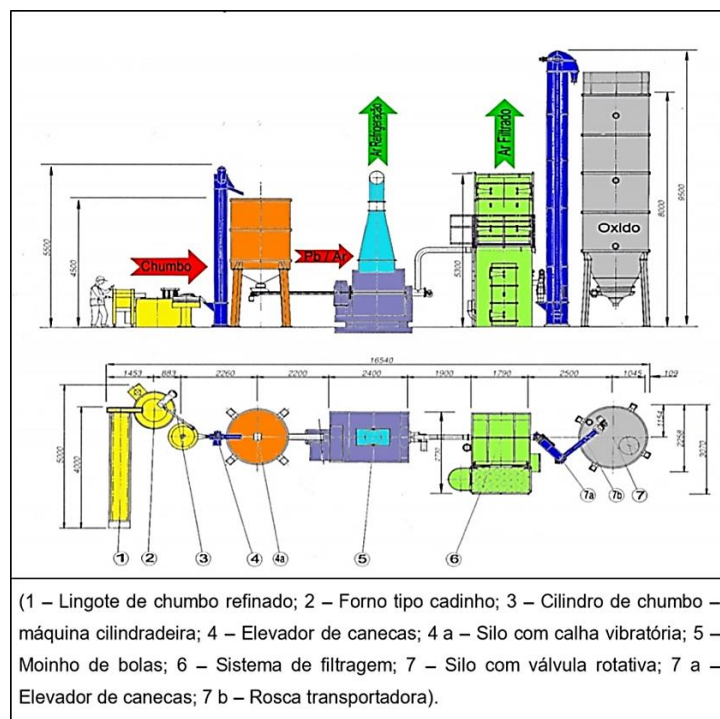


Figura 3.5 – Processo de fabricação de óxido de chumbo em um moinho de bola. Fonte: Adaptado de Silva (2010).

3.3.2. Definição dos objetivos

Após a definição do equipamento piloto para aplicação das melhorias, foram determinados os objetivos do Kaizen através de metas globais mensuráveis. Neste sentido, foi tomado como base o número de incêndios no FMG 34 e os custos associados às anomalias no ano de 2017. Foram definidas como metas: eliminar o número de incêndios no FMG-34 até dezembro de 2018 e zerar do custo com incêndios no FMG 34 até dezembro de 2018, conforme apresentado na Figura (3.6).

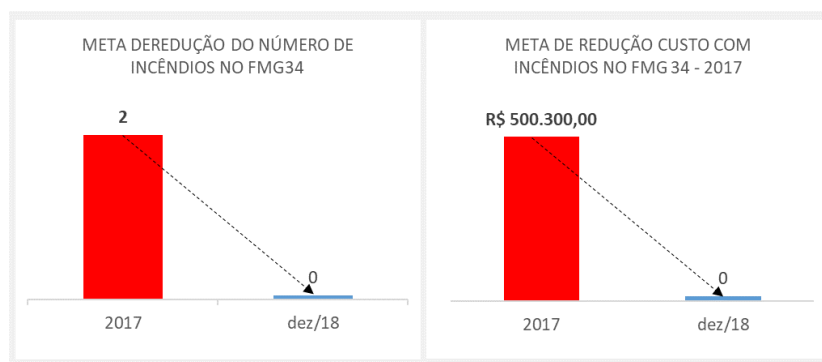


Figura 3.6 – Gráficos de metas. Fonte: Autoria própria.

3.4. ETAPA DE OBSERVAÇÃO

Na observação do problema, foi utilizada a ferramenta 5G como forma metodológica de análise do problema. O uso dessa ferramenta foi fundamental para que fosse mantida a disciplina na sequência das atividades, aumentando a eficiência da investigação do problema.

Para melhor compreensão dos fenômenos e do processo, a coleta dos dados se deu na área onde aconteceram os eventos, analisando as características específicas do problema de forma ampla. Parte das informações foi coletada por meio de entrevistas com os funcionários que atuam diretamente e indiretamente com o moinho de bolas e com os filtros de mangas, sendo eles: supervisor manutenção de filtros, encarregado de produção, chefe da engenharia de processo, processista, operador de produção, chefe de engenharia de instalações, inspetores de filtros (gestores ambientais), técnico de segurança e analista de meio ambiente.

A definição de uma equipe multidisciplinar para o desenvolvimento do trabalho foi fundamental para a obtenção de dados concretos e esclarecedores, através do cruzamento das informações do ponto de vista de vários setores.

3.4.1. Ferramenta 5G

A metodologia 5G é utilizada para analisar os problemas a fim de encontrar uma solução eficiente e eficaz observando os processos, atividades e padrões de onde ocorreu a falha, encontrando a causa raiz. Os termos “G” originam-se a partir das palavras japonesas: Gemba, Gembutsu, Genjitsu, Genri e Gensoku, que simboliza cada objetivo a ser atingido (ULRICH, 2016). O significado de cada “G” é apresentado na Tabela (3.2).

A aplicação da ferramenta 5G foi laborada com os operadores do moinho de bolas, o encarregado do setor e o supervisor de manutenção dos filtros de mangas, conforme apresentação a seguir:

Tabela 3.2 – Significado dos 5G's.

Expressão	Atitude
GEMBA	Refere-se ao local onde acontece o problema
GEMBUTSU	Refere-se ao produto/serviço o qual se observa
GENJITSU	Observação da produção sem ideias pré-concebidas
GENRI	Refere-se a utilização de métodos para melhorias
GENSOKU	Procedimentos para resolução e melhorias no processo

Fonte: Autoria própria.

- **GENBA - Vá para o Local onde as Coisas Acontecem:**

Os incêndios ocorreram no FMG 34, apresentado na Figura (3.7) que é responsável por fazer a filtragem do ar do MDB-01. Todos os incêndios ocorreram durante o turno da noite.



Figura 3.7 – Filtro de mangas FMG 34. Fonte: Autoria própria.

- **GENBUTSU - Veja a Peça com Defeito e o Processo sendo Executado:**

O filtro possui um sistema supervisorio de temperatura e de combate a incêndio, que atua na ultrapassagem de 135°C no corpo do filtro. Nesta situação, é injetado nitrogênio (que é um gás inerte) dentro do espaço interno do filtro, a fim de diminuir a concentração de oxigênio, evitando assim, que um eventual incêndio venha se alastrar. A injeção de nitrogênio também serve para diminuir a temperatura interna do filtro. A Figura (3.8) apresenta os detalhes do sistema supervisorio.



Figura 3.8 – Sistema supervisor de monitoramento de temperatura do FMG 34. Fonte: Autoria própria.

• GENJITSU - Observe o Fenômeno sem Ideias Pré-concebidas

A Figura (3.9) apresenta a tela do log de erro do MDB-01 e do FMG 34 no dia do incêndio, onde foi perceptível que às 15h11min o moinho apresentou “Falha de rotação no sistema de limpeza das correntes”, sendo neste instante desligado para a correção do problema. Após a manutenção realizada, o moinho foi reiniciado às 21h30min, onde às 21h48min apresentou o erro 042 “Auxiliares não conectados” (não foi verificada SM elétrica aberta sobre o problema) no mesmo momento onde o botão de emergência do painel de controle foi acionado. Às 23h13min foi apresentada uma “alta depressão” na entrada do moinho e um aumento na temperatura do filtro até a sua parada às 23h24min. Em seguida o moinho apresenta “falha de pressão” nas duas baterias de nitrogênio.

ALARME GERAIS - Unacked : 03 - Events Summary				
Start Time	Ack Time	End Time	Zone	Text
02-14:44:26	02-14:44:26		6	FUNDAÇÃO --- 064: NENHUMA COMUNICAÇÃO ETHERNET COM PLC DE MOINHO 01
01-04:48:08		01-04:48:25	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 085: FALHA DO DISJUNTOR DO ELEVADOR 02
01-04:48:08		01-04:48:25	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 053: FALHA DO DISJUNTOR DA ROSCA 05
01-04:48:08		01-04:48:25	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 081: FALHA DO DISJUNTOR DO VIBRADOR 01 - ELEVADOR 01
01-04:48:08		01-04:48:25	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 083: FALHA DO DISJUNTOR DO VIBRADOR 02 - ELEVADOR 01
01-04:48:08		01-04:48:25	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 082: FALHA DO DISJUNTOR DO ELEVADOR 01
01-04:48:08		01-04:48:25	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 051: FALHA DO DISJUNTOR DA ROSCA 03
01-04:48:08		01-06:01:32	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 050: FALHA DO DISJUNTOR DA ROSCA 02
01-04:48:08		01-07:07:10	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 052: FALHA DO DISJUNTOR DA ROSCA 04
01-04:48:08		01-07:07:10	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 049: FALHA DO DISJUNTOR DA ROSCA 01
30-09:15:54		30-10:24:04	2	MOINHO 02 --- 028: BAIXO NÍVEL DE ÓLEO LUBRIFICANTE
30-08:26:08		30-08:26:25	2	MOINHO 02 --- 019: POSIÇÃO ERRADA DA VÁLVULA DE SAÍDA DO FILTRO
30-07:58:19		30-08:54:49	2	MOINHO 02 --- 027: ALTA TEMPERATURA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO DOS SUPORTES DO MOINHO
30-07:40:33		01-10:58:35	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 098: FALHA DE ROTAÇÃO DO ELEVADOR 02
30-07:32:09		30-07:33:14	99	Communication Error: VPI URMULLINI station 2.
30-07:32:07		30-07:33:10	99	Communication Error: VPI URMULLINI station 10.
30-07:32:04		30-07:33:36	99	Communication Error: VPI URMULLINI station 12.
30-06:53:20		30-06:53:52	99	Communication Error: VPI URMULLINI station 10.
29-11:08:21		30-10:30:10	2	MOINHO 02 --- 037: BAIXA PRESSÃO DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO
29-09:56:49		29-10:56:34	99	Communication Error: VPI URMULLINI station 2.
29-09:56:48		29-10:56:34	99	Communication Error: VPI URMULLINI station 10.
29-09:56:46		29-10:56:29	99	Communication Error: VPI URMULLINI station 12.
29-09:15:09			99	Communication Error: VPI URMULLINI station 4.
28-18:24:26		30-07:33:43	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 118: FALHA NA ABERTURA / FECHAMENTO DA VÁLVULA DE EXCLUS. SILO 01
28-18:24:26		30-07:33:30	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 001: AUXILIARES NÃO CONECTADOS
28-00:50:23		28-01:06:44	1	MOINHO 01 --- 036: FALHA NO SISTEMA DE PESO DO MOINHO
27-23:25:18		02-02:07:47	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 006: FALHA DE PRESSÃO NA BATERIA 01 DE NITROGÊNIO
27-23:25:18		02-02:07:47	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 007: FALHA DE PRESSÃO NA BATERIA 02 DE NITROGÊNIO
27-23:24:52		28-02:55:34	1	MOINHO 01 --- 010: PARADA DO MOINHO POR FALHA CRÍTICA
27-23:24:28			1	MOINHO 01 --- 038: MUITO ALTA TEMPERATURA DO FILTRO
27-23:24:16			1	MOINHO 01 --- 021: ALTA TEMPERATURA DO FILTRO
27-23:19:53		28-01:02:22	1	MOINHO 01 --- 031: ALTA TEMPERATURA DO MOINHO
27-23:13:09		28-01:22:46	1	MOINHO 01 --- 060: ALTA DEPRESSÃO ENTRADA MOINHO
25-10:39:10		25-10:51:53	2	MOINHO 02 --- 071: FALHA DA ENTRADA ANALÓGICA DO TEMPERATURA DO TAMBOR
27-21:48:19		27-22:08:35	1	MOINHO 01 --- 024: BOTÃO DE EMERGÊNCIA DO PAINEL DE CONTROLE ACIONADO
27-21:48:19		27-22:08:35	1	MOINHO 01 --- 042: AUXILIARES NÃO CONECTADOS
27-21:31:53		27-21:51:52	1	MOINHO 01 --- 028: FALHA DE ROTAÇÃO NO SISTEMA DE LIMPEZA DAS CORRENTES
23-07:20:12		23-09:20:57	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 154: FALHA DO DISJUNTOR DA VÁLVULA ROTATIVA DO SILO 05
23-07:18:38		29-05:00:59	3	TRANSPORTE DE ÓXIDO --- 181: FALHA DE ROTAÇÃO DA VÁLVULA ROTATIVA DO SILO 05
22-16:48:33		27-22:14:29	1	MOINHO 01 --- 039: (ALARME) PESO MÁXIMO DO SILO DOS CILINDROS
22-13:20:06		27-23:07:37	1	MOINHO 01 --- 063: (NOTAR) PESO MÁXIMO DO SILO DOS CILINDROS

Figura 3.9 – Log de erro do MDB-01 E FMG 34 no dia do incêndio. Fonte: Autoria própria.

- **GENRI - Explique os Fenômenos dos Processos:**

Os incêndios ocorreram durante o turno da noite e não foram identificados na fase inicial. No turno da noite existe apenas um operador para os moinhos, que reveza no horário da refeição com operadores de outro tipo de moinho localizado em outro galpão. Nos incêndios ocorridos, houve aumento de temperatura acima do normal no interior do filtro que não foi percebido rapidamente pela operação.

- **GENSOKU - Siga as Instruções e Padrões Operativos:**

Não havia padrões operacionais na área.

3.5. ANÁLISE DAS CAUSAS

Após a realização das observações sobre o fato ocorrido, foi realizada uma análise das possíveis causas, relacionando-as com as falhas ocorridas no FMG 34, até a conclusão sobre as causas raízes do problema. Portanto, para execução das análises foram utilizadas as ferramentas Brainstorm, 4M e “5 Porquês”, buscando a participação das partes interessadas no processo.

3.5.1. Brainstorming

O Brainstorming, também conhecido como “tempestade de ideias” é uma técnica utilizada para reunir pensamentos para identificação e solução de um determinado problema. Nesse método, todos os pensamentos devem ser considerados sem peso de críticas e reação em cadeia. (COUTINHO, 2017).

A realização do Brainstorming foi essencial para análise das causas das falhas ocorridas no FMG 34, pois houve um alto engajamento das partes interessadas, formada por uma equipe multidisciplinar, onde foram levantadas todas as possíveis causas do incêndio ocorrido. Em seguida, foi realizada uma seleção das causas que realmente foram confirmadas como sendo influenciadoras do problema e definindo-se seus respectivos tratamentos.

Os tratamentos foram divididos em três tipos de atuações: restauração das condições básicas, *quick-kaizen* e diagrama de causa-efeito. A restauração das condições básicas foi aplicada nos casos onde o equipamento não estava operando em suas especificações, requerendo a correção. O *quick-kaizen* foi aplicado nos casos onde foi necessário realizar melhorias simples, efetivas, rápidas e com baixo grau de complexidade compostas por ações de “ver e agir”. Por fim, a restauração das condições básicas foi aplicada em casos mais complexos,

onde foi necessária uma investigação mais profunda das causas e/ou implementação de projetos mais complexos.

Na Figura (3.10) é apresentado o documento do Brainstorm realizado, onde as quatro primeiras causas foram confirmadas, e as quatro últimas foram descartadas após investigação com equipe de manutenção e operação. As causas de número 1 e 2 foram tratadas através da restauração das condições básicas e quick-kaizen. As causas de número 3 e 4 serão tratadas no Tópico 3.5.2 - Digrama de Causa e Efeito e “5 porquês.

Brainstorming						
Nº	Causas que influenciam no problema	Confirmado?		Tratamento		
		Sim	Não	Restauração das CB's	Quick Kaizen	Causa e efeito
1	Acúmulo de óxido nas mangas devido falha no sistema de limpeza	X		X		
2	Mangas inapropriadas para a operação	X			X	
3	Falha no sistema de combate a incêndio	X				X
4	Sistema de monitoramento de temperatura é ineficiente para o processo	X				X
5	Sistema de monitoramento parou de funcionar		X			
6	Termopar não funcionou		X			
7	Computador estava desligado		X			
8	Alarme não funcionou		X			

Figura 3.10 – Brainstorm aplicado. Fonte: Autoria própria.

A primeira causa listada no Brainstorm foi à constatação de que o sistema de limpeza das mangas não estivesse funcionando adequadamente, o que causaria acúmulo de óxido de chumbo nas mangas. Sob esse levantamento, foi realizada uma inspeção no sistema de limpeza das mangas, onde foi verificado que o sensor que faz a parada do carrinho de limpeza estava desalinhado com a régua onde indica o local de parada conforme apresentado na Figura (3.11). Com isso, os furos do tubo injetor de ar comprido estavam descentralizados com os furos da chapa do espelho, o que implicaria numa má eficiência na limpeza das mangas. A Figura (3.12) apresenta os detalhes dos componentes básicos do sistema de limpeza do FMG 34.

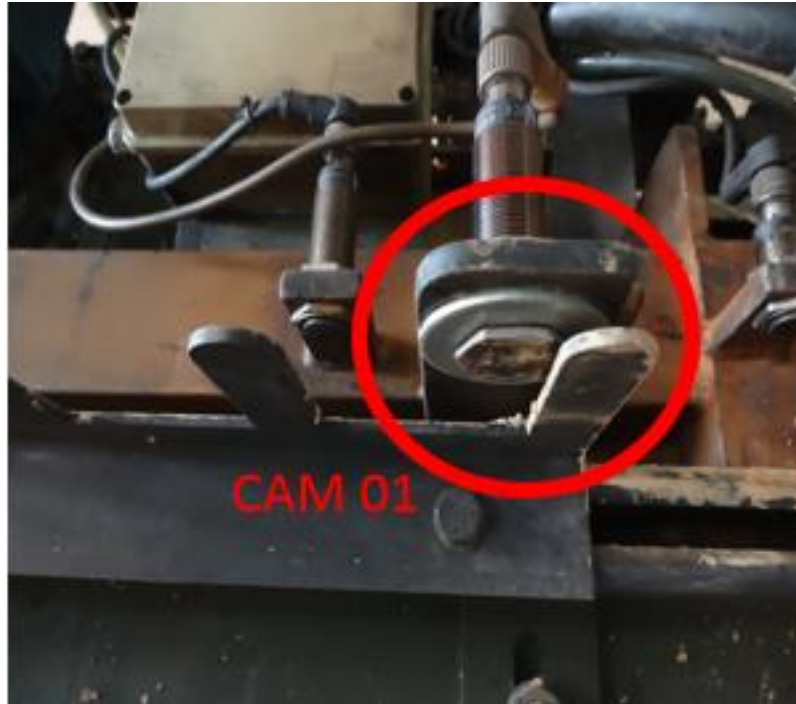


Figura 3.11 – Desalinhamento do sensor com régua de parada do carrinho de limpeza. Fonte: Autoria própria.

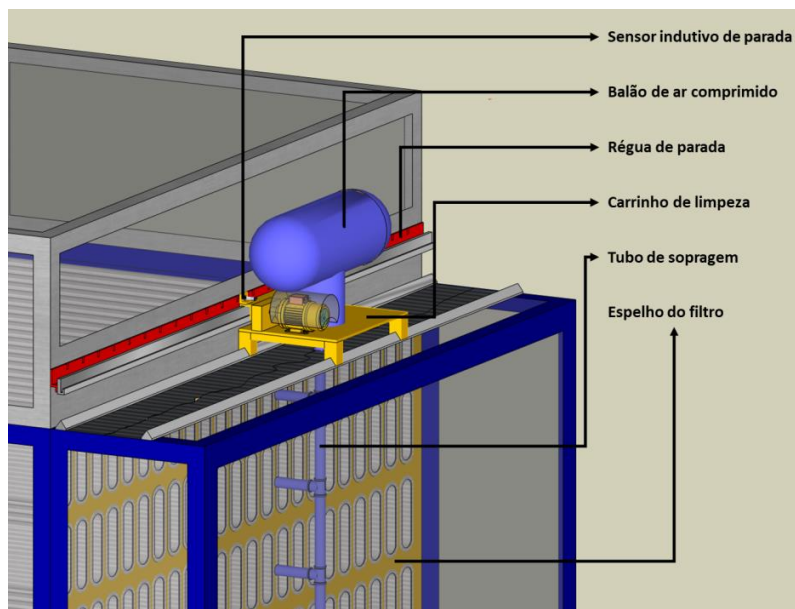


Figura 3.12 – Componentes básicos do sistema de limpeza do FMG 34. Fonte: Autoria própria.

Pelo gráfico da Figura (3.13), é possível perceber que a pressão diferencial do filtro variou entre 60 e 90mmca. Dentro do limite permitido ao processo, de acordo com especificações do fabricante dos filtros, a pressão diferencial não pode ultrapassar 120mmca. Apesar do sistema de limpeza atuar efetivamente, é necessário bloquear a causa para evitar problemas futuros.



Figura 3.13 – Gráfico da pressão diferencial no FMG 34 no dia do incêndio. Fonte: Autoria própria.

Por não se tratar de uma melhoria, nem por ser identificada uma causa complexa, o problema do desalinhamento foi tratado por meio da restauração da condição básica do equipamento. Para tanto, foi acionada a manutenção para ser restaurada a condição básica do carrinho de limpeza do FMG 34. Além disso, o sistema de limpeza foi implementado ao plano de manutenção preventiva e ao checklist de inspeção semanal, conforme Figura (14), que é realizada pela equipe de manutenção de filtros.

Baghouses Inspection Checklist			
		Responsible:	Sector:
Item	Where?	How?	
1	Diferencial Pressure (Analog pressure gauge)	1. For baghouse < 120 mmca ; 2. For Hepa < 60 mmca.	
2	Sequential Electronic programmer and LOGO (sequential pulse programmer)	1. Check if it is working; 2. Check if the maximum pressure is 120 mmca and minimum is 75 mmca; 3. Check if the cleaning cycle is 120ms; 4. Check if the pulse duration is between 80 ms or 120 ms.	
3	Pneumatic valves of the cleaning system (solenoid)	1. Check manually if all valves are pulsing; 2. Check visually if all valves are fitted; 3. Check for compressed air leak.	
4	Compressed air tank (compressed-air balloon)	1. Check tank pressure (it can not be more than 4 kg/cm ²) 2. Check tank drainage (purge manually) 3. Check if the flow regulator is 4 kg/cm ² .	
5	Conveyor thread and rotary valve	1. Check whether the conveyor thread (FMG25, FMG29, FMG30, CAM1, CAM2 and Mills) and bearings are working; 2. Check that the rotary valve is discharging dust; 3. Check for dust in the hopper; 4. Check the amount of dust in the barrel; 5. Check if the gearmotor is leaking; 6. Check that the gear motor is running.	
6	Baghouse exhaust fan	1. Bearing lubrication and fan bearings; 2. Noise or abnormal temperatures; 3. Check exhaust fan vibration; 4. Check pulley terminals for wear; 5. Visually check gaps or break belts.	
7	Tube sheet	1. Visually check if there is residue of oxide on the tube sheet 2. Check the attachment of the bags on the tube sheet; 3. Check if the blow pipes are aligned with the holes on the tube sheet; 4. Check if the bags are dirty inside; 5. Check for oxide on the bags with the cages; 6. Check for cracks and warping in the tube sheet; 7. Check for uniformity of holes in the tube sheet	

Figura 3.14 – Checklist de inspeção diária do FMG 34. Fonte: Autoria própria.

A segunda causa apresentou a hipótese que as mangas utilizadas para o processo de filtragem no FMG 34 são inapropriadas para a atividade do filtro, levando em consideração a temperatura de operação. Com isso, foi realizada uma avaliação com a verificação das propriedades físicas das mangas, comparando com as características e parâmetros da operação do filtro.

Foi observado que as mangas utilizadas são fabricadas com fibra e tela 100% poliéster e membrana de PTFE (Politetrafluoroetileno ou Teflon) expandido, a qual tem uma resistência a uma temperatura contínua de 135°C e a picos de temperatura de 150°C conforme apresentado na Figura (3.15). O sistema de controle de temperatura estava programado para atuar com injeção de nitrogênio quando o filtro ultrapassasse a temperatura de 135 °C, diminuindo a temperatura interna do filtro, de forma a prevenir e combater um possível incêndio.

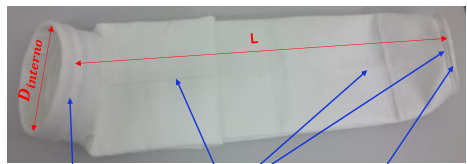
FICHA TÉCNICA DE MANGA PARA FILTROS DE EXAUSTÃO									
Manga Aço Mola Poliéster/Poliéster com membrana PTFE Expandida									
CÓDIGO	COMPOSIÇÃO	GRAMATURA (g/m²)	ESPESSURA (mm)	PERMEABILIDADE DO AR [L/(min.dm²) à 20mmCA]	RESISTÊNCIA À RUPTURA (daN) [Tamanho da amostra 200/50mm]	ALONGAMENTO ATÉ A RUPTURA(%)	RESISTÊNCIA À TEMPERATURA (°C)	MÁXIMA ALTERAÇÃO DIMENSIONAL À 135°C(%)	PROJETO DE SUPERFÍCIE/TRATAMENTO
Tabela 1	Fibra: 100% Poliéster	550	1,9	40	Longitudinal: 90	Longitudinal: 34	Contínua: 135	<1	Membrana de PTFE Expandida na superfície do material
	Tela: 100% Poliéster				Transversal: 150	Transversal: 68	Picos: 150		

OBSERVAÇÕES:			
Dados da tabela acima baseados na determinação e medida de acordo com a norma ABNT, e estão sujeitos a tolerâncias usuais.			
Normas de Referência:			
NBR 13041: Resistência a ruptura, alongamento até a ruptura.			
NBR 12984: Gramatura.			
NBR 13371: Espessura.			
NBR 13706: Permeabilidade.			
NBR 13356: Temperatura.			
NBR 14356: Max. alteração dimensional.			

REVISÃO:			
Continuação TABELA 1: Variáveis para as cotas $D_{interna}$ e L.			
Tipo	$D_{interna}$	L	Cód. Moura
6	140 mm	920mm	60369
7	119 mm	3040mm	78716

TABELA 1: Variáveis para as cotas $D_{interna}$ e L.			
Tipo	$D_{interna}$	L	Código Moura
1	127 mm	3711mm	51854
2	160mm	3800mm	56014
3	180 mm	2400mm	56015
4	150 mm	3000mm	56017
5	160 mm	3000mm	56016

Referência para compra de Silicone de alta temperatura	
3M	
WURTH	
Loctite	

DESENHO ESQUEMÁTICO	
	
1.0	2.0
3.0	

1.0	Fixação por anel aço mola duplo feltro
2.0	Costuras longitudinais e do fundo revestidas com silicone de alta temperatura
3.0	Fundo com reforço duplo de 10cm

Figura 3.15 – Ficha técnica das mangas que incendiaram no FMG 34. Fonte: Autoria própria.

A temperatura normal de operação do moinho pode variar entre 170°C e 220°C, sendo assim, é necessário que haja várias atuações do sistema de injeção de nitrogênio no corpo do FMG 34 para mantê-lo a uma temperatura abaixo de 135°C (resistência à contínua temperatura das mangas). Fica claro que, mesmo considerando a dissipação de calor ao logo da tubulação de descarga do moinho até chegar ao filtro de mangas, o intervalo entre a temperatura de entrada no filtro e a de operação em segurança é muito pequeno. Com isso, percebeu-se a necessidade do aumento do intervalo de temperatura, aumentando o fator de segurança.

O aumento do intervalo de temperatura é obtido de duas maneiras: diminuindo a temperatura de operação do moinho e/ou aumentando a resistência à temperatura FMG 34. A primeira proposição tornou-se inviável, tendo em vista que a temperatura de 170°C a 220°C deve ser mantida para que seja garantida a qualidade no processo de produção do óxido de chumbo. Já a segunda proposição, pode ser alcançada com a substituição das mangas de poliéster por uma manga de maior resistência à temperatura. Por se tratar de uma melhoria rápida e de baixa complexidade, o tratamento foi feito via quick-kaizen.

Após uma pesquisa com fornecedores de mangas, as máximas de Poliéster, foram substituídas por mangas de fibra e tela de 100% Poliamida Aromática e com superfície reforçada com fibra de aramida, termofixado, calandrado e chamuscado na face externa, garantindo resistência à temperatura contínua de 200°C e a picos de 220°C, o que propicia uma maior segurança no processo. Foi realizada também a padronização das mangas para o FMG 34 conforme apresentado na Figura (3.16).

FICHA TÉCNICA DE MANGA PARA FILTROS DE EXAUSTÃO										
Manga NO/NO Elíptica de Aço Moia com Membrana PTFE										
CÓDIGO	COMPOSIÇÃO	GRAMATURA (g/m ²)	ESPESSURA (mm)	DENSIDADE (g/cm ³)	PERMEABILIDADE DO AR [L/(min.dm ²) à 20mmCA]	RESISTÊNCIA À RUPTURA (daN) [Tamanho da amostra 200/50mm]	ALONGAMENTO ATÉ À RUPTURA(%)	RESISTÊNCIA À TEMPERATURA (°C)	MÁXIMA ALTERAÇÃO DIMENSIONAL À 135°C(%)	PROJETO DE SUPERFÍCIE/TRATAMENTO
Tabela 1	Fibra: 100% Poliamida Aromática	550	2,7	0,2	40	Longitudinal: >45	Longitudinal: 20	Contínua: 200	<1	Manga reforçada com fibra de aramida. Termofixado, calandrado e chamuscado numa face.
	Tela: 100% Poliamida Aromática					Transversal: >70	Transversal: 24	Picos: 220		

OBSERVAÇÕES:			
Dados da tabela acima baseados na determinação e medida de acordo com a norma ABNT, e estão sujeitos a tolerâncias usuais.			
Normas de Referência:			
NBR 13041: Resistência a ruptura, alongamento até a ruptura.			
NBR 12984: Gramatura.			
NBR 13371: Espessura.			
NBR 13706: Permeabilidade ao ar.			
NBR 14356: Máx. alteração dimensional.			
2. Material do fundo da manga idêntico ao da manga.			
REVISÃO:			

DESENHO ESQUEMÁTICO											
TABELA 1: Variáveis para as cotas $D_{interna}$ e L.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>$D_{interna}$</th> <th>L</th> <th>Cód. Moura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>167 mm</td> <td>1600mm</td> <td>70793</td> </tr> </tbody> </table>		Tipo	$D_{interna}$	L	Cód. Moura	1	167 mm	1600mm	70793
Tipo	$D_{interna}$	L	Cód. Moura								
1	167 mm	1600mm	70793								
TABELA 2: Referência para compra de silicone de alta temperatura (Resistente até 250°C)		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>3M</td> </tr> <tr> <td>WURTH</td> </tr> <tr> <td>Loctite</td> </tr> </tbody> </table>		3M	WURTH	Loctite					
3M											
WURTH											
Loctite											
1.0 Fixação por anel aço moia duplo feltro 2.0 Costuras longitudinais e do fundo triplas e revestidas com silicone de alta temperatura (via Tabela 2) 3.0 Fundo com reforço triplo de 10cm											

Figura 3.16 – Ficha técnica das novas mangas do FMG 34. Fonte: Autoria própria.

3.5.2. Diagrama de Causa e Efeito e “5 porquês”

Para Cesar (2011), o diagrama de causa e efeito, ou Ishikawa como é mais conhecido, é uma ferramenta utilizada para identificar a relação entre os fatores (causas) que geram um efeito que pode afetar o resultado estimado de um determinado processo. O diagrama também

é conhecido como diagrama 6M, pois em sua estrutura, todos os tipos de causas podem ser classificados como sendo de seis tipos diferentes: método, matéria-prima, mão de obra, máquinas, meio de medida e meio ambiente (DAYCHOUM, 2007).

Foi utilizado o diagrama de causa e efeito para as causas imediatas de número 3 e 4 listadas no Brainstorm, conforme apresentado na Figura 16. As duas causas se enquadraram no critério “máquinas” conforme apresentado na Figura (3.17)

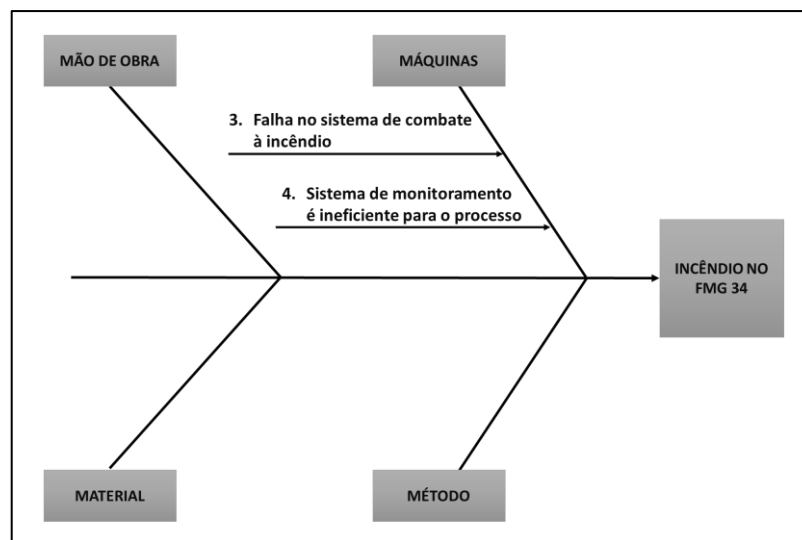


Figura 3.17 – Diagrama de causa e efeito. Fonte: Autoria própria.

A causa imediata de número 3 foi à falha no sistema de combate a incêndio, onde foi verificado que no dia anterior do incidente houve sucessivas atuações do sistema de nitrogênio, devido aos aumentos de temperatura acima de 135 °C no FMG 34, e que não existiu uma investigação pela equipe da operação e manutenção para verificar o motivo das constantes elevações de temperatura. Aconteceu que as duas baterias de nitrogênio do sistema de combate a incêndio apresentaram falha de pressão, causado pelo baixo nível do gás nos cilindros. Houve, portanto, uma elevação da temperatura de forma descontrolada, sem que fosse percebido pelo processo, ocasionando o incêndio. Os técnicos da empresa Italiana, fabricante do moinho, informaram que após sucessivos eventos de aumento de temperatura, seria crucial a parada de todo o sistema (moinho e filtro) para ser feito uma inspeção das condições internas. Como tratativa do problema, foi utilizado o diagrama de causa e efeito.

A causa imediata de número 4 foi à ineficiência do sistema de monitoramento de temperatura, e esse foi um dos motivadores para ter acontecido o incêndio. Realizando uma análise *in loco*, foi verificado que o sistema supervisor do filtro monitora em tempo real os parâmetros de temperatura e pressão. Observou-se ainda, que o software de monitoramento é

instalado em apenas um computador localizado na sala onde são realizados testes de qualidade das amostras de óxido do moinho. Apesar do monitoramento em tempo real da temperatura, o sistema está disponível apenas para o operador do moinho que passa parte do tempo operando a máquina, auxiliando no descarrego de óxido que acontece externo ao galpão do moinho. O operador também se desloca, quando necessário, ao almoxarifado para pegar materiais, ou ir ao banheiro, por exemplo.

Após a realização do diagrama de causa-efeito, o próximo passo foi realizar a identificação das causas raízes do problema. Para tanto, foi utilizada a ferramenta dos “5 porquês”, como forma metodológica e estruturada de análise das causas.

O método dos “5 porquês” foi desenvolvido por Taiichi Ohno, um dos principais responsáveis pela arquitetura do Sistema Toyota de Produção. A ferramenta “5 porquês” é de fácil aplicação na qual consiste em utilizar a pergunta “por quê?” por cinco vezes em frente a um problema no qual se deseja encontrar a sua causa raiz (FROTA, 2019). Sendo assim, utilizou-se o método para desdobrar as causas imediatas por 4 vezes através da pergunta “por quê?”, até a conclusão sobre as causas raízes. A Figura (3.18) apresenta os dados com a análise dos “5 porquês” utilizada para encontrar as causas raízes destacadas em vermelho.

PORQUÊS	CAUSA 03	CAUSA 04
1º (Imediata)	Falha no sistema de combate a incêndio	Sistema de monitoramento de temperatura é ineficiente para o processo
2º	Sistema não conseguiu combater o incêndio	Só é percebido se tiver alguém na sala dos moinhos
3º	Nitrogênio acabou antes do tempo médio estimado	Funciona apenas em um PC
4º	Falta de inspeção após sucessivos e excessivos aumento de temperatura	Necessita de um PC dedicado exclusivamente para o sistema
5º (causa raiz)	Não existe monitoramento eficiente de temperatura do FMG 34	Arquitetura do software não permite interação entre outros usuários de forma eficiente

Figura 3.18 – Método dos “5 porquês”. Fonte: Autoria própria.

A aplicação do método possibilitou a conclusão sobre as duas causas raízes, sendo estas ocasionadas devido a ineficiência do sistema de monitoramento de temperatura, e neste sentido, uma solução seria o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto e móvel. Com

a concepção de sistema remoto e móvel, seria possível a atuação antecipada da ocorrência de um incêndio.

3.6. PLANEJAMENTO DAS AÇÕES

Após a identificação das causas raízes, elaborou-se o cronograma de um plano de ação para bloquear tais causas. A maioria das ações não gerou custo real significativo, pois se buscou atender a filosofia Kaizen que é obter o máximo de resultado com o mínimo de investimento possível. O plano de ação elaborado, também permite o acompanhamento semanal de cada uma das ações planejadas conforme apresentado na Figura (3.19).

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA PARA O FMG 34																			
AÇÕES SECUNDÁRIAS	INVESTIMENTO	RESPONSÁVEL	Acompanhar	MÊS/SEMANAS															
				Abr				Mai				Jun				Jul			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Seleção dos materiais	-	Felipe Pereira	P																
			E																
Desenvolver Diagrama eletrônico do projeto	-	Felipe Pereira	P																
			E																
Aquisição dos materiais	R\$208,50	Felipe Pereira	P																
			E																
Realizar a montagem dos componentes	-	Felipe Pereira	P																
			E																
Selecionando APP gratuito para interface	-	Felipe Pereira	P																
			E																
Desenvolvendo o código fonte do sistema embarcado	-	Felipe Pereira	P																
			E																
Montando e Instalando o dispositivo no FMG-34	-	Manutenção Filtros	P																
			E																

Legenda: P - Planejado Ação Adiantada > Data prevista da ação Em Dia
 E - Executado Ação Atrasada < Ação Concluída Δ

Figura 3.19 – Plano de ação. Fonte: Autoria própria.

Tendo em vista, que as causas raízes do incêndio no FMG 34 estão relacionadas ao monitoramento da temperatura, buscou-se, por meio da manutenção preditiva, utilizar os

conceitos da Internet das Coisas para o desenvolvimento de um sistema que pudesse realizar o monitoramento em tempo real de forma acessível às partes interessadas. A solução deveria apresentar uma eficiência no seu uso, com a possibilidade de utilização a partir de um smartphone, tablet e Desktop, de forma que esse sistema pudesse ser acionado através de gatilhos (trigger), informando aos interessados sobre o aumento da temperatura a um patamar de segurança estipulado pelas equipes de engenharia de processos e manutenção.

Portanto, foi elaborado um planejamento das ações a partir da definição do funcionário responsável, investimento e o prazo para conclusão.

CAPÍTULO IV

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

4.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A SOLUÇÃO PROPOSTA

O projeto constituiu-se no desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto de temperatura, para o FMG 34, simples e efetivo, tornando possível o monitoramento a partir de qualquer lugar com acesso à internet.

Para o desenvolvimento do sistema remoto foi necessária a definição do fluxo de funcionamento. A partir do fluxo foi possível realizar a seleção dos componentes eletrônicos necessários para o projeto. O diagrama de fluxo do sistema é apresentado na Figura (4.1).

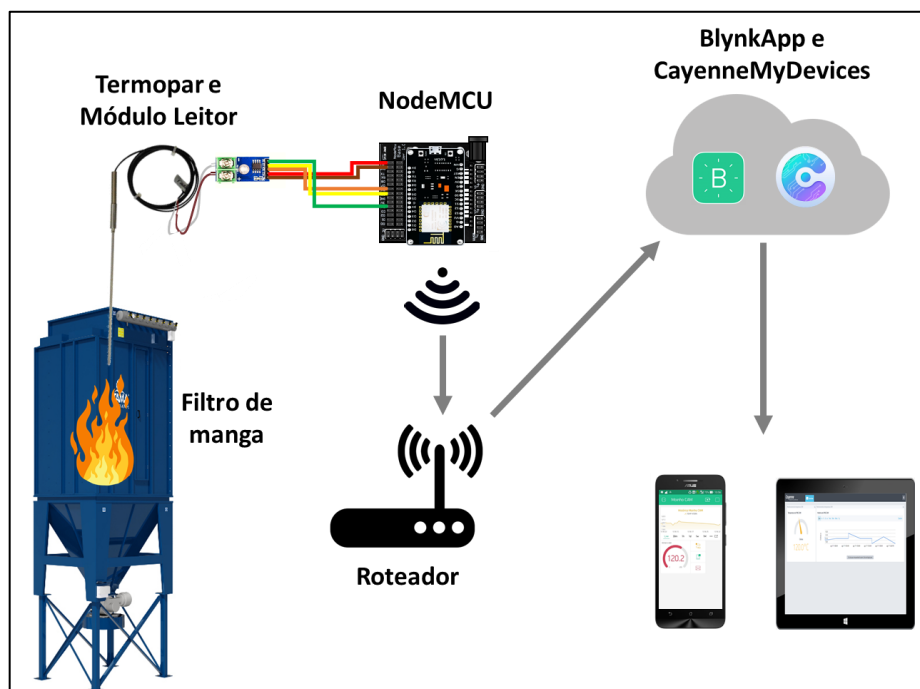


Figura 4.1 – Diagrama de funcionamento do sistema. Fonte: Autoria própria.

Um sensor tipo termopar foi utilizado para a medição da temperatura, e através de um módulo leitor foi possível fornecer os dados para o NodeMCU para o processamento. O NodeMCU se conecta à rede local wi-fi a qual envia os dados de temperatura via internet para uma plataforma IoT online que armazena os valores em nuvem computacional. Nesse projeto foram escolhidas as plataformas Blynk e a Cayenne my Devices. Nessas plataformas é possível

plotar gráficos e armazenar dados na nuvem, sendo possível analisar o histórico dos dados, além de ser possível enviar alertas quando a temperatura ultrapassar um patamar estipulado. Todas essas informações podem ser acompanhadas a partir de smartphones, tablets ou desktops.

4.2. SELEÇÃO DOS MATERIAIS

Na Tabela (4.1) são apresentadas as informações sobre os componentes utilizados para o desenvolvimento do sistema de monitoramento, a quantidade da requisição e seus respectivos custos.

Tabela 4.1 – Materiais utilizados no projeto.

Item	Quantidade	Unidade	Preço (R\$)
NodeMCU V3	1	PC	23,00
Termopar Tipo K	1	PC	55,00
Módulo de leitura MAX6675	1	PC	34,00
Placa base adaptadora para NodeMCU V3	1	PC	27,00
Prensa cabos em latão	1	PC	19,00
Espaçadores de circuito impresso Série ECI	20	PC	24,00
Cabo Wire Jumper macho-macho	40	PC	8,00
Tubo termoretrático 3mm	1	Metro	1,50
Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4.	1	PC	17,00
Caixa de acrílico (reaproveitada)	1	PC	-
TOTAL			208,50

Fonte: Autoria própria.

4.2.1. NodeMCU ESP8266

Oliveira (2017) afirma que a conceituação de IoT não é nova, a cerca de vinte anos atrás já se buscavam maneiras para a interligação da internet com os equipamentos utilizados cotidianamente, e nesse segmento, foram desenvolvidas maneiras de tornar esta idealização factível. A Figura (4.2), apresenta dinamicamente, as possibilidades de utilização da Internet das Coisas.

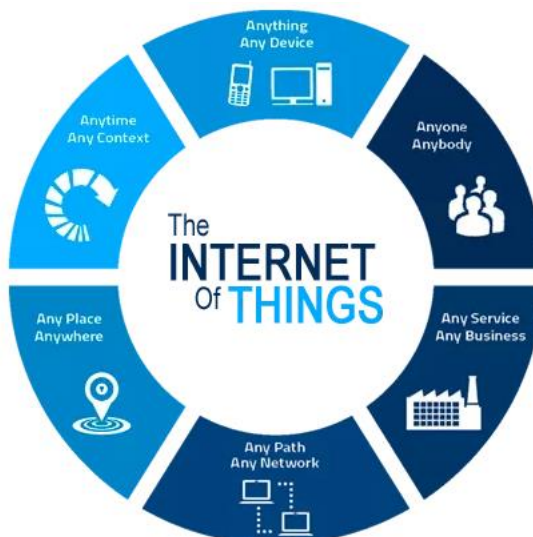


Figura 4.2 – Interações da IoT. Fonte: Morais (2018).

Continuamente, os preços dos dispositivos necessários para disseminação da IoT foram sendo reduzidos. Os módulos baseados no microcontrolador ESP8266, por exemplo, surgiram como um avanço entre o preço e os recursos.

A primeira tecnologia interligada com essa conceituação de IoT foi denominada como Radio Frequency Identification – RFID, originada em meados de 1940 e contando com um simples princípio, o qual mantém-se funcional até o período contemporâneo. O RFID consiste em um aparelho que através da radiofrequência, envia uma identificação única, a princípio, era muito utilizado em aviões, pois identifica outras aeronaves ao seu redor, passando a substituir o código de barras em veículos, crachás, produtos de supermercado, dentre outros (OLIVEIRA, 2017).

De acordo com a RoboCore (2012), a NodeMCU foi desenvolvida com o objetivo de se tornar uma plataforma open-source, voltada ao desenvolvimento de projetos de IoT, tendo por base a ESP8266, uma das mais populares placas encontradas no mercado. A linguagem para programação inicial dessa, oficialmente, é a Lua, que é uma maneira simples, mas que pode requerer o conhecimento de nova linguagem, além da adaptação para trabalhar em um ambiente de desenvolvimento totalmente novo. No entanto a NodeMCU, pode ser programada através do IDE (Integrated Development Environment) do Arduino.

Segundo Murta (2012), o NodeMCU é uma placa que foi desenvolvida para facilitar as aplicações utilizando o módulo ESP8266 ESP-12, sendo conectado a um cabo USB, possuindo regulador de tensão, e através do IDE Arduino, possibilita o carregamento dos programas na placa.

O ESP8266 consiste então, em microcontroladores que já compreendem todo o sistema necessário para conectar-se a internet. Ressalta-se que possuem dimensões reduzidas, viabilizando sua aplicação em projetos pequenos (MORAIS, 2018).

Para Morais (2018), a aplicação do ESP8266 engloba uma infinidade de opções, devido ao processador embutido de wi-fi, além de possuir um módulo com outros microcontroladores, através de comandos do tipo AT. No caso das suas versões menores, é comum a aplicação como Ponte Serial wi-fi, por possuírem uma quantidade significativamente reduzida de pinos. Dessa maneira, torna-se possível que receba dados através de um aplicativo ou da web, podendo acender, por exemplo, uma lâmpada. Em caso contrário, também existe a possibilidade de serem enviados dados para uma página da web ou um aplicativo. Na Figura (4.3) é apresentado o NodeMCU ESP8266, e na Figura (4.4) encontra-se um esquemático da pinagem.



Figura 4.3 – NodeMCU ESP8266. Fonte: Morais (2018).

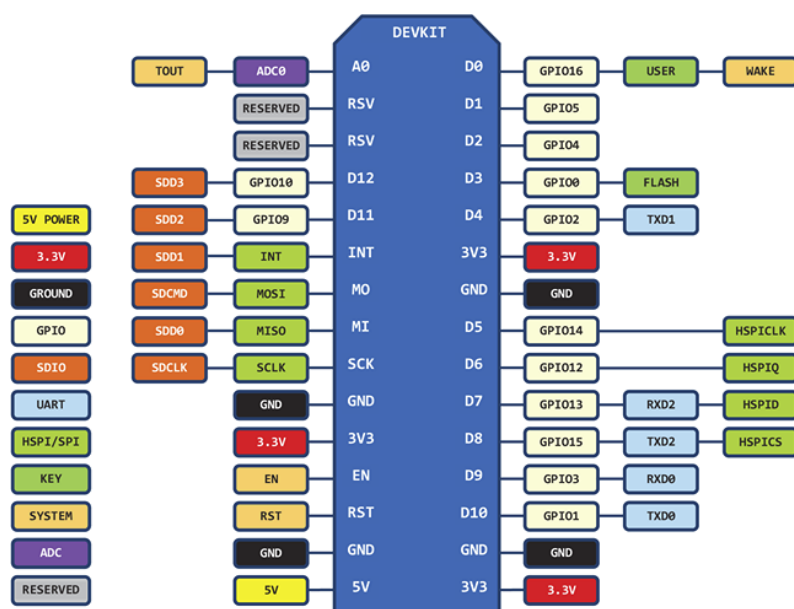


Figura 4.4 – Pinagem da NodeMCU. Fonte: Morais (2018).

A versão apresentada da ESP8266, vem na placa de desenvolvimento NodeMCU, contando com um regulador de tensão próprio e um conversor serial, não requerendo ambos, como no caso das outras versões fora da placa. Além disso, possui pinos destinados para a I2C, analógico, dentre outros. Portanto, para fazer a leitura dos dados de temperatura e publicá-los em um serviço de IoT, utilizou-se o NodeMCU em sua versão V3 da fabricante LOLIN que utiliza o módulo ESP8266 ESP-12 para se conectar à internet. Foi optado pelo uso desse módulo, pois, além da conexão wi-fi, é possível programá-lo utilizando o IDE do Arduino. Outra vantagem foi a vasta quantidade de bibliotecas disponíveis e a boa quantidade de ambientes IoT que permite a conexão com essa placa.

4.2.2. Placa Base

Para facilitar a montagem do protótipo e conexões dos circuitos externos, utilizou-se a Placa Base de Expansão NodeMCU. Essa placa possibilita a alimentação externa do sistema através de um conector P4 com tensões de 6 a 24VDC, possuindo ainda um regulador de tensão de 1A, e fornece pinos com sinais de tensão de 5V, 3.3V e com tensão igual à da fonte de alimentação (OLIVEIRA, 2018). A placa base é composta pelas partes apresentadas abaixo, e podem ser comparadas conforme a Figura (4.5).

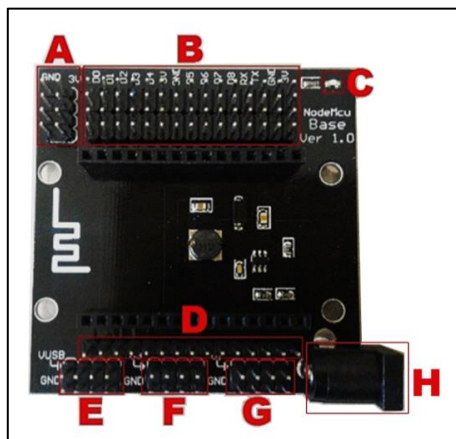


Figura 4.5 – Placa base para NodeMCU. Fonte: (OLIVEIRA, 2018).

- A: pinos com tensão de 3.3VDC;
- B: pinos referentes às entradas / saídas digitais, RX / TX e alimentação;
- C: LED que indica se o NodeMCU V3 está conectado a base;
- D: conexões referentes aos demais pinos do NodeMCU;
- E: pinos para alimentação via USB;
- F: pinos com tensão de 5VDC;

- G: pinos com tensão igual à da fonte de alimentação da placa;
- H: conector Jack P4 para alimentação da base com fonte DC.

4.2.3. Módulo MAX6675 e Termopar Tipo K

Para ser realizada a leitura de temperatura utilizou-se um termopar do tipo K e o módulo leitor de temperatura MAX6675. O MAX6675 é um conversor analógico-digital ADC (Analogic to Digital Converter) e um compensador de junta fria que digitaliza o sinal de um termopar do tipo K. Conforme as informações contidas no datasheet do MAX6675, o módulo emite os dados no formato leitura compatível com o protocolo de comunicação SPI (Serial Peripheral Interface) com resolução de 12 bits, permitindo a comunicação com um microcontrolador. Além disso, o datasheet informa que o MAX6675 faz a correção de linearidade, detecta possíveis falhas no termopar e juntos, o módulo e o termopar do tipo K, podem operar em temperaturas entre 0 °C e 1024 °C com uma resolução de 0,25 °C. Na Figura (4.6) é apresentado o módulo leitor de temperatura acoplado a um termopar tipo K. Antes de ser instalado no filtro, o termopar foi calibrado no laboratório de metrologia e instrumentação da empresa, onde se cadastrou o termopar na rotina de manutenção preventiva.

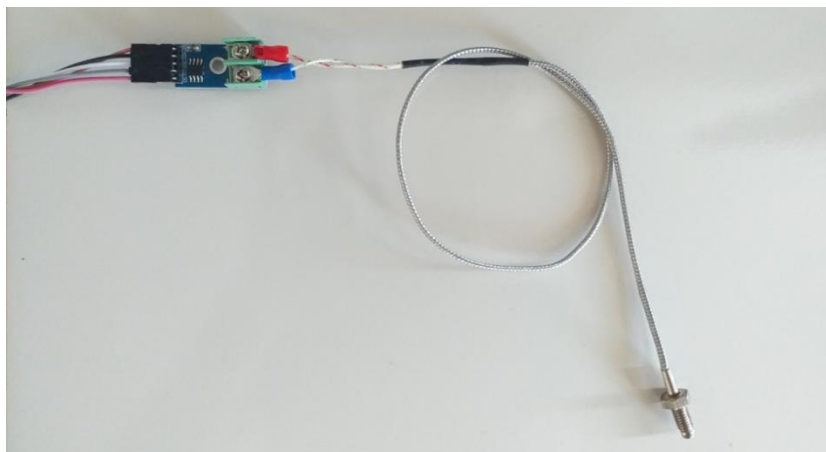


Figura 4.6 – Módulo leitor de temperatura MAX6675 acoplado à um termopar tipo K. Fonte: Autoria própria.

Na Figura (4.7) são apresentadas as características dos termopares onde se percebe que o termopar do tipo K é resistente a atmosferas oxidantes e inertes e atende aos limites de temperatura de operação do FMG 34, além disso, nenhuma de suas restrições se aplica ao processo estudado.

TIPO	ELEMENTO POSITIVO	ELEMENTO NEGATIVO	FAIXA DE TEMPERATURA USUAL	CARACTERÍSTICAS	RESTRIÇÕES
T	Cobre (+)	Constantan (-)	-184 à 370°C	Podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutores, inertes e no vácuo. Adequados para medições abaixo de zero graus. Apresenta boa precisão na sua faixa de utilização.	1) Oxidação do cobre acima de 310°C
J	Ferro (+)	Constantan (-)	0 à 760°C	Podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutores, inertes, e no vácuo. Não devem ser usados em atmosfera sulfurosas e não se recomenda o uso em temperaturas abaixo de zero graus. Apresenta baixo custo.	1) Limite máximo de utilização em atmosfera oxidante de 760°C devido à rápida oxidação do ferro. 2) Utilizar tubo de proteção acima de 480°C
E	Níquel Cromo (+)	Cobre Níquel (+)	0 à 870°C	Podem ser usados em atmosferas oxidantes e inertes. Em ambientes redutores ou vácuo perdem suas características termoeletrônicas. Adequado para o uso em temperaturas abaixo de zero graus.	1) Baixa estabilidade em atmosfera redutora.
K	Chromel (+)	Alumel (+)	0 à 1200°C	Recomendável em atmosferas oxidantes ou inertes. Ocasionalmente podem ser usados abaixo de zero graus. Não devem ser utilizados em atmosferas sulfurosas. Seu uso no vácuo é por curto período de tempo.	1) Vulnerável em atmosfera sulfurosa e gases como SO ₂ e H ₂ S requerendo substancial proteção quando utilizado nessas condições.
S	Platina 90% 10% Rhódio (+)	Platina 100% (-)	0 à 1600°C	Recomendável em atmosferas Oxidantes ou inertes. Não devem ser usados abaixo de zero graus no vácuo, em atmosferas redutoras ou atmosferas com vapores metálicos. Apresenta boa precisão em temperaturas elevadas	1) Vulnerável a contaminação em atmosferas que não sejam oxidantes. 2) Para altas temperaturas, utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.
R	Platina 87% 13% Rhódio (+)	Platina 100% (-)	0 à 1600°C		
B	Platina 70% 30% Rhódio (+)	Platina 94% 6% Rhódio (-)	870 à 1795°C	Recomendável em atmosferas oxidantes ou inertes. Não devem ser usados no vácuo, em atmosferas com vapores metálicos. Mais adequados para altas temperaturas que os tipos S/R.	1) Vulnerável a contaminação em atmosferas que não sejam oxidantes. 2) Utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.
N	Nicrosil (+)	Nisil (-)	0 à 1260°C	Excelente resistência a oxidação até 1200°C. Curva FEM x temp. similar ao tipo K, porém possui menor potência termoeletrônica. Apresenta maior estabilidade e menor drift x tempo.	1) Melhor desempenho na formação de isolamento mineral.

Figura 4.7 – Características e restrições dos termopares. FONTE: Camtec (2020).

4.3. MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Após a seleção dos materiais, foi esboçado o diagrama esquemático do projeto apresentando as conexões entre os componentes, detalhando as pinagens e a fonte de alimentação conforme a Figura (4.8) para posterior aquisição. O termopar do tipo K teve seus bornes positivo e negativo da junta fria fixados no módulo leitor de temperatura MAX6675. As saídas GND e Vcc do MAX6675 foram conectados através de cabos jumper nas saídas 3V e GND (respectivamente) do NodeMCU. As saídas SCK, CS e SO foram conectadas respectivamente nas GPIO D6, D5 e D4 do NodeMCU. Utilizou-se uma fonte DC de externa 9V chaveada com conector Jack P4.

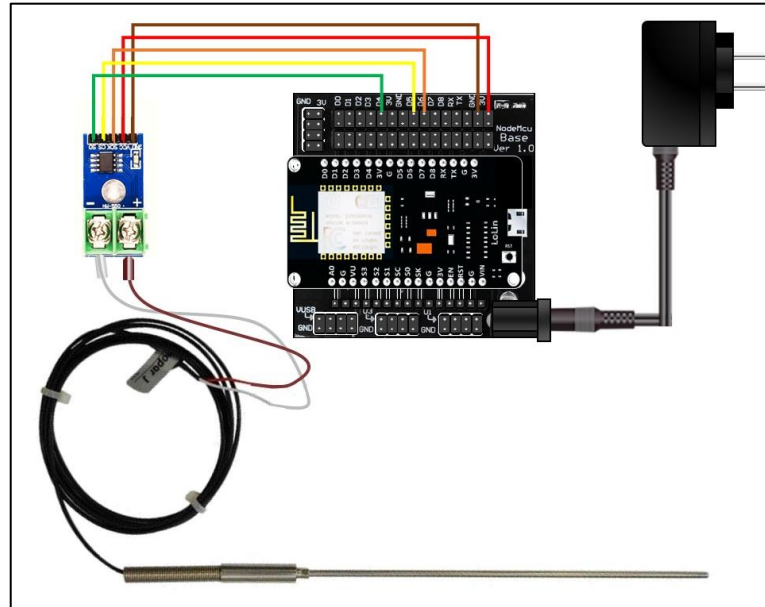


Figura 4.8 – Diagrama esquemático da montagem do protótipo. Fonte: Autoria própria.

O NodeMCU foi encaixado na placa base, e as ligações entre a placa e o MAX6675 foram realizadas utilizando jumpers, no entanto, para evitar mau contato nas conexões foi utilizado solda de estanho para fixar os jumpers nos pinos dos componentes. Além disso, foi utilizado o tubo termoretrático para garantir o isolamento elétrico e a integridade das junções devido a sua proteção mecânica. O NodeMCU e o MAX6675 foram montados em uma caixa de acrílico. A fixação dos componentes na caixa foi com espaçadores de nylon para circuito impresso. Na Figura (4.9) é apresentado o resultado da montagem final do protótipo.

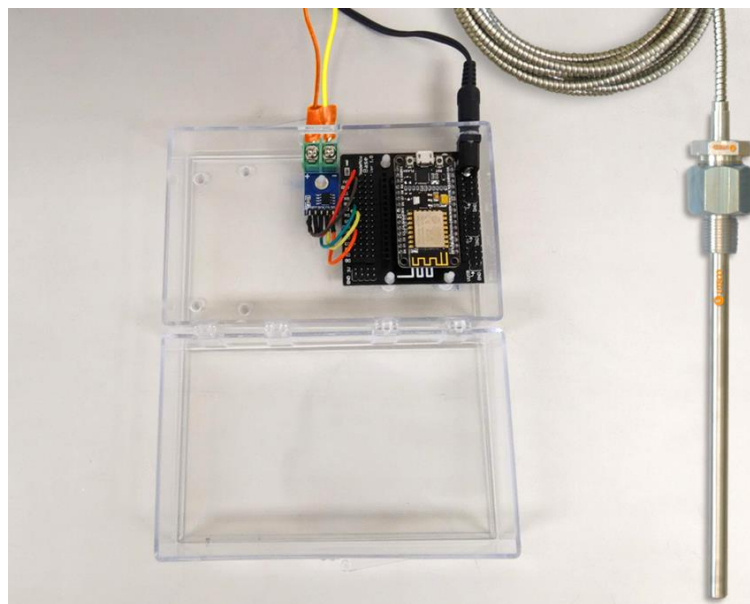


Figura 4.9 – Montagem do final do protótipo. Fonte: Autoria própria.

4.4. PLATAFORMA IOT

Os dados coletados pelo NodeMCU são enviados para plataformas na internet para serem analisados e processados. Essas plataformas possuem sistemas de nuvem onde armazenam os dados e permitem o desenvolvimento de interfaces dinâmicas. Nas interfaces disponibilizadas nas plataformas, criam ambientes onde permite a interação entre dispositivos e usuários, permitindo o armazenamento de dados, análise e direcionar as informações obtidas para servirem de entrada para dispositivos conectados na rede.

Portanto, realizou-se uma avaliação de diversas plataformas gratuitas de IoT, em que se ponderou a funcionalidade, praticidade, operabilidade, desempenho e design das plataformas. Dentre as plataformas avaliadas, as que tiveram maior desempenho, foram a Blynk e a Cayenne da empresa myDevices. A escolha de duas plataformas se deu pelo fato de a Blynk apresentar um elevado desempenho através de seu aplicativo que é disponível apenas para smartphones, a Cayenne apesar de estar disponível para smartphone e desktop, sua aplicabilidade em Smartphone apresentou alguns bugs e não oferecia tantos recursos quanto a Blynk, portanto escolheu-se o Cayenne para o uso em desktop.

Na Blynk há um conjunto de produtos de software para criar aplicativos de IoT, conectar itens, pessoas e dados, fornecendo, na sua infraestrutura baseada em nuvem, confiabilidade, escalabilidade e segurança. Os serviços da Blynk lidam com uma enorme infinidade de aplicações, desde registros de usuários de várias plataformas até provisionamento de dispositivos, análise de dados de sensores e aprendizado de máquina. (BLYNK, 2018).

A Blynk foi projetada para a Internet das Coisas. Ele pode controlar o hardware remotamente, pode exibir dados do sensor, pode armazenar dado e visualizá-los através de um design interativo. A arquitetura de funcionamento da Blynk é apresentada na Figura (4.10). Segundo a Blynk (2018) a plataforma é composta por três componentes principais:

- **Blynk App** - permite criar interfaces incríveis para seus projetos usando vários *widgets*;
- **Servidor Blynk** - responsável por todas as comunicações entre o smartphone e o hardware. Pode ser utilizado o Blynk Cloud ou executar seu servidor Blynk privado localmente. É de código aberto, pode lidar facilmente com milhares de dispositivos e pode até ser lançado em um Raspberry Pi;
- **Bibliotecas Blynk** - para todas as plataformas populares de hardware (Arduino, ESP8266, NodeMCU, Raspberry Pi etc.) - permitem a comunicação com o servidor e processam todos os comandos de entrada e saída.

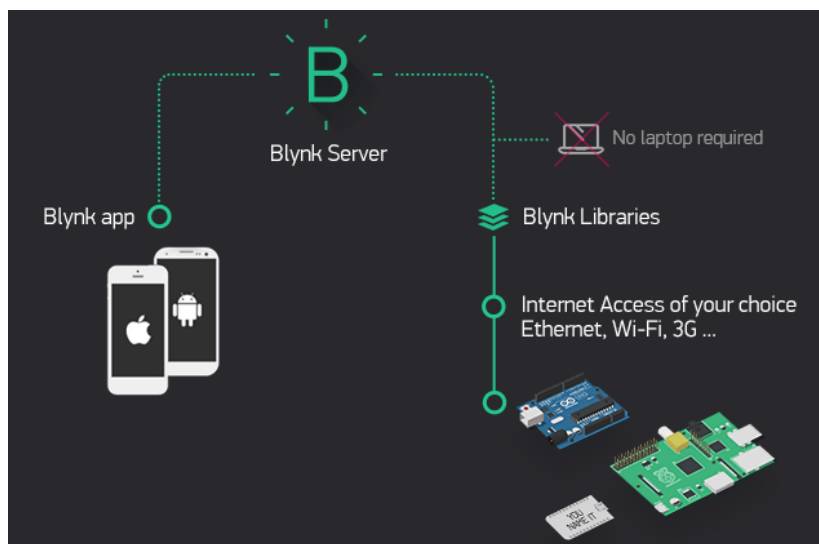


Figura 4.10 – Arquitetura de funcionamento da Blynk. Fonte: Blynk (2018).

Para Blynk (2018), sua plataforma também conta com os recursos abaixo:

- API (*Application Programming Interface*) e interface de usuário semelhantes para todos os dispositivos e hardware suportados
- Conexão com a nuvem usando wi-fi, Bluetooth, Ethernet, USB (serial) e GSM;
- Conjunto de widgets fáceis de usar;
- Manipulação direta de pinos sem gravação de código;
- Fácil de integrar e adicionar novas funcionalidades usando pinos virtuais;
- Monitoramento de dados do histórico via widget SuperChart;
- Comunicação dispositivo a dispositivo através do widget Bridge;
- Enviar e-mails, tweets, notificações etc.

A Cayenne é uma plataforma que foi projetada para trabalhar a partir de smartphones (iOS e Android), porém, ela também disponibiliza o acesso através de navegadores populares. O Cayenne foi projetado para ajudar os usuários a criar protótipos da Internet das Coisas e, em seguida, levá-los à produção (CAYENNE, 2019). Existem vários componentes na plataforma:

- **Aplicativos móveis Cayenne** – possibilita o monitoramento e controle remoto dos projetos de IoT nos aplicativos Android ou iOS;
- **Painel Online do Cayenne** – possibilita o uso de widgets personalizáveis para visualizar dados, configurar regras, agendar eventos etc.

A Cayenne possui biblioteca contendo arquivos de esboço para microcontroladores que enviam e recebem dados do Arduino e da nuvem Cayenne para implementar comandos, ações, gatilhos e alertas de entrada e saída.

Segundo Cayenne (2019), a API Cayenne usa o protocolo de comunicação MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) que é usado para conectar o microcontrolador ao Cayenne Cloud. Após gravar o código no microcontrolador, pode-se enviar dados do dispositivo para o painel Cayenne e exibi-los usando widgets. Também é possível receber comandos do Cayenne, permitindo o controle remoto e a automação de seus dispositivos. A API Cayenne MQTT suporta uma variedade de linguagens e ambientes de programação.

4.5. AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO

Todas as funções do protótipo utilizando NodeMCU foram atribuídos através de um código fonte. O código fonte foi desenvolvido utilizando o software Arduino IDE (Integrated Development Environment) que oferece uma interface didática e amigável que facilita a interação com o usuário. A interface do Arduino IDE é apresentada na Figura (4.11).

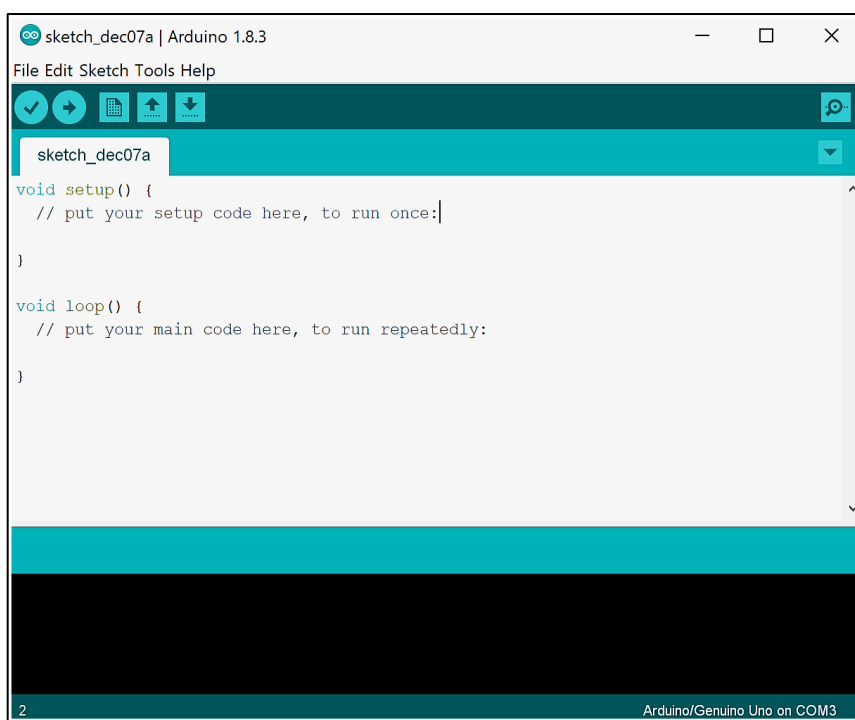


Figura 4.11 – Interface da IDE do Arduino. Fonte: Autoria própria.

O software Arduino (IDE) é de código aberto, o que facilita a gravação e o upload do código nas placas. O Arduino pode ser executado no Windows, Mac OS X e Linux. O ambiente é escrito em Java e baseado em Processing e em outros softwares de código aberto (ARDUINO, 2019).

A IDE do Arduino possibilita inserir bibliotecas que facilitam o interfaceamento com diversos hardwares e softwares. É possível encontrar diversas bibliotecas de domínio público, muitas delas fornecidas pelos fabricantes de softwares e hardwares que interagem com o Arduino. Com isso, utilizaram-se bibliotecas para o MAX6675, o ESP8266, Blynk e Cayenne. A transferência do código fonte para o NodeMCU foi realizada através de um cabo micro USB conectado a um computador utilizado para executar o IDE do Arduino. O código desenvolvido encontra-se disponível no Apêndice A.

CAPÍTULO V

RESULTADOS E PADRONIZAÇÃO

5.1. RESULTADOS DO MONITORAMENTO REMOTO

O sistema de monitoramento foi instalado no filtro de mangas FMG 34, onde foi fixado o termopar por meio de um prensa-cabo instalado na parte superior do filtro. O ponto de instalação do termopar para medição de temperatura interna do filtro foi escolhido de acordo com as especificações do fabricante. A instalação ficou espaçada em 40 cm do termopar utilizado pelo sistema supervisório já existente conforme apresentado na Figura (5.1). O sistema embarcado utilizou a rede wi-fi da empresa, para transmitir os dados através da internet para as plataformas IoT.

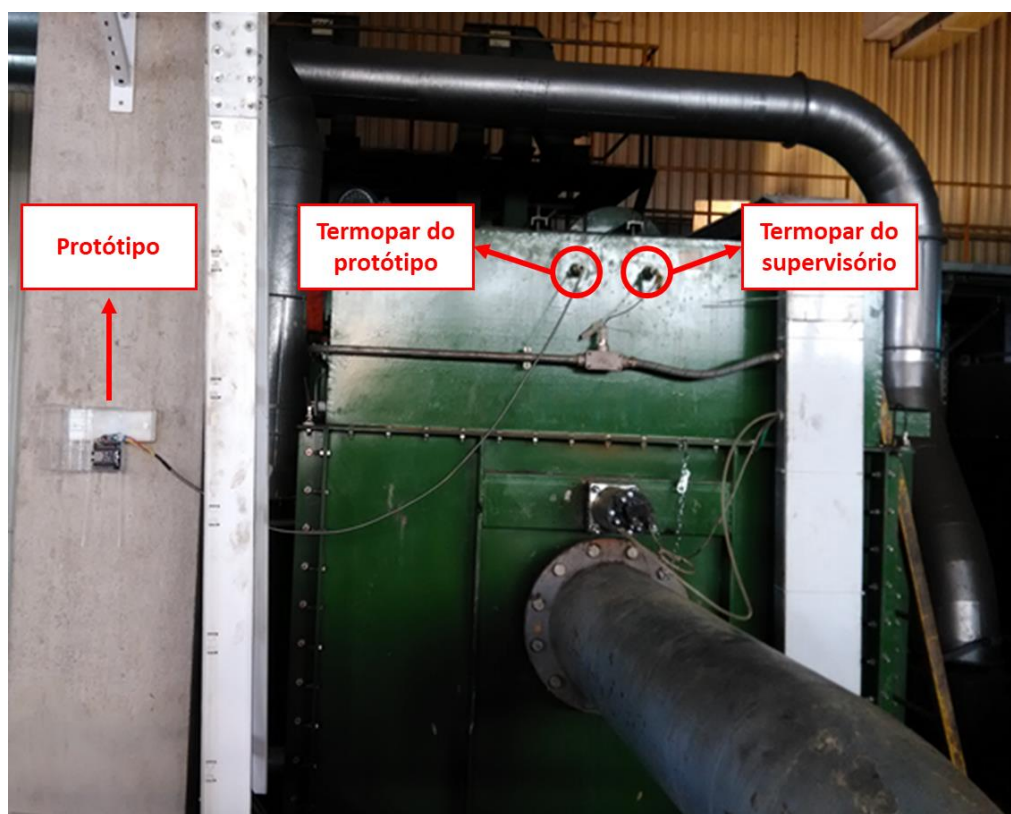


Figura 5.1 – Instalação do protótipo no FMG 34. Fonte: Autoria própria.

Após a instalação do sistema de monitoramento no filtro de mangas, foram realizados testes comparando os dados de temperatura obtidos pela solução desenvolvida, com os dados

obtidos através do sistema supervisorio da máquina. Ambos, os sistemas, utilizam termopares do tipo K, os quais foram calibrados no laboratório de instrumentação e metrologia da fábrica.

Os dados obtidos pelos dois sistemas são apresentados na Figura (5.2). Na Tabela (5.1) são apresentados os dados utilizados para gerar o gráfico da Figura (5.2), as variações e erros associados às leituras realizadas pelo protótipo e o supervisorio da máquina.

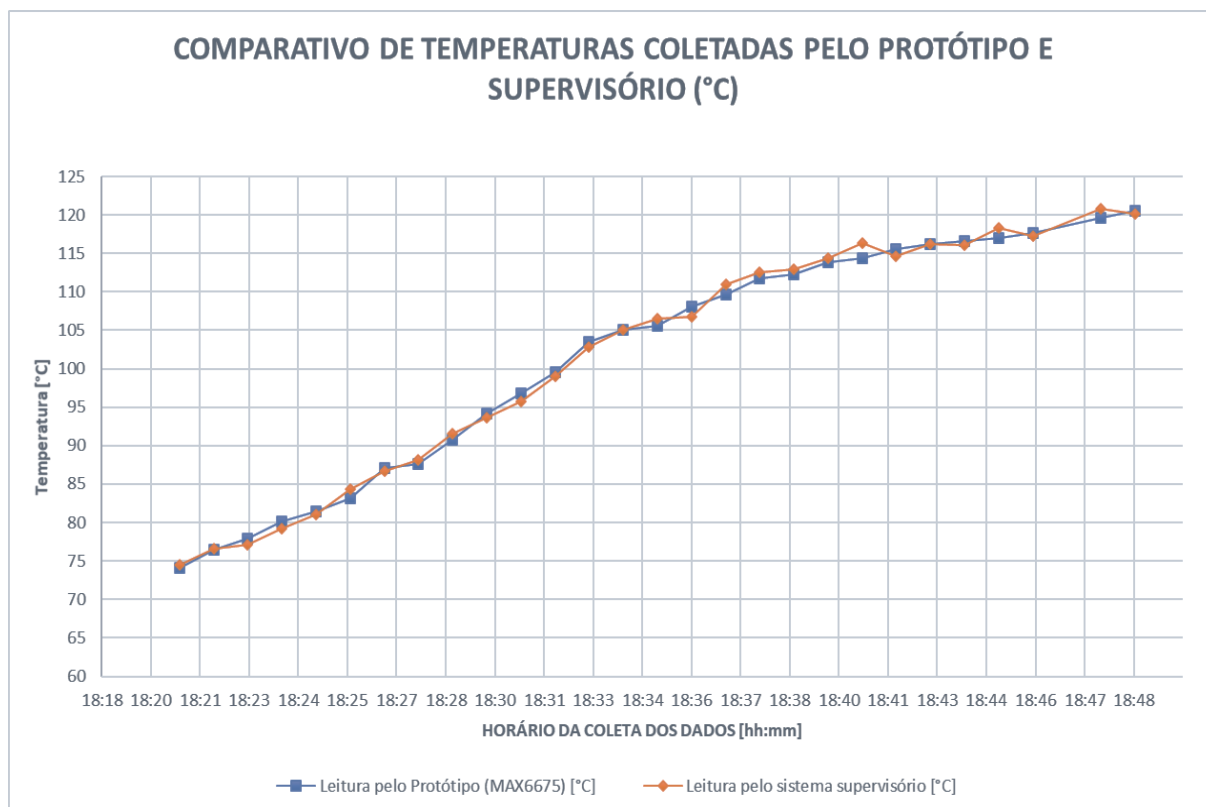


Figura 5.2 – Comparação de temperaturas medidas pelo protótipo e pelo supervisorio. Fonte: Autoria própria.

Na Tabela (5.1) observa-se uma variação média de $0,7^{\circ}\text{C}$ entre os dados obtidos pelo sistema supervisorio e o protótipo. O erro máximo admitido pelo MAX6675 mais o termopar tipo K é $\pm 5^{\circ}\text{C}$ para temperatura entre 0 e 700°C conforme apresentado em seu datasheet, já o termopar utilizado no sistema supervisorio tem uma precisão de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ para temperaturas entre 0 e 800°C , podendo, então, existir uma variação de $7,5^{\circ}\text{C}$ entre os dois sistemas. Portanto, todos os pontos analisados se encontram dentro de uma faixa aceitável para validação da solução.

Para realizar o monitoramento da temperatura do FMG 34, foram criadas interfaces utilizando Widgets para visualizar os dados em tempo real e o histórico de temperatura por meio de gráficos, permitindo uma interação mais sofisticada aos usuários. Na Figura (5.3) é apresentada a interface desenvolvida para monitoramento de temperatura a partir de smartphone

e tablet pelo aplicativo Blynk. Na Figura (5.4) é apresentada a interface web desenvolvida para monitoramento de temperatura pela plataforma Cayenne.

Tabela 5.1 – Comparativo entre resultados das leituras de temperatura (supervisório e protótipo).

Leitura pelo sistema supervisório [°C]	Leitura pelo Protótipo (MAX6675) [°C]	Precisão do termopar do sistema supervisório [°C]	Erro Máximo admissível (Datashhet) [°C]	Varição admitida entre leituras (Protótipo - supervisório) [°C]	Varição das leituras (Protótipo - supervisório) [°C]	Erro medido entre leituras [%]
74,5	74,1	2,5	5	7,5	0,4	0,5%
76,6	76,4	2,5	5	7,5	0,2	0,3%
77,1	77,9	2,5	5	7,5	0,8	1,0%
79,2	80,1	2,5	5	7,5	0,9	1,1%
81,1	81,4	2,5	5	7,5	0,3	0,4%
84,3	83,2	2,5	5	7,5	1,1	1,3%
86,7	87,1	2,5	5	7,5	0,4	0,5%
88,1	87,6	2,5	5	7,5	0,5	0,6%
91,5	90,8	2,5	5	7,5	0,7	0,8%
93,6	94,2	2,5	5	7,5	0,6	0,6%
95,7	96,8	2,5	5	7,5	1,1	1,1%
99	99,5	2,5	5	7,5	0,5	0,5%
102,8	103,5	2,5	5	7,5	0,7	0,7%
105,1	105,1	2,5	5	7,5	0	0,0%
106,5	105,6	2,5	5	7,5	0,9	0,8%
106,7	108,1	2,5	5	7,5	1,4	1,3%
111	109,7	2,5	5	7,5	1,3	1,2%
112,5	111,8	2,5	5	7,5	0,7	0,6%
112,9	112,3	2,5	5	7,5	0,6	0,5%
114,4	113,9	2,5	5	7,5	0,5	0,4%
116,3	114,4	2,5	5	7,5	1,9	1,6%
114,6	115,5	2,5	5	7,5	0,9	0,8%
116,2	116,2	2,5	5	7,5	0	0,0%
116,1	116,6	2,5	5	7,5	0,5	0,4%
118,3	117	2,5	5	7,5	1,3	1,1%
117,3	117,6	2,5	5	7,5	0,3	0,3%
120,8	119,6	2,5	5	7,5	1,2	1,0%
120,1	120,6	2,5	5	7,5	0,5	0,4%
MÉDIA				7,5	0,7	0,7%

Fonte: Autoria própria.



Figura 5.3 – Interface desenvolvida para monitoramento de temperatura do FMG 34 a partir de smartphone e tablet pelo aplicativo Blynk. Fonte: Autoria própria.



Figura 5.4 – Interface web desenvolvida para monitoramento de temperatura do FMG 34 pela plataforma Cayenne. Fonte: Autoria própria.

Em ambas plataformas, foram configurados gatilhos para enviar alertas automáticos para os e-mails e smartphones dos supervisores e gerente de manutenção, mantenedores do FMG 34 e MDB-01, encarregados e supervisor de produção e técnicos e supervisor de segurança do trabalho toda vez que a temperatura do FMG 34 ultrapasse 135 °C. Vale ressaltar que, foram criados atalhos nos computadores dos responsáveis através do link de compartilhamento fornecido pelo Cayenne, e foi instalado o aplicativo Blynk nos seus smartphones onde foi compartilhado a interface de monitoramento de temperatura.

Na Figura (5.5) são apresentados os alertas de temperaturas enviados por e-mail e para os Smartphones dos envolvidos. O sistema mostrou-se bastante responsivo, onde o tempo de resposta entre o evento e o alerta é menor que 4 segundos, ou até menor dependendo da qualidade do sinal de internet. Também, definiu-se um intervalo de 3 minutos entre o envio de alertas por e-mail, e um intervalo de 25 segundos entre as notificações de alertas pelo smartphone.

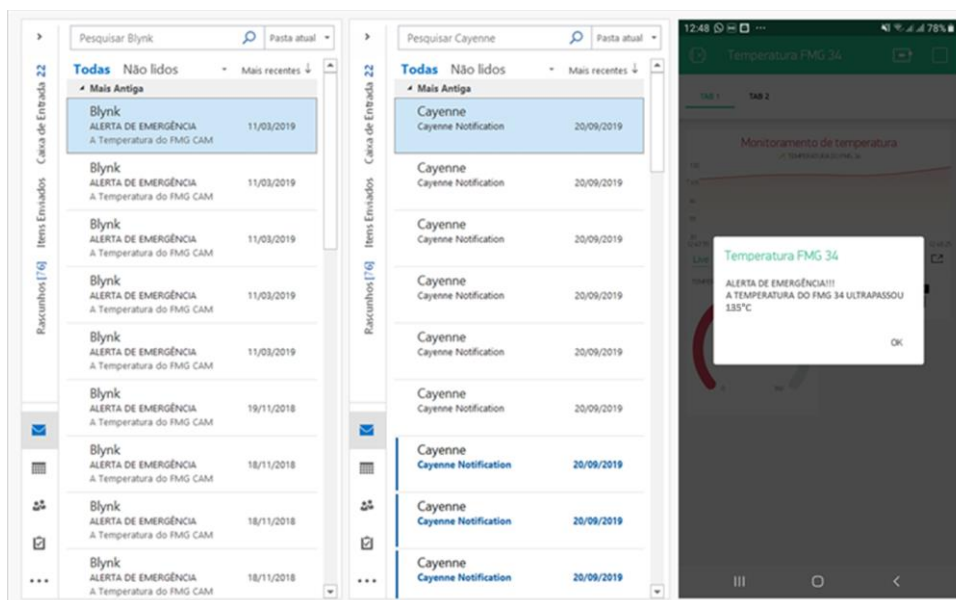


Figura 5.5 – Alertas de temperatura acima de 135 °C no FMG 34. Fonte: Autoria própria.

As plataformas armazenam, nas suas respectivas nuvens, dados de até 365 dias anteriores e permitem o download do histórico dos dados no formato CSV (Comma-Separated Values), onde é compatível com o aplicativo Excel. Na Figura (5.6), são apresentados os dados armazenados na nuvem do Cayenne. Os dados são atualizados em tempo real e podem ser consultados personalizando intervalos de tempo.

Monitoramento de temperatura do FMG 34							
Timestamp	Device N...	Channel	Sensor Name	Sensor ID	Data Type	Unit	Values
2020-04-17 8:48:09	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.25
2020-04-17 8:48:06	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	28.75
2020-04-17 8:48:03	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.5
2020-04-17 8:48:00	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.5
2020-04-17 8:47:57	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.25
2020-04-17 8:47:54	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.5
2020-04-17 8:47:51	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.25
2020-04-17 8:47:48	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29
2020-04-17 8:47:44	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.25
2020-04-17 8:47:41	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.25
2020-04-17 8:47:38	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.5
2020-04-17 8:47:35	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.75
2020-04-17 8:47:34	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.5
2020-04-17 8:47:29	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.5
2020-04-17 8:47:26	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.5
2020-04-17 8:47:23	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.5
2020-04-17 8:47:20	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.25
2020-04-17 8:47:17	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	c	29.75

Figura 5.6 – Dados armazenados na nuvem da plataforma Cayenne. Fonte: Autoria própria.

Também foi elaborado o item de controle para fazer o acompanhamento do número de incêndios e princípios de incêndios no FMG 34 conforme apresentado na Figura (5.7).

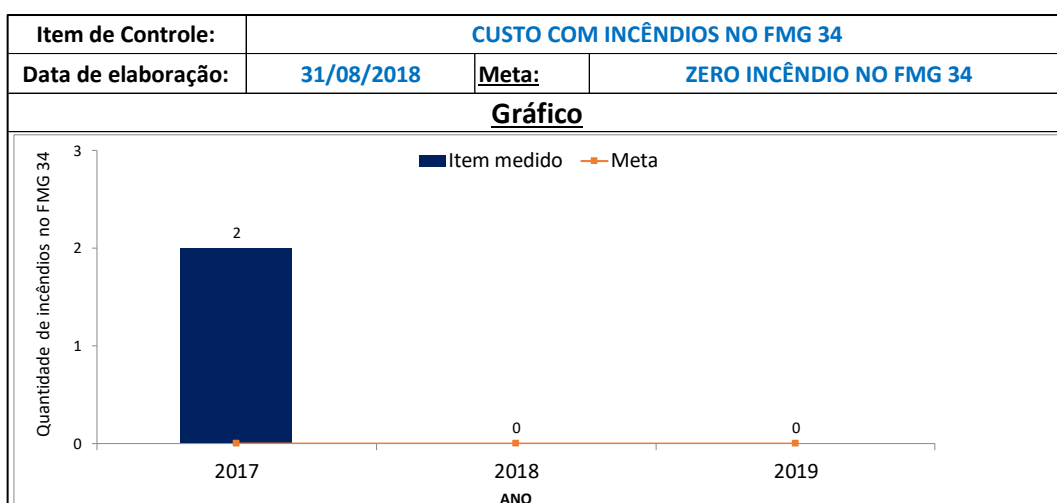


Figura 5.7 – Item de controle. Fonte: Autoria própria.

Na Figura (5.8) é apresentado o histórico de temperatura do FMG 34 obtido a partir da plataforma Blynk, os dados foram plotados em Excel, mostrando o monitoramento contínuo de

temperatura mesmo quando o moinho está sem produzir. O gráfico também mostra que no dia 22/08/2018 houve um aumento de temperatura acima de 135°C e em seguida uma queda brusca de temperatura devido a atuação imediata do sistema de combate a incêndio.

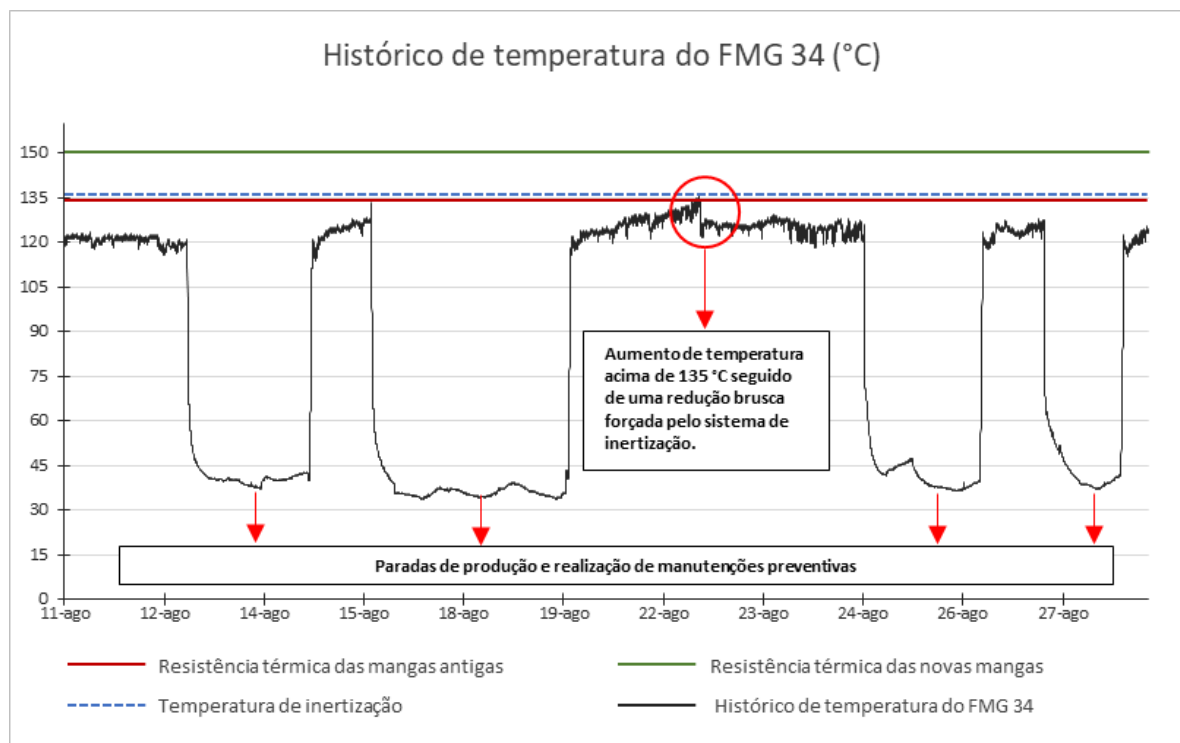


Figura 5.8 – Dados de temperatura do FMG 34. Fonte: Autoria própria.

As melhorias implementadas permitem que o sistema de filtragem opere com maior segurança, por dois motivos: As mangas possuem maior resistência térmica e o sistema de monitoramento desenvolvido permite o envio de alertas de alta temperatura de forma eficiente e em tempo real. O envio dos alertas e o acompanhamento da temperatura é essencial para que as equipes se mantenham em alerta caso aconteçam eventos de sobre temperatura no FMG 34, criando uma rotina de investigação e atuação caso ocorra uma elevação contínua de temperatura.

As equipes de manutenção e brigada foram treinadas para atuarem de forma rápida quando houver algum evento de aumento descontrolado de temperatura de forma a prevenir a integridade do equipamento e das pessoas. As equipes também foram treinadas para atuarem de forma rápida caso ocorram repetidos aumentos de temperaturas sucedidos por repetidas atuações do sistema de combate a incêndio, pois nesse caso específico estaria acontecendo alguma anomalia no interior do filtro e as sucessivas atuações do sistema de combate a incêndio podem ocasionar o esgotamento do nitrogênio.

5.2. BENEFÍCIOS DA SOLUÇÃO

Foi realizada uma análise do custo-benefício do projeto considerando um horizonte de 12 meses. Foi considerada como benefício à redução de R\$ 500.300,00 em gastos com manutenção e reparos provenientes de incêndios no FMG 34 (valores apresentados na Tabela (5.1)). O custo do projeto foi calculado com base no investimento realizado para o desenvolvimento e implementação da solução, totalizando 208,50 (valor gastos com a compra de materiais apresentados na Tabela (5.4)).

O resultado obtido demonstrou que a implementação do sistema de monitoramento preditivo de temperatura tem sido economicamente viável, visto que a relação benefício/custo foi de 2399,5. A análise do custo-benefício é apresentada na Tabela (5.2).

Tabela 5.2 – Análise do custo-benefício.

CUSTO - C	BENEFÍCIO - B	B/C
R\$ 208,50	R\$ 500.300,00	2399,5

Fonte: Autoria própria.

Na etapa de padronização da aplicação foi utilizada uma ferramenta de instrução referente ao uso das plataformas. Na padronização, buscou-se o cunho mais objetivo possível, onde os usuários receberam as orientações de como baixar o aplicativo, como utilizá-lo e como agir caso a temperatura do FMG 34 ultrapasse 135°C. O documento de padronização é apresentado no Apêndice B disponível.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma análise sobre a aplicação em campo do monitoramento preditivo e análises de manutenção e engenharia como ação para redução dos custos de manutenção. O estudo de caso foi aplicado na prevenção de incêndios em filtros de mangas de uma empresa de produção baterias automotivas. Como solução ao problema na linha de produção de óxido, foram substituídos os elementos filtrantes do filtro de mangas por elementos de maior resistência térmica, restaurado as condições básicas do sistema de limpeza de mangas e desenvolvido um sistema embarcado de baixo custo capaz de obter dados de temperatura e monitorá-los em tempo real a partir de um Smartphone, Tablet ou Computador através de plataformas destinadas à Internet das Coisas. Este trabalho também permitiu a identificação das causas raízes do problema de incêndio no filtro estudado através de um processo investigativo utilizando a metodologia Kaizen.

O sistema de monitoramento e as soluções aplicadas no trabalho desenvolvido ofereceram, à empresa estudada, um ganho de R\$ 500.300,00 ao ano, evitando avarias provenientes de incêndios em filtros de mangas. O investimento financeiro da solução foi de R\$ 208,50, valor utilizado para aquisição dos componentes utilizados para construção do protótipo. O projeto proporcionou um retorno 2399,5 vezes maior que o investimento. Diante dessas informações, fica evidente que os objetivos do trabalho foram alcançados.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se, o desenvolvimento que visem o aprimoramento continuado da solução, tais como:

- Monitoramento de pressão diferencial, para identificar possível saturação das mangas ou rompimento das mesmas;
- Monitoramento de rotação do eixo da válvula rotativa ou rosca de transporte, para verificar possível travamento e evitar acúmulo de pó na moega do filtro.
- Monitoramento de nível de óxido na moega;
- Monitoramento de emissão de particulado.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, D. O que é manutenção preditiva? **Certificação ISO**, 2013. Disponível em: <<https://certificacaoiso.com.br/e-manutencao-preditiva-2/>>. Acesso em: 30 jul. 2019.
- ALMEIDA, B. G.; FABRO, E. Indústria 4.0 como Ferramenta na Engenharia de Manutenção com Base na Metodologia TPM. **Revista Scientia Cum Indústria**, v. 7, n. 2, p. 23-39, 2019.
- ARAÚJO, C. A. C. **Desenvolvimento e aplicação de um Método de Implementação de Sistemas de Produção Enxuta**. Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos da USP. São Carlos. 2004.
- ARAÚJO, I. M.; CÂMARA, J. M. Capítulo III: Manutenção Preditiva e Detectiva. **O Setor Elétrico**, 2010. Disponível em: <https://www.oseletrico.com.br/wp-content/uploads/2010/03/Ed50_fasc_manutencao_industrial_cap3.pdf>. Acesso em: 23 set. 2019.
- ARDUINO. SOFTWARE. **Arduino**, 2019. Disponível em: <www.arduino.cc>. Acesso em: 13 dez. 2019.
- ASSIS, A. 40 Perguntas: Manutenibilidade. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 162, Setembro 2010.
- BARBOSA, M. G. **Uso de filtro de mangas para tratamento de gases resultantes da combustão de bagaço de cana**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da UNESP - Campus de Baruru. Bauru. 2014.
- BLYNK. About us. **Blynk**, 2018. Disponível em: <<https://blynk.io/about>>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- BODE, H. **Lead-acid Batteries**. Tradução de R. J. Brodd e K. V. Koedesch. Nova York: John Wiley & Sons, 1977. 197 p. Trad. De R.J. Brodd e K.V. Koedesch.
- CAMPOS, V. F. **TQC: Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia a Dia**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Bloch, 1994.
- CAMTEC. CARACTERÍSTICAS DOS TERMOPARES. **CAMTEC**, 2020. Disponível em: <<http://camtec.com.br/?p=conteudo&id=187>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

- CAYENNE. Introduction. **Cayenne**, 2019. Disponível em: <<https://developers.mydevices.com/cayenne/docs/intro/>>. Acesso em: 03 maio 2019.
- CESAR, F. I. G. **Ferramentas Básicas da Qualidade**. 1ª. ed. São Paulo: Bilioteca24horas, 2011.
- CHENG, G.-J. et al. Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE, Hong Kong, IEEE. **Anais Eletrônicos**, 2016.
- COELHO, P. M. N. **Rumo à indústria 4.0**. Dissertação (Mestrado em engenharia e gestão industrial) FCTUC. Coimbra, p. 62. 2016.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica**. 2ª. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2007.
- COUTINHO, L. A terceira revolução industrial e tecnológica. **Economia e Sociedade**, v. 1, n. 1, p. 69-87, 27 out. 2016.
- COUTINHO, T. Brainstorming: o que é e como fazer uma tempestade de ideias? **Voitto**, 2017. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/brainstorming>>. Acesso em: 21 jan. 2020.
- DAYCHOUM, M. **40 Ferramentas e técnicas de gerenciamento**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.
- DRUCKER, P. O futuro já chegou. **Revista Exame**, v. 8, n. 710, p. 12-19, 22 mar. 2000.
- ENDEAVOR. Kaizen: a sabedoria milenar a serviço da sua melhor gestão. **endeavor.org.br**, 3 jul. 2015. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/operacoes/kaizen/>>. Acesso em: 18 dez. 2019.
- FABRICIO, M. A. **Monitoramento de equipamentos elétricos industriais utilizando IOT**. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) - PUC. Campinas. 2018.
- FERREIRA, H. C. **A manutenção predial em face a norma NBR 5674/1999 - manutenção de edificações - procedimento**. Monografia (Pós Graduação em Construção de Obras Públicas) - UFPR. Curitiba, p. 39. 2010.

- FIGUEIREDO, F. D. V. **Avaliação da contaminação do solo por metais provenientes de indústrias recicladoras de chumbo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade estadual paulista. Faculdade de engenharia de Bauru. Bauru. 2004.
- FROTA, H. **Manual avançado para executivos**. [S.l.]: Viseu LTDA, v. I, 2019.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2008.
- GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. **Tecnologia de Abate e Tipificação de Carças**. 1ª. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 370 p.
- GONZAGA, N. P.; SILVA, P. C.; POSSIGNOLO, N. V. Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais Relacionados à Fabricação de Baterias Automotivas: Estudo de Caso de um Empreendimento Localizado na Região de Campinas – SP. **Revista Ciência & Inovação**, v. II, n. 1, 2015.
- GUSTIN, M. B. D. S.; DIAS, M. T. F. **(Re)pensando a pesquisa jurídica: teoria e prática**. 2ª. ed. Belo Horizonte: Del Rey, 2006.
- INSTALFILTER. Horizontal bag filters. **Instalfilters SA**, 2015. Disponível em: <<https://instalfilter.com/Horizontal-bag-filter.html>>. Acesso em: 03 31 2020.
- LEMOS, A. L. M.; RODRIGUES, L. P. B. Internet das Coisas, Automatismo e Fotografia: Uma Análise pela Teoria Ator-Rede. **Revista FAMECOS**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 1016-1040, 2014.
- LIMA, W. F. **Análise da Distribuição de Ar em um Filtro de Mangas Utilizando Dinâmica dos Fluidos Computacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte. 2019.
- LISBOA, H. D. M. **Controle da poluição atmosférica**. 1ª. ed. Montreal: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- LUER FILTER. Bag filter. **Luehr Filter: Air pollution control technology**, 2006. Disponível em: <<https://www.luehr-filter.de/en/range-of-products/bag-filter/>>. Acesso em: 30 jan. 2020.
- MAGRANI, E. **A internet das coisas**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.
- MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. 9ª. ed. São Paulo: Bookman Editora LTDA, 2013.

MARQUES, F. B. **Investigação de design de filtro manga através da técnica de cfd.**

Dissertação (Mestrado em Energia, área de concentração e Engenharia, Tecnologia e Gestão) - Centro universitário Norte do Espírito Santo na UFES. São Mateus. 2017.

MARSH. **2018 Communications, media, and technology risk study.** [S.l.]: Marsh & Mclennan companies, 2018. Disponível em:

<http://fcibglobal.com/pdf/marsh/Marsh_Communications-Media-Technology-Risk-Study.pdf>. Acesso em: 31 set. 2019.

MMTECH. Manutenção Preditiva e Indústria 4.0. **MMTECH: Inspeções Industriais**, 2018.

Disponível em: <<http://www.mmtec.com.br/manutencao-preditiva-e-industria-4-0/>>. Acesso em: 28 set. 2020.

MOKYR, J. Evolutionary biology, technological change and economic history. **Bulletin of Economic Research**, v. 43, n. 2, p. 127-149, abr. 1991. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8586.1991.tb00488.x>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

MOKYR, J. The Second Industrial Revolution, 1870-1914. **Storia dell'economia Mondiale**, p. 219-245, 1998. Disponível em: <https://en-econ.tau.ac.il/sites/economy_en.tau.ac.il/files/media_server/Economics/PDF/Mini%20courses/castronovo.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2019.

MORAIS, J. O que é ESP8266 – A Família ESP e o NodeMCU. **Vida de Silício**, 2018.

Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-esp8266-nodemcu/#comment-1763>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

MURTA, G. Guia completo do NodeMCU – ESP12 – Usando Arduino IDE (2). **Eletrogate**,

2012. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/nodemcu-esp12-usando-arduino-ide-2/>>. Acesso em: 3 out. 2019.

NOVICKÁ, A.; PAPCUN, P.; ZOLOTOVÁ, I. Mapping of machine faults using tools of World Class Manufacturing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLIED MACHINE INTELLIGENCE AND INFORMATICS (SAMI), 14, Herlany, IEEE. **Anais eletrônicos**, 2016.

OLIVEIRA, E. Base adaptador para o NodeMCU V3 da Lolin. **MasterWalker: Eletronic Shop**, 2018. Disponível em:

<<https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/nodemcu/base-adaptador-para-o-nodemcu-v3-da-lolin/>>. Acesso em: 03 mar. 2020.

OLIVEIRA, S. D. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=kdQnDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=node+MCU+esp8266&ots=zLAiAf58_M&sig=rxPxZapebEbgz4Lp33hthUAz714#v=onepage&q=node%20MCU%20esp8266&f=false>. Acesso em: 2 out. 2019.

PEREIRA, A. C. Indústria 4.0 Transforma Operações Fabris. **Abril Branded Content**, 2019.

PRODANOV, C. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173-178, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711630854X?via=ihub#bib>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

RAMPAZZO, L. **Metodologia Científica para alunos dos cursos de graduação**. 3ª. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2005.

REZENDE, D. A.; ABREU, A. F. D. **Tecnologia da Informação Aplicada a Sistemas de Informação Empresariais**. 9ª. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2013. 376 p.

ROBOCORE. Como programar o NodeMCU com Arduino IDE. **Robocore**, 2012. Disponível em: <<https://www.robocore.net/tutoriais/como-programar-nodemcu-arduino-ide.html>>. Acesso em: 3 out. 2019.

ROCHA, S. M. S. **Estudo da influência da velocidade e dos ciclos de filtração na formação da torta na limpeza de gases em Filtro de Mangas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - UFU. Uberlândia. 2010.

RODRIGUES, K. B. **Filtração de gases: Estudo da deposição de diferentes tortas de filtração em diferentes meios filtrantes**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - UFSCar. São Carlos. 2006.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999. 102 p.

RÜBMANN, M. et al. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. [S.l.]: BCG: The Boston Consulting Group, 2015. Disponível em:

<<https://www.zvw.de/media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf>>.

Acesso em: 05 dez. 2019.

SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da Teoria à Prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, Belo Horizonte, 2016.

SANTOS, P. R. **Avaliação da Demanda e Consumo de Energia Elétrica em Apartamentos Residenciais: O Caso da Cidade de Campinas-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2006.

SILVA, D. A. **Óxido de Chumbo: Matéria-Prima da Indústria de Bateria Chumbo-Ácido**. TCC (Graduação em Química) - Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis. Assis. 2010.

SILVA, D. D. S.; LIMA, E. V. O Planejamento e Controle da manutenção na indústria 4.0. in: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10, Ponta Grossa. **Anais eletrônicos**, 2019.

SILVEIRA, C. B. O Que é Indústria 4.0 e Como Ela Vai Impactar o Mundo. **Citisystems**, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 03 ago. 2019.

SOUZA, G. S. D.; SANTOS, A. R. D.; DIAS, V. B. **Metodologia da pesquisa científica: a construção do conhecimento e do pensamento científico no processo de aprendizagem**. Porto Alegre: Animal, 2013.

ULRICH, E. Genri, Gensoku, Genba, Genbutsu, Genjitsu. **LinkedIn**, 2016. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/genri-gensoku-genba-genbutsu-genjitsu-ednilson-ulrich>>.

Acesso em: 12 jan. 2020.

VENTEC. Manual Técnico de Instalação, Operação e Manutenção: Filtro de Mangas. **Ventec Ambiental**, 2010. Disponível em:

http://www.ventec.com.br/downloads/manuais_ventec/alt27-10-08/Manual_Filtro_de_Mangas.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2020.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 337 p.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. Towards future industrial opportunities and challenges. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY, 12, Zhangjiajie, IEEE. **Anais Eletrônicos**, Zhangjiajie, p. 2147-2152, 2015.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

```

#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#define CAYENNE_PRINT Serial
#include <CayenneMQTTESP8266.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
#include <DNSServer.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <WiFiManager.h>
#include <EEPROM.h>
#include <max6675.h>

int thermoDO = D4;
int thermoCS = D5;
int thermoCLK = D6;

unsigned int notified = 0; //notificação
unsigned int notified2 = 0;
void sendSensor();

BlynkTimer timer;
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

WiFiServer server(80); //Define o número da porta do servidor da web como 80
String header; // Variável para armazenar a solicitação HTTP

//Token de autenticação disponibilizado no projeto no aplicativo Blynk.
char auth[] = "*****";

//Informações de autenticação do Cayenne. Isso deve ser obtido no painel Cayenne.

char username[] = "*****";
char password[] = "*****";
char clientID[] = "*****";

void setup() {

  EEPROM.begin(512);
  Serial.begin(115200);
  WiFiManager wifiManager;
  wifiManager.resetSettings();
  wifiManager.autoConnect("FMG 34");
  Serial.println("connected...yeey :)");
  Blynk.begin(auth, WiFi.SSID().c_str(), WiFi.psk().c_str());
  timer.setInterval(1000L, sendSensor);
  Cayenne.begin(username, password, clientID, WiFi.SSID().c_str(), WiFi.psk().c_str());
}

```

```

void loop()    {

  WiFiClient client = server.available(); // Espera os clientes recebidos

  if (client) {           // Se um novo cliente se conectar,
    Serial.println("New Client."); // imprimir uma mensagem na porta serial
    String currentLine = "";      // Faça uma String para armazenar dados recebidos do
    cliente
    while (client.connected()) { // loop enquanto o cliente é conectado
      if (client.available()) { // se houver bytes para ler do cliente
        char c = client.read(); // leia um byte e depois
        Serial.write(c);        // Imprima "c" no monitor serial
        header += c;
        if (c == '\n') {
          if (currentLine.length() == 0) {
            client.println("HTTP/1.1 200 OK");
            client.println("Content-type:text/html");
            client.println("Connection: close");
            client.println();
          }
        }
      }
    }
  }
  Cayenne.loop();
  timer.run();
  Blynk.run();
}

//Função padrão para enviar dados do sensor em intervalos para Cayenne.
CAYENNE_OUT_DEFAULT(){

  // Envia o tempo de atividade atual em milissegundos no canal virtual 0
  Cayenne.virtualWrite(0, millis());

  // Envia o os dados de temperatura em °C no canal virtual 1
  Cayenne.celsiusWrite(1, thermocouple.readCelsius());
}

void resetNotified()    {
  notified = 0;
}

void resetNotified2()  {
  notified2 = 0;
}

```


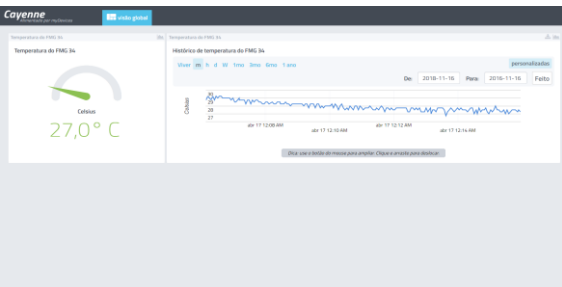
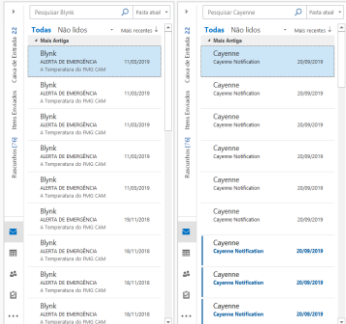
```
void sendSensor()    {

    float readTemp = thermocouple.readCelsius(); //Lê a temperatura do termopar
    Blynk.virtualWrite(V5, readTemp); // grava os valores no pino virtual V5

    if (readTemp >= 135 && notified == 0)    {
        notified = 1;
        //Envia um e-mail com o alerta de temperatura acima de 135°C
        Blynk.email("inserir aqui o endereço de email", "ALERTA DE EMERGÊNCIA", " A
        Temperatura do FMG 34 ultrapassou 135°C");
        timer.setTimeout(180000, resetNotified); // 3 min entre emails
    }

    if (readTemp >= 135 && notified2 == 0) {
        notified2 = 2;
        //Envia um e-mail com o alerta de temperatura acima de 135°C
        Blynk.notify("ALERTA DE EMERGÊNCIA - A Temperatura do FMG 34 ESTÁ ACIMA DE
        135°C");
        timer.setTimeout(25000, resetNotified2); // 25 segundos entre notificações
    }
}
```


APÊNDICE B – PADRONIZAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

INSTRUÇÃO PARA O USO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DO FMG 34			
TEMA:	ACESSO AO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DO FMG 34		
OBJETIVO:	ENSINAR O PASSO-A-PASSO PARA TER ACESSO AO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DO FMG 34		
TIPO:	CONHECIMENTOBÁSICO	EQUIPAMENTO	FMG 34
MONITORAMENTO VIA SMARTPHONE E TABLET			
<p>1. Baixe o aplicativo Blynk:</p> <p>Com o seu Smartphone ou tablet vá até a sua loja virtual (App Store ou Google Play) e baixe o aplicativo Blynk</p>		<p>2. Digitalize o QR CODE</p> <p>Após baixado o aplicativo, click em scan QR code, conforme mostrado na figura ao lado e faça o scaneamento do QR code fornecido. OBS.: O QR CODE será enviado por e-mail.</p>	
<p>3. Acesse o aplicativo</p> <p>Ao lado é mostrado a tela básica do aplicativo, onde é possível monitorar a temperatura em tempo real e visualizar o histórico de temperatura.</p>			
MONITORAMENTO PELO PC (WEB)			
		<p>4. Acesse a plataforma de monitoramento no seu PC!!!</p> <p>O monitoramento de temperatura também poderá ser realizado através de uma página WEB, através de um link onde será fornecido por email.</p> <p>DICA: Crie um atalho na sua área de trabalho</p>	
Fique atento!!!			
		<p>5. Alertas de temperatura elevada!!!</p> <p>Caso a temperatura do FMG 34 ultrapasse 120 °C o aplicativo enviará um alerta para seu Smartphone e e-mail. Caso isso aconteça, acione imediatamente a manutenção para verificar o problema.</p>	