



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE
E AUTOMAÇÃO - CECAU**



VITOR MATOS SOARES

***BUSINESS INTELLIGENCE* APLICADO A MANUTENÇÃO DE
EQUIPAMENTOS MÓVEIS**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2023

VITOR MATOS SOARES

***BUSINESS INTELLIGENCE* APLICADO A MANUTENÇÃO DE
EQUIPAMENTOS MÓVEIS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Adrielle de Carvalho Santana, Dra.

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
2023**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Vitor Matos Soares

Business Intelligence Aplicado à Manutenção de Equipamentos Móveis

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 31 de agosto de 2023

Membros da banca

Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora (DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr. Washington Luís Vieira da Silva- Examinador (DEMEC - Universidade Federal de Ouro Preto)

Eng. Letícia Fernanda de Lima Fernandes - Examinadora (VALE S.A.)

Adrielle de Carvalho Santana, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Adrielle de Carvalho Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/09/2023, às 16:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0578104** e o código CRC **81D7B35F**.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.” (Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho introduz uma abordagem para aprimorar a gestão de manutenção de equipamentos móveis por meio da análise de dados e ferramentas analíticas. Frente à limitação de uma visão abrangente do processo de manutenção, torna-se desafiador identificar com precisão os principais elementos causadores de problemas. Em um cenário de mineração de grande porte, foram desenvolvidos e implementados painéis por meio de ferramentas de *Business Intelligence*, nesse caso, o software Microsoft Power BI, criando três ferramentas de priorização cruciais: Painel de Indicadores de Desempenho, Painel do Perfil de Perdas e Painel do Diagrama Jack-Knife. Essas ferramentas fornecem uma visão abrangente das operações de manutenção, permitindo uma identificação precisa de áreas prioritárias para intervenção e melhorias. Por meio de uma análise detalhada de um ativo da família de transportes, este estudo ilustra a aplicação conjunta das ferramentas desenvolvidas. Os resultados revelam uma compreensão profunda das tendências de disponibilidade física, análise de falhas, tempo médio entre falhas e tempo médio de reparo ao longo do ano de 2022. A análise demonstra uma melhoria significativa desses indicadores no ativo analisado, resultado direto do direcionamento adequado dos recursos de manutenção a partir das análises de Perfil de Perdas e Diagrama Jack-Knife. Essa análise ressalta a importância da sinergia entre conhecimento técnico especializado e capacidades analíticas avançadas para aprimorar a eficiência e a confiabilidade das operações de manutenção. O trabalho conclui destacando o potencial transformador da análise de dados na gestão da manutenção, impulsionando a busca por uma abordagem mais eficiente e confiável. Este estudo também abre portas para pesquisas futuras, incluindo a exploração de técnicas avançadas e a expansão das ferramentas para diferentes famílias de ativos, bem como sua integração com sistemas de gestão de manutenção já existentes em uma empresa.

Palavras-chaves: Gestão de Manutenção, Equipamentos Móveis, Análise de Dados, Power BI, Priorização, Eficiência Operacional, Confiabilidade, Indústria de Mineração.

ABSTRACT

This paper introduces an approach to enhance the management of mobile equipment maintenance through data analysis and analytical tools. Faced with the limitation of a comprehensive view of the maintenance process, accurately identifying the primary causes of problems becomes challenging. In a large-scale mining scenario, panels were developed and implemented using Business Intelligence tools, in this case, Microsoft Power BI software, creating three crucial prioritization tools: Performance Indicator Panel, Loss Profile Panel, and Jack-Knife Diagram Panel. These tools provide a comprehensive view of maintenance operations, enabling precise identification of priority areas for intervention and improvement. Through a detailed analysis of a transportation asset, this study illustrates the combined application of the developed tools. The results reveal a deep understanding of physical availability trends, failure analysis, average time between failures, and average repair time throughout the year 2022. The analysis demonstrates a significant improvement in these indicators in the analyzed asset, a direct result of the proper allocation of maintenance resources based on Loss Profile and Jack-Knife Diagram analyses. This analysis highlights the importance of synergy between specialized technical knowledge and advanced analytical capabilities to enhance the efficiency and reliability of maintenance operations. The paper concludes by emphasizing the transformative potential of data analysis in maintenance management, driving the pursuit of a more efficient and reliable approach. This study also opens doors to future research, including the exploration of advanced techniques and the expansion of tools for different asset families, as well as their integration with existing maintenance management systems.

Key-words: Maintenance Management, Mobile Equipment, Data Analysis, Power BI, Prioritization, Operational Efficiency, Reliability, Mining Industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação de modos de falha em elementos mecânicos	17
Figura 2 – Classificação dos tipos de manutenção	18
Figura 3 – Macroprocesso do Planejamento e Controle da Manutenção	19
Figura 4 – Estratificação das horas	22
Figura 5 – Perfil de Perdas	26
Figura 6 – Diagrama Jack-Knife	27
Figura 7 – Diagrama de Ferramentas de <i>Business Intelligence</i>	29
Figura 8 – Interface de usuário do Microsoft Power BI Desktop	30
Figura 9 – Fluxo de processo do Microsoft Power BI	31
Figura 10 – Fluxo de desenvolvimento do trabalho.	34
Figura 11 – Ambiente do Microsoft Excel utilizado como fonte de dados.	37
Figura 12 – Página inicial do Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina.	37
Figura 13 – Ferramenta "Obter Dados" do Microsoft Power BI.	39
Figura 14 – Ferramenta de importação de dados de Pasta de Trabalho Excel do Microsoft Power BI.	39
Figura 15 – Ferramenta de tratamento de dados do Microsoft Power BI.	40
Figura 16 – Ferramenta de importação de dados SQL Server para o Microsoft Power BI.	40
Figura 17 – Ferramenta de tratamento de dados por Linguagem M do Microsoft Power BI.	41
Figura 18 – Relacionamento entre tabelas no Microsoft Power BI.	42
Figura 19 – Editor de relacionamento entre tabelas no Microsoft Power BI.	43
Figura 20 – Indicador de Disponibilidade Física no Power BI.	44
Figura 21 – Indicador de Tempo Médio Entre Falhas no Power BI.	44
Figura 22 – Indicador de Tempo Médio De Reparo no Power BI.	45
Figura 23 – Cálculo de Horas de Manutenção Corretiva no Power BI.	45
Figura 24 – Cálculo do Número de Falhas no Power BI.	46
Figura 25 – Cálculo da função <i>RANKX</i> no Power BI.	46
Figura 26 – Cálculo da porcentagem acumulada no Power BI.	47
Figura 27 – Cálculo da função <i>FORMAT</i> no Power BI.	47
Figura 28 – Gráfico de Pareto por Horas de Manutenção Corretiva.	47
Figura 29 – Gráfico de Pareto por Número de Falhas.	48
Figura 30 – Limite <i>n</i> no Gráfico de Dispersão	48
Figura 31 – Limite MTTR no Gráfico de Dispersão	49
Figura 32 – Diagrama Jack-Knife	50
Figura 33 – Painel de Indicadores de Desempenho (parte 1/4).	52
Figura 34 – Painel de Indicadores de Desempenho (parte 2/4).	52
Figura 35 – Painel de Indicadores de Desempenho (parte 3/4).	53

Figura 36 – Painel de Indicadores de Desempenho (parte 4/4).	54
Figura 37 – Painel do Perfil de Perdas (Parte 1/5).	55
Figura 38 – Painel do Perfil de Perdas (Parte 2/5).	55
Figura 39 – Painel do Perfil de Perdas (Parte 3/5).	56
Figura 40 – Painel do Perfil de Perdas (Parte 4/5).	56
Figura 41 – Painel do Perfil de Perdas (Parte 5/5).	57
Figura 42 – Painel Diagrama Jack-Knife (Parte 1/2).	58
Figura 43 – Painel Diagrama Jack-Knife (Parte 2/2).	59
Figura 44 – Perfil de Perdas por Família.	60
Figura 45 – Disponibilidade Física da família de transporte.	60
Figura 46 – Perfil de perdas por frota de ativos.	60
Figura 47 – Disponibilidade física da frota 789D.	61
Figura 48 – Perfil de perdas do ativo CA66540.	61
Figura 49 – MTBF e MTTR do CA66540.	62
Figura 50 – Diagrama Jack-Knife do CA66540.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equipamentos Móveis por Família.	35
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DF	Disponibilidade Física
DAX	Data Analysis Expressions
HC	Horas Calendário
HM	Horas Manutenção
HMC	Horas Manutenção Corretiva
HMP	Horas Manutenção Preventiva
HT	Horas Trabalhadas
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	Tempo Médio de Reparo
NBR	Normas Brasileiras
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contextualização	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	<i>Objetivos Geral</i>	12
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	12
1.3	Justificativa do trabalho	13
1.4	Estrutura do trabalho	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Manutenção	15
2.1.1	<i>Falha</i>	16
2.1.2	<i>Classificação dos Tipos de Manutenção</i>	17
2.1.3	<i>Planejamento e Controle da Manutenção</i>	19
2.1.4	<i>Confiabilidade Operacional</i>	20
2.2	Processos de Controle da Manutenção e Confiabilidade	21
2.2.1	<i>Categoria de Horas</i>	21
2.2.2	<i>Indicadores Chaves de Desempenho da Manutenção e Confiabilidade</i>	22
2.2.3	<i>Disponibilidade Física</i>	23
2.2.4	<i>Tempo Médio Entre Falhas</i>	23
2.2.5	<i>Tempo Médio de Reparo</i>	24
2.3	Metodologias e Priorização de Falhas	24
2.3.1	<i>Perfil de Perdas</i>	25
2.3.2	<i>Diagrama Jack-Knife</i>	27
2.4	<i>Business Intelligence</i>	28
2.4.1	<i>Ferramentas de Business Intelligence</i>	28
2.4.2	<i>Microsoft Power BI</i>	30
2.4.3	<i>Linguagens M e DAX</i>	32
3	DESENVOLVIMENTO	33
3.1	Metodologia	33
3.2	Caracterização da Área de Estudo	34
3.2.1	<i>Perfuratrizes</i>	35
3.2.2	<i>Carregadeiras</i>	35
3.2.3	<i>Escavadeiras</i>	35
3.2.4	<i>Caminhões Fora-de-Estrada</i>	35
3.2.5	<i>Motoniveladoras</i>	36

3.2.6	<i>Tratores de Esteira</i>	36
3.3	Fonte de Dados e Armazenamento	36
3.3.1	<i>Sistema 1: Excel como Fonte de Dados</i>	36
3.3.2	<i>Sistema 2: Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina</i>	36
3.4	Extração, Transformação e Carregamento de Dados	38
3.5	Conexão e Relacionamento entre Tabelas	41
3.6	Construção dos Principais Indicadores	43
3.6.1	<i>Disponibilidade Física</i>	43
3.6.2	<i>Tempo Médio Entre Falhas</i>	44
3.6.3	<i>Tempo Médio de Reparo</i>	44
3.7	Elaboração do Perfil de Perdas	45
3.8	Elaboração do Diagrama Jack-knife	48
4	RESULTADOS	51
4.1	Painel de Indicadores de <i>Desempenho</i>	51
4.2	Painel do Perfil de Perdas	54
4.3	Painel do Diagrama Jack-Knife	57
4.4	Análise de Perdas Para Caminhão Fora-de-Estrada	59
5	CONCLUSÃO	64
5.1	Trabalhos Futuros	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A gestão eficiente da manutenção de equipamentos móveis desempenha um papel fundamental na garantia do funcionamento contínuo e produtivo desses ativos. Para alcançar esse objetivo, é crucial contar com tomadas de decisões embasadas e um monitoramento assertivo dos indicadores. Nesse contexto, o uso de ferramentas analíticas tem se mostrado eficaz na priorização de falhas e otimização dos recursos de manutenção.

Indicadores de desempenho, como a Disponibilidade de Frota (DF), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e o Tempo Médio para Reparo (MTTR), fornecem *insights* valiosos sobre o desempenho dos equipamentos móveis. A análise desses indicadores permite identificar tendências, avaliar a efetividade das estratégias de manutenção e direcionar as ações de melhoria de forma mais precisa.

Uma gestão adequada das falhas é essencial para garantir o fluxo produtivo dos equipamentos móveis. Nesse sentido, o perfil de perdas, por meio do diagrama de Pareto, auxilia na identificação das falhas mais significativas, levando em consideração seu impacto no tempo de inatividade e no número de intervenções realizadas. Com base nessa análise, é possível direcionar os recursos e esforços de manutenção de forma estratégica, priorizando as intervenções nas áreas críticas.

Além disso, o diagrama Jack-Knife estabelece uma correlação entre o MTTR e o número de falhas, fornecendo uma visão abrangente das falhas crônicas, agudas e críticas. A combinação dessa abordagem com o perfil de perdas permite identificar as falhas que têm maior impacto na disponibilidade física, direcionando os esforços de manutenção de forma mais precisa.

Nesse contexto, o *Business Intelligence* (BI) surge como uma ferramenta poderosa para a gestão da manutenção de equipamentos móveis. De acordo com Hwang *et al.* (2019) :

"O BI permite a análise e a visualização de dados em tempo real, fornecendo *insights* valiosos para a tomada de decisões estratégicas. Ele permite que as empresas identifiquem padrões, tendências e áreas de melhoria na gestão da manutenção, otimizando o uso dos recursos e reduzindo os custos operacionais".

Diante da importância estratégica da gestão da manutenção de equipamentos móveis, o presente trabalho tem como objetivo explorar o uso do *Business Intelligence* (BI) e das ferramentas analíticas mencionadas. Busca-se, assim, melhorar a eficiência operacional e o desempenho dos equipamentos, reduzindo o tempo de inatividade e otimizando os recursos de manutenção.

No entanto, é importante mencionar que, apesar das vantagens oferecidas pelo uso do *Business Intelligence* (BI) na gestão da manutenção de equipamentos móveis, sua implementação bem-sucedida requer a integração de dados precisos, confiáveis e atualizados, além do desenvolvimento de competências analíticas por parte dos profissionais envolvidos. Ao considerar esses aspectos, as organizações estarão mais preparadas para enfrentar os desafios da era da informação e aproveitar os benefícios que a análise de dados pode trazer para a gestão da manutenção.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a aplicação do *Business Intelligence* (BI) na gestão da manutenção de equipamentos móveis, investigar a influência do perfil de perdas e do diagrama Jack-Knife na priorização de falhas em equipamentos móveis, e explorar a utilização do BI dentro do contexto da manutenção e no desempenho dos ativos móveis.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar os objetivos traçados por esse estudo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as principais funcionalidades e vantagens do *Business Intelligence* (BI) aplicado à gestão da manutenção de equipamentos móveis, compreendendo como essa tecnologia pode agregar valor à tomada de decisão nesse contexto específico;
- Investigar a metodologia e aplicação do perfil de perdas e do diagrama Jack-Knife na identificação e priorização de falhas em equipamentos móveis, aprofundando-se em suas técnicas e conceitos para uma análise aprofundada dos resultados obtidos;
- Avaliar o desempenho operacional dos equipamentos móveis após a implementação de ferramentas analíticas, comparando indicadores como o tempo de inatividade, disponibilidade operacional e produtividade, com o intuito de mensurar os benefícios e melhorias proporcionados pelo uso dessas ferramentas.

Esses objetivos visam fornecer uma base sólida para a pesquisa, permitindo uma análise abrangente e aprofundada dos benefícios do *Business Intelligence* e das ferramentas analíticas na gestão da manutenção de equipamentos móveis. A partir desses objetivos, espera-se contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e eficazes na manutenção desses ativos, proporcionando ganhos significativos em termos de disponibilidade, produtividade e custo operacional.

1.3 Justificativa do trabalho

A crescente competitividade e as constantes mudanças no cenário econômico têm impulsionado as empresas a buscarem a otimização de processos e a redução de custos, sem comprometer a qualidade dos produtos e processos. Nesse contexto, a gestão eficiente da manutenção de equipamentos móveis desempenha um papel estratégico para garantir o funcionamento contínuo e produtivo desses ativos, que são fundamentais para o início do processo de produção.

A tomada de decisões embasadas e o monitoramento assertivo dos indicadores são cruciais para a manutenção adequada dos equipamentos móveis. A análise dos indicadores de desempenho, como a Disponibilidade de Frota (DF), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e o Tempo Médio para Reparo (MTTR), fornece insights valiosos sobre o desempenho dos ativos, permitindo identificar tendências e avaliar a efetividade das estratégias de manutenção.

Para aprimorar ainda mais a gestão da manutenção, ferramentas analíticas têm se destacado, como o perfil de perdas e o diagrama Jack-Knife. O perfil de perdas, baseado no princípio de Pareto, identifica as falhas mais significativas que contribuem para o tempo de inatividade e o número de intervenções realizadas. Já o diagrama Jack-Knife proporciona uma visão abrangente das falhas crônicas, agudas e críticas, correlacionando o MTTR com o número de falhas, aprimorando a priorização das ações de manutenção.

Nesse contexto, o *Business Intelligence* (BI) surge como uma ferramenta poderosa para a gestão da manutenção de equipamentos móveis. Através do BI, é possível analisar e visualizar dados em tempo real, fornecendo insights valiosos para a tomada de decisões estratégicas. A capacidade de identificar padrões, tendências e áreas de melhoria na gestão da manutenção permite otimizar o uso dos recursos e reduzir os custos operacionais.

O presente trabalho tem como objetivo explorar o uso do *Business Intelligence* (BI) e das ferramentas analíticas mencionadas na gestão da manutenção de equipamentos móveis. Busca-se, assim, melhorar a eficiência operacional e o desempenho desses ativos, reduzindo o tempo de inatividade e otimizando os recursos de manutenção. Com a implementação bem-sucedida dessas ferramentas, espera-se assegurar o fluxo produtivo dos equipamentos móveis e potencializar a disponibilidade operacional.

Diante dos benefícios que o *Business Intelligence* (BI) e as ferramentas analíticas podem proporcionar na gestão da manutenção de equipamentos móveis, é fundamental mencionar que a implementação dessas soluções requer a integração de dados precisos, confiáveis e atualizados, além do desenvolvimento de competências analíticas por parte dos profissionais envolvidos. A combinação eficiente desses elementos permitirá que as organizações enfrentem os desafios da era da informação e obtenham os melhores resultados na gestão da manutenção de seus ativos móveis.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em 5 capítulos, que abordam os seguintes temas:

Capítulo 1 - Introdução: Neste capítulo, é apresentado o contexto e a problemática da gestão da manutenção de equipamentos móveis. Além disso, são expostos os objetivos gerais e específicos deste estudo, bem como a justificativa para a sua realização.

Capítulo 2 - Revisão de Literatura: O segundo capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre a gestão da manutenção de equipamentos móveis e o uso de *Business Intelligence* (BI) e ferramentas analíticas nesse contexto. São abordados conceitos teóricos relevantes, estudos anteriores e pesquisas relacionadas ao tema.

Capítulo 3 - Metodologia: Neste capítulo, são descritos os procedimentos metodológicos adotados para a realização deste estudo. Serão apresentados detalhes sobre a construção dos painéis de *Business Intelligence* (BI) utilizados na gestão da manutenção, relacionando-os aos indicadores de desempenho, perfil de perdas e diagrama Jack-Knife. A metodologia empregada para a coleta e análise dos dados será detalhada, bem como a forma como os resultados foram interpretados e discutidos. Além disso, será apresentado o processo de seleção das fontes de dados relevantes e a forma como os painéis foram estruturados para proporcionar uma visão abrangente e integrada das informações relacionadas à manutenção de equipamentos móveis.

Capítulo 4 - Resultados e Discussão: O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados. Em seguida, são discutidas as principais conclusões e os *insights* derivados desses resultados, relacionando-os aos objetivos propostos.

Capítulo 5 - Conclusão: Neste último capítulo, são sumarizados os principais achados do estudo e as contribuições para a gestão da manutenção de equipamentos móveis. São feitas considerações finais e recomendações para futuras pesquisas na área.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são abordados os elementos conceituais relacionados ao tema de *Business Intelligence* aplicada à manutenção de equipamentos móveis em uma mineradora de grande porte. É apresentada uma fundamentação teórica e científica sólida, buscando respaldar a pesquisa e os procedimentos metodológicos adotados.

são abordados os conceitos de *Business Intelligence*, suas ferramentas e funcionalidades, bem como sua importância para a gestão de indicadores de manutenção. Também são apresentados os principais indicadores de manutenção, tais como disponibilidade física, tempo médio entre falhas e tempo médio de reparo, e a importância de sua análise para a efetividade do processo de manutenção.

são discutidos os diferentes tipos de manutenção, desde a manutenção corretiva até a manutenção preditiva, com ênfase nas vantagens e desvantagens de cada abordagem. Além disso, são explorados os conceitos de confiabilidade e suas ferramentas de qualidade - perfil de perdas e diagrama Jack-Knife, e como eles estão relacionados à manutenção.

Por fim, é abordado o Power BI, uma das principais ferramentas de *Business Intelligence* disponíveis atualmente, bem como suas funcionalidades e principais recursos, tais como o Power Query, a linguagem DAX e a linguagem M. Também são apresentados os principais meios de obtenção de dados no Power BI e como utilizá-los para análise de indicadores de manutenção.

Ao final desta revisão de literatura, espera-se que o leitor esteja apto a compreender a importância da análise de indicadores de manutenção, bem como as ferramentas disponíveis para realizá-la, tendo como foco principal a aplicação do *Business Intelligence* por meio do Power BI na gestão dos indicadores de manutenção em equipamentos móveis voltado para o minério de ferro.

2.1 Manutenção

A manutenção é uma atividade essencial em diversos setores da indústria, permitindo a preservação dos equipamentos e máquinas em condições adequadas de funcionamento. Segundo a norma NBR 5462 (ABNT, 1994), manutenção é definida como "o conjunto de ações que visam manter ou restabelecer um equipamento ou instalação em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida". Por meio dessas definições, Xenos conclui que "as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso" (XENOS, 1998).

A história da manutenção tem evoluído ao longo dos anos, atravessando três estágios fundamentais. Inicialmente, a manutenção corretiva, uma abordagem reativa, prevalecia, fre-

quentemente levando a paradas não planejadas e indesejáveis. Posteriormente, a manutenção preventiva emergiu como uma estratégia mais proativa, programando tarefas regulares para evitar falhas. No entanto, o paradigma final e mais avançado é a manutenção preditiva, que se baseia em dados em tempo real para prever e evitar falhas, resultando em economia de custos significativa e uma notável melhoria na eficiência operacional (SMITH, 2011).

A importância da manutenção se dá pela garantia da segurança, redução de custos e aumento da produtividade, além da prevenção de acidentes e danos ambientais. É fundamental que sejam adotados programas de manutenção adequados, de acordo com as necessidades específicas de cada equipamento, levando em conta sua complexidade, a criticidade do processo em que é utilizado e as características do ambiente em que está inserido (PALMER, 2003).

No contexto da manutenção de equipamentos móveis, como os caminhões fora-de-estrada utilizados na mineração, a aplicação de programas de manutenção adequados é ainda mais crucial, dada a alta criticidade desses equipamentos e o impacto financeiro e operacional causado por falhas ou paradas inesperadas.

2.1.1 Falha

Com base na norma brasileira NBR 5462 (ABNT, 1994), falha é definida como "a ocorrência ou o desenvolvimento não intencional de uma ou mais falhas nos equipamentos que possam levar à sua redução do desempenho ou a uma condição de inoperância".

A norma NBR 5462 define ainda que a falha pode ser classificada em três tipos: falha funcional, falha por desgaste e falha catastrófica. A falha funcional é caracterizada pela perda da função do equipamento, mas sem a ocorrência de danos permanentes. Já a falha por desgaste é causada pelo desgaste natural dos componentes do equipamento, que pode levar a uma redução gradual de sua capacidade operacional. Por fim, a falha catastrófica é caracterizada pela ocorrência de danos permanentes no equipamento, que inviabilizam sua operação e podem levar a danos materiais ou humanos (ABNT, 1994). A Figura 1 apresenta um exemplo de uma árvore de falha em elementos mecânicos.

De acordo com a pesquisa realizada por Tang e Li (TANG; LI, 2016), as falhas em equipamentos de mineração podem ser causadas por diversos fatores, tais como desgaste, fadiga, corrosão, erros humanos, entre outros. As falhas na manutenção de equipamentos móveis é um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas de mineração de grande porte. Estes equipamentos são essenciais para as operações diárias e, quando há uma falha, isso pode resultar em interrupções no funcionamento, aumento dos custos, diminuição da eficiência e, em casos graves, em danos ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores. Dito isso, a identificação e classificação das falhas é fundamental para a definição de ações de manutenção corretiva e preventiva nos seus ativos, além do monitoramento preditivo do comportamento dos conjuntos mecânicos dos equipamentos.

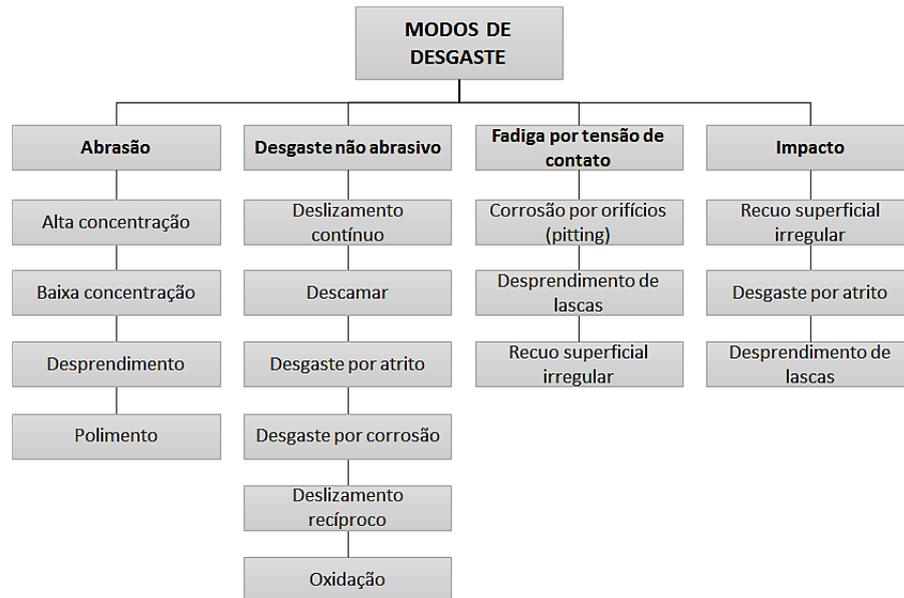


Figura 1 – Árvore de modos de falhas em elementos mecânicos. Fonte: (ABRAMAN, 2005)

2.1.2 Classificação dos Tipos de Manutenção

A manutenção é uma atividade fundamental para garantir a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos em uma organização. Para aprimorar a eficiência da manutenção, é necessário classificá-la adequadamente. Existem três tipos principais de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva. Conforme o Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (TROJAN; MARÇAL; BARAN, 2013), a Figura 2 apresenta um conceito abrangente sobre a classificação dos tipos de manutenção aplicados nos setores industriais, atendendo as expectativas de confiabilidade e manutenibilidade características da quarta geração da manutenção segundo a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN, 2005).

A manutenção corretiva é aquela que é realizada após a ocorrência de uma falha no equipamento. Ela tem como objetivo restaurar o equipamento ao seu estado original de funcionamento. A manutenção corretiva pode ser dividida em dois tipos: manutenção corretiva não programada ou emergencial e manutenção corretiva programada. A primeira é realizada após a ocorrência de uma falha inesperada, enquanto a segunda é realizada após a identificação de uma falha, mas em um momento programado, de forma a minimizar o impacto no processo produtivo.

A manutenção preventiva, por sua vez, é aquela que é realizada antes da ocorrência de uma falha no equipamento. Ela tem como objetivo evitar ou minimizar as falhas e os defeitos ou queda no desempenho no equipamento, com uma estratégia de manutenção previamente elaborada, baseado em intervalos de tempo (KARDEC; NASCIF, 2009). De acordo com a norma NBR 5462 (ABNT, 1994), a manutenção preventiva pode ser dividida em três tipos: manutenção preventiva sistemática, manutenção preventiva por condição e manutenção preventiva por oportunidade. A primeira é realizada de forma sistemática, com base em intervalos de tempo predeterminados. A segunda é realizada com base na condição do equipamento, como a medição de um determinado



Figura 2 – Classificação dos tipos de manutenção. Fonte: (ABRAMAN, 2005)

parâmetro. Já a terceira é realizada quando há uma oportunidade, como durante uma parada programada.

Por fim, a manutenção preditiva é aquela que se baseia em monitoramentos e inspeções frequentes para identificar possíveis falhas no equipamento. Ela tem como objetivo antecipar a ocorrência de falhas, permitindo a realização de reparos antes que elas ocorram. A manutenção preditiva em equipamentos móveis de mineração envolve a utilização de técnicas como análise de vibração, termografia, análise de óleo, inspeção visual, entre outras. Essas técnicas permitem identificar e monitorar o desgaste dos componentes dos equipamentos, detectar possíveis problemas e planejar intervenções de manutenção antes que ocorram falhas graves (LOPES C.; CUNHA, 2018). A manutenção preditiva é considerada uma abordagem mais avançada em relação as outras manutenções. A manutenção preditiva é uma estratégia essencial para prevenir falhas em equipamentos móveis de mineração e garantir a segurança e eficiência dos processos produtivos. As empresas que adotam essa abordagem são capazes de reduzir os custos de manutenção e aumentar a disponibilidade dos equipamentos, melhorando assim a produtividade e a rentabilidade do negócio.

Em síntese, é importante destacar que a escolha da estratégia de manutenção adequada pode impactar diretamente na eficiência e segurança dos processos produtivos de uma empresa de mineração. Para garantir que os equipamentos estejam sempre em bom estado de funcionamento, é fundamental identificar e gerenciar as falhas de forma eficiente (RODRIGUES et al., 2017). Por isso é importante entender o comportamento dos ativos relacionados com os custos da intervenção dentro do impacto operacional para escolher qual a melhor estratégia de manutenção, seja a substituição do componente de forma corretiva, aqui lembra-se a expressão "rodar até quebrar",

ou a substituição programada (manutenção preventiva) do componente que irá eventualmente falhar. Além disso, é essencial adotar técnicas avançadas de manutenção, como a manutenção preditiva, para prevenir possíveis falhas e garantir a disponibilidade dos equipamentos. Com a escolha da estratégia de manutenção correta, é possível reduzir custos, aumentar a produtividade e a rentabilidade do negócio.

2.1.3 Planejamento e Controle da Manutenção

Hebert Viana, autor de 'PCM: Planejamento e Controle de Manutenção' (VIANA, 2002), enfatiza a importância do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) como um processo fundamental para o gerenciamento eficaz dos equipamentos em uma empresa. O PCM abrange várias etapas, incluindo a identificação das necessidades de manutenção, o planejamento das atividades, a execução dos serviços e o monitoramento dos resultados. De acordo com a norma NBR 5462, o PCM é definido como 'o conjunto de atividades que permite garantir a operacionalidade dos equipamentos e instalações, por meio da aplicação de métodos, recursos e técnicas de gestão da manutenção'. Em outras palavras, o PCM desempenha um papel crucial ao assegurar que os equipamentos estejam em boas condições de funcionamento, maximizando sua disponibilidade e estendendo sua vida útil. A Figura 3 representa o macroprocesso do PCM.

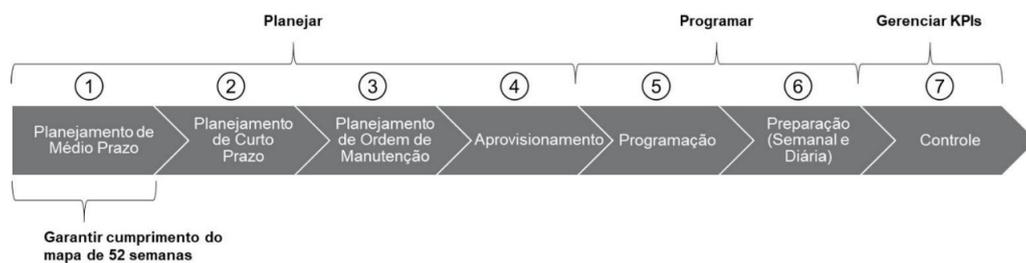


Figura 3 – Macroprocesso de uma aplicação de um Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) considerando as etapas de planejamento, programação e gerenciamento dos indicadores. Fonte: (Pesquisa direta, 2023)

Alan Kardec, em seu livro "Manutenção: Função Estratégica" (KARDEC, 1998), destaca a importância da manutenção preventiva para o sucesso das operações de uma empresa. Segundo o autor, o PCM é composto por diversas etapas, como a identificação das necessidades de manutenção, o planejamento das atividades, a execução dos serviços e o monitoramento dos resultados. Por meio dessas etapas, é possível garantir a eficiência do processo de manutenção, minimizar o tempo de parada dos equipamentos e reduzir os custos operacionais.

O PCM é uma ferramenta importante para a tomada de decisões estratégicas em uma empresa. Ao monitorar e avaliar o desempenho dos equipamentos, é possível identificar possíveis melhorias e definir prioridades para as atividades de manutenção. Isso permite que as empresas reduzam os riscos de paradas não programadas, aumentem a disponibilidade dos equipamentos e melhorem a eficiência dos processos produtivos. Além disso, o Planejamento e Controle da

Manutenção está diretamente relacionado aos indicadores chave de desempenho da manutenção, como Disponibilidade Física (DF), Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e Tempo Médio para Reparo (MTTR). Por meio do PCM, é possível monitorar e avaliar o desempenho dos equipamentos em relação a esses indicadores identificando os principais ofensores dentro do processo analisado.

A importância do PCM na indústria de mineração é ainda mais crucial, devido às características específicas desse setor, como o ambiente hostil e as operações em larga escala. Segundo o relatório do Global Mining Guidelines Group (GMG) sobre PCM na mineração ([Global Mining Guidelines Group, 2019](#)), "a manutenção é fundamental para o sucesso das operações de mineração, pois impacta diretamente a produtividade, a segurança e o custo operacional". O relatório destaca ainda a importância da integração entre as áreas de operação e manutenção, e a adoção de tecnologias avançadas de monitoramento e gestão.

A existência de um PCM resulta em redução de custos, aumento da disponibilidade dos equipamentos, melhorias na eficiência dos processos produtivos e redução dos riscos de paradas não programadas. Na indústria de mineração, em especial, a importância do PCM é ainda maior, devido às características específicas desse setor. A adoção de tecnologias avançadas de monitoramento e gestão, juntamente com a integração entre as áreas de operação e manutenção, é fundamental para o sucesso das operações de mineração.

2.1.4 Confiabilidade Operacional

A confiabilidade é um aspecto crucial na operação de uma indústria, definida como a capacidade de um equipamento, sistema ou processo de desempenhar suas funções de forma consistente e sem interrupções em condições normais de operação, durante um determinado período de tempo ([WESSNER, 2017](#)). É um conceito fundamental na manutenção e engenharia, pois permite avaliar a capacidade de um sistema de desempenhar suas funções de forma contínua e previsível, minimizando o risco de falhas que possam levar a perdas significativas de produção, aumento de custos e até mesmo riscos à segurança ([SHAHRIARI; MAHMOODI; MOHAGHEGHIAN, 2017](#)).

Para melhorar a confiabilidade de um sistema, é necessário desenvolver estratégias e técnicas para avaliar e melhorar sua confiabilidade. Alguns dos indicadores mais comuns para medir a confiabilidade incluem a disponibilidade física de um equipamento ou sistema, que é definida como a proporção do tempo que um equipamento está disponível para operação em relação ao tempo total, o tempo médio entre falhas (MTBF), que é o tempo médio em que um equipamento ou sistema opera sem falhas, e o tempo médio para reparo (MTTR), que é o tempo médio necessário para realizar a manutenção ou reparo de um equipamento ou sistema ([MODARRES; KAMINSKIY; KRIVTSOV, 2016](#)). Esses indicadores são mais detalhados adiante.

Além disso, é importante identificar pontos críticos de falha, definir estratégias de

manutenção preventiva e preditiva, treinar pessoal e adotar tecnologias avançadas, como o uso de sensores e análise de dados, para melhorar a confiabilidade de um sistema .

A aplicação da confiabilidade pode ser encontrada em diversos setores da indústria, como petróleo e gás, mineração, energia, transporte, entre outros (WASSAN, 2018). Na indústria de mineração, a confiabilidade pode ser aplicada na manutenção de equipamentos críticos, como caminhões e escavadeiras, com o objetivo de maximizar a disponibilidade dos equipamentos e minimizar os custos de manutenção (HAUGEN; BARABADY, 2015).

Além dos indicadores de confiabilidade, é possível utilizar outras ferramentas para avaliar a eficiência e confiabilidade de um sistema, como o Perfil de Perdas, que permite identificar as principais causas de perdas em um processo e o Diagrama Jack-Knife, que permite avaliar a eficiência de um processo por meio da análise de variações nas entradas e saídas do sistema (MODARRES; KAMINSKIY; KRIVTSOV, 2016).

A norma ISO 9000 fornece orientações sobre a gestão da qualidade de uma organização e inclui a confiabilidade como um aspecto importante a ser considerado (STANDARDIZATION, 2021). Autores como Modarres et al. , Shahriari et al. (SHAHRIARI; MAHMOODI; MOHAGHEGHIAN, 2017) e Wassan et al. discutem a importância da confiabilidade na manutenção e engenharia e fornecem percepções valiosas de como melhorar a confiabilidade de um sistema.

2.2 Processos de Controle da Manutenção e Confiabilidade

O processo de controle da manutenção e confiabilidade é essencial para garantir a operação segura e eficiente de equipamentos e sistemas em uma indústria.

2.2.1 Categoria de Horas

A importância da categorização das horas para o cálculo de indicadores de desempenho de manutenção e confiabilidade foi enfatizada por diversos autores ao longo do tempo. Por exemplo, em seu livro "*Maintenance Planning and Control: Allocation of Maintenance Resources*" (KELLY, 2006), o autor Anthony Kelly destaca a necessidade de uma gestão eficiente de horas para maximizar o desempenho da manutenção. Já John Moubrey, em "*Reliability-centered Maintenance*" (MOUBRAY, 1997), defende a importância de uma abordagem estruturada para a análise de falhas e a seleção de atividades de manutenção preventiva baseada na estratificação das horas.

Nesse contexto, a Figura 4 apresenta uma macroestrutura da estratificação das horas que é utilizada para o cálculo dos indicadores chaves de desempenho da manutenção e confiabilidade. As horas calendário (HC), as horas de manutenção (HM), as horas de manutenção corretiva (HMC), as horas de manutenção preventiva (HMP) e as horas trabalhadas (HT) são categorias que permitem uma análise mais detalhada e precisa do desempenho da manutenção, possibilitando

uma tomada de decisão mais eficiente em relação à alocação de recursos e melhoria contínua dos processos.

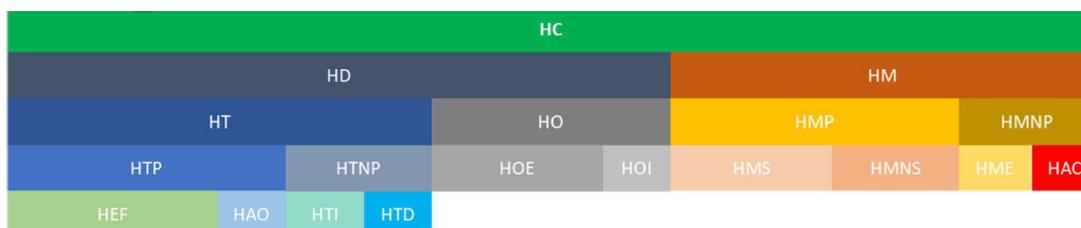


Figura 4 – Macroestrutura da estratificação das horas que são utilizadas para calcular os indicadores chaves de desempenho da manutenção e confiabilidade. Fonte: (Pesquisa direta, 2023)

As horas calendário (HC) são aquelas que representam o tempo total do período analisado, ou seja, a quantidade de horas que há no calendário do mês, ano ou período que está sendo avaliado. Elas são utilizadas para calcular os indicadores de disponibilidade e confiabilidade.

As horas de manutenção (HM) são aquelas que representam o tempo gasto na realização de atividades de manutenção. Elas podem ser divididas em duas subcategorias: horas de manutenção corretiva (HMC) e horas de manutenção preventiva (HMP).

As horas de manutenção corretiva (HMC) representam o tempo gasto para corrigir uma falha ou problema que já ocorreu. Elas são utilizadas para calcular o indicador de tempo médio de reparo (MTTR), que mede o tempo médio que a equipe de manutenção leva para corrigir uma falha. As horas de manutenção preventiva (HMP) representam o tempo gasto para realizar atividades de manutenção preventiva, como inspeções e revisões periódicas.

Por fim, as horas trabalhadas (HT) são aquelas que representam o tempo efetivamente trabalhado pela equipe de manutenção em atividades de manutenção. Elas são utilizadas para calcular o indicador de efetividade de manutenção, que mede a proporção de horas trabalhadas que foram efetivamente utilizadas em atividades de manutenção.

A Figura 4, mencionada anteriormente, pode ser usada como uma referência para visualizar como essas categorias de horas se relacionam entre si.

2.2.2 Indicadores Chaves de Desempenho da Manutenção e Confiabilidade

Os Indicadores Chaves de Desempenho (KPIs) da Manutenção e Confiabilidade são fundamentais para a gestão eficiente de processos industriais, pois permitem avaliar o desempenho da manutenção e identificar oportunidades de melhoria. Nesse contexto, a análise de indicadores como Disponibilidade, Confiabilidade, Manutenibilidade e Efetividade de Manutenção são cruciais para uma gestão eficiente e eficaz da manutenção. Dentro do presente trabalho é apresentado como indicadores de monitoramento da saúde dos ativos a Disponibilidade Física, Tempo Médio Entre Falhas e Tempo Médio de Reparo.

A literatura destaca a importância desses indicadores na gestão da manutenção. Segundo Kelly (KELLY, 2006), a gestão eficiente de horas é fundamental para maximizar o desempenho da manutenção. Moubrey (MOUBRAY, 1997) destaca a importância de uma abordagem estruturada para a análise de falhas e a seleção de atividades de manutenção preventiva baseada na estratificação das horas.

2.2.3 Disponibilidade Física

A Disponibilidade Física (DF) é um importante indicador de desempenho da manutenção, sendo amplamente discutido na literatura. De acordo com Kelly (KELLY, 2006), a disponibilidade física é a relação entre o tempo que o equipamento está disponível para operar e o tempo total do período de referência, podendo ser expressa como uma porcentagem, representada pela equação 2.1. Segundo o autor, a disponibilidade física é um indicador fundamental para a efetividade da manutenção, já que permite avaliar o tempo de parada do equipamento e o tempo que o equipamento está disponível para a produção.

$$\text{Disponibilidade Física} = \frac{(HC - HM)}{HC} \times 100 \quad (2.1)$$

Moubrey destaca a importância da disponibilidade física na gestão da manutenção, afirmando que é um indicador chave para a tomada de decisão em relação à alocação de recursos e melhoria contínua dos processos. Além disso, o autor destaca que a disponibilidade física pode ser utilizada para avaliar o desempenho do equipamento e da equipe de manutenção (MOUBRAY, 1997).

Na manutenção de equipamentos móveis, a disponibilidade física é uma medida crucial para a eficiência operacional e a lucratividade das empresas. A disponibilidade física é um importante indicador para a manutenção de equipamentos de mineração, pois permite que as empresas identifiquem oportunidades para reduzir o tempo de inatividade do equipamento e maximizar o tempo de produção (KNECHT et al., 2006).

Portanto, a disponibilidade física é um indicador fundamental para a gestão da manutenção, sendo utilizado para avaliar o desempenho do equipamento e da equipe de manutenção, além de permitir a tomada de decisão em relação à alocação de recursos e melhoria contínua dos processos. Na manutenção de equipamentos móveis, a disponibilidade física é especialmente importante para garantir a eficiência operacional e a lucratividade das empresas.

2.2.4 Tempo Médio Entre Falhas

O Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) é um indicador chave utilizado na gestão da manutenção para medir a confiabilidade de um sistema ou componente. Segundo Smith (2008), renomado autor no campo da manutenção, o MTBF é definido como o tempo médio decorrido

entre duas falhas consecutivas de um equipamento ou sistema. Ele é calculado dividindo-se o tempo total de operação pelo número de falhas ocorridas durante esse período.

O MTBF é amplamente utilizado em diversos setores industriais como uma métrica para avaliar a confiabilidade de equipamentos e sistemas. Ele fornece uma estimativa do tempo médio que se espera que um componente ou sistema funcione antes de ocorrer uma falha. Quanto maior o MTBF, maior a confiabilidade do equipamento. A equação 2.2 descreve o indicador.

$$MTBF = \frac{HT}{\text{Número de Falhas}} \quad (2.2)$$

Ao utilizar o MTBF como indicador de desempenho, é importante considerar as limitações do mesmo. Ele não leva em conta a natureza das falhas (se são reparáveis ou não) e pode ser influenciado por fatores externos, como o ambiente operacional e a qualidade dos materiais utilizados. Portanto, é fundamental realizar uma análise crítica e complementar o MTBF com outros indicadores para uma avaliação mais completa da confiabilidade do sistema.

2.2.5 Tempo Médio de Reparo

O Tempo Médio de Reparo (MTTR) é um indicador importante na gestão da manutenção, utilizado para avaliar o desempenho da equipe de manutenção em relação ao tempo médio necessário para reparar uma falha em um equipamento ou sistema. Segundo Brown (2012), o MTTR é definido como o tempo médio gasto pela equipe de manutenção desde o momento em que a falha é identificada até o momento em que o equipamento está novamente operacional, descrito pela equação 2.3.

$$MTTR = \frac{HMC}{\text{Número de Falhas}} \quad (2.3)$$

O MTTR é uma métrica fundamental para a eficiência da manutenção, pois indica o tempo médio necessário para restaurar a funcionalidade do equipamento após uma falha. Quanto menor o MTTR, mais rápida é a resposta da equipe de manutenção e menor é o tempo de inatividade do equipamento.

É importante ressaltar que o MTTR é uma medida direta do tempo de reparo e não considera o tempo necessário para diagnóstico, aquisição de peças de reposição ou outros fatores relacionados. Portanto, ao analisar o MTTR, é essencial levar em conta o contexto específico e complementar essa métrica com outros indicadores para uma visão abrangente do desempenho da manutenção.

2.3 Metodologias e Priorização de Falhas

A identificação e a priorização das falhas são etapas cruciais na gestão eficiente da manutenção. Existem diversas metodologias disponíveis para auxiliar nesse processo, sendo

duas delas o Perfil de Perdas e o Diagrama Jack-Knife.

2.3.1 Perfil de Perdas

O Perfil de Perdas é uma metodologia utilizada para identificar, quantificar e priorizar as perdas associadas a diferentes falhas em um sistema ou equipamento. Al-Najjar e Mahmoud (2014), Smith (2013) e Moubray (1997) são autores importantes no campo que abordam a aplicação do Perfil de Perdas. Essa abordagem visa mapear e compreender os impactos negativos que as falhas podem causar na operação, produtividade e eficiência do sistema, permitindo uma gestão mais eficiente da manutenção. O conceito básico do Perfil de Perdas é analisar as falhas em um sistema ou equipamento e avaliar seus efeitos, seja em termos de perda de produção, custos adicionais, riscos à segurança, impacto ambiental, entre outros aspectos relevantes.

A análise do Perfil de Perdas envolve diferentes etapas. Primeiramente, é realizada a coleta de dados sobre as falhas ocorridas no sistema ou equipamento em estudo. Esses dados podem incluir informações sobre o tipo de falha, frequência, tempo de parada, custos associados e impactos na produção. Em seguida, é realizada uma análise de impacto, na qual os efeitos de cada falha são avaliados e quantificados. Isso pode envolver a quantificação das perdas de produção, o cálculo dos custos adicionais devido às falhas e a avaliação dos riscos envolvidos.

Com base na análise de impacto, é possível priorizar as falhas com base em sua gravidade e importância para o sistema. Essa priorização permite direcionar os esforços de manutenção para as falhas mais críticas, otimizando a alocação de recursos e maximizando o desempenho geral do sistema. A tomada de decisão embasada no Perfil de Perdas possibilita uma gestão mais eficiente da manutenção, permitindo a mitigação das falhas que têm maior impacto no desempenho e na eficiência do sistema.

Dentro do contexto do Perfil de Perdas, uma ferramenta importante que pode ser utilizada é o Diagrama de Pareto. O Diagrama de Pareto, também conhecido como princípio 80/20, é uma técnica de análise que afirma que a maioria dos efeitos é causada por poucas causas principais (HERNANDEZ, 2011). Isso significa que aproximadamente que 80% das perdas são atribuídas a cerca de 20% das falhas identificadas.

A aplicação do Diagrama de Pareto dentro do Perfil de Perdas pode auxiliar na identificação e priorização das falhas mais significativas e impactantes. Ao analisar os dados coletados e quantificados, é possível visualizar graficamente quais falhas têm maior contribuição para as perdas totais. Dessa forma, os recursos de manutenção podem ser direcionados de forma mais eficaz, concentrando-se nas falhas que têm maior impacto no desempenho do sistema ou equipamento.

Ao utilizar o Diagrama de Pareto, é possível identificar as chamadas "falhas vitais" ou "falhas de maior impacto", que são responsáveis pela maior parte das perdas no sistema (MONTGOMERY, 2017). Essas falhas podem ser priorizadas para a implementação de ações corretivas

ou preventivas, visando reduzir significativamente as perdas e melhorar o desempenho global do sistema ou equipamento.

A construção do Diagrama de Pareto envolve a classificação das falhas em ordem decrescente de importância, de acordo com a contribuição para as perdas totais. A representação gráfica facilita a visualização e a compreensão das principais fontes de perdas, permitindo uma tomada de decisão embasada em dados concretos.

A combinação do Perfil de Perdas com o Diagrama de Pareto proporciona uma abordagem sistemática e eficiente para a gestão da manutenção. A análise detalhada das falhas, juntamente com a identificação das principais causas de perdas, conforme a Figura 5 que exemplifica uma priorização de área das perdas por causa, permite que os recursos de manutenção sejam alocados de forma estratégica, focando nos problemas críticos identificados para maximizar os resultados a futuros.

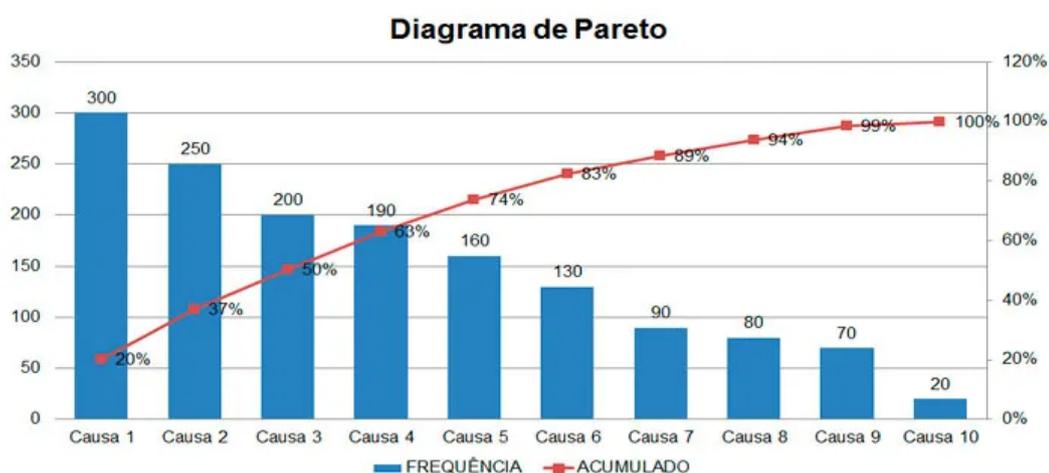


Figura 5 – Análise das perdas por causas, indicando quais causas representam os principais ofensores dentro do período analisado. Fonte: (Pesquisa direta, 2023)

Em resumo, o Perfil de Perdas é uma metodologia que visa identificar, quantificar e priorizar as perdas associadas a falhas em sistemas ou equipamentos, enquanto o Diagrama de Pareto complementa essa análise ao destacar as principais causas de perdas. A aplicação conjunta dessas abordagens proporciona uma gestão mais eficiente da manutenção, contribuindo para a melhoria do desempenho, produtividade e eficiência dos sistemas e equipamentos.

Portanto, ao utilizar o Perfil de Perdas em conjunto com o Diagrama de Pareto, as organizações podem identificar as falhas críticas que causam as maiores perdas e direcionar seus esforços de manutenção de forma estratégica, priorizando ações corretivas e preventivas. Isso resulta em uma otimização dos recursos disponíveis, maximizando o desempenho dos sistemas e equipamentos, reduzindo custos e melhorando a eficiência operacional. A implementação dessas metodologias contribui para uma gestão mais eficaz da manutenção, com impactos positivos na produtividade e na competitividade da organização.

2.3.2 Diagrama Jack-Knife

O Diagrama Jack-Knife, proposto por Peter Knights, é uma ferramenta valiosa para analisar e priorizar as falhas relacionadas ao tempo de inatividade em processos ou sistemas. Essa metodologia permite visualizar e compreender as áreas onde ocorrem as maiores perdas devido a falhas, auxiliando na identificação das principais áreas de atenção e foco para a melhoria.

No Diagrama Jack-Knife, o tempo de inatividade é representado no eixo horizontal, enquanto as diferentes causas de falhas são representadas no eixo vertical. Cada causa de falha é plotada como uma linha que varia em relação ao tempo de inatividade, revelando sua contribuição para as perdas totais. A forma da linha pode fornecer informações valiosas sobre a natureza da causa de falha e sua contribuição para o tempo de inatividade total.

A análise do Diagrama Jack-Knife permite identificar as falhas crônicas, agudas e críticas que têm maior impacto no tempo de inatividade. As falhas crônicas são aquelas que ocorrem com frequência e contribuem de forma significativa para o tempo de inatividade total, demandando atenção constante. Já as falhas agudas são aquelas que ocorrem esporadicamente, mas têm um impacto significativo no tempo de inatividade quando ocorrem, exigindo ação imediata. Por fim, as falhas críticas são aquelas que possuem um impacto extremamente alto no tempo de inatividade e requerem intervenção prioritária (KNIGHTS, 2010). A Figura 6 representa essas divisões.

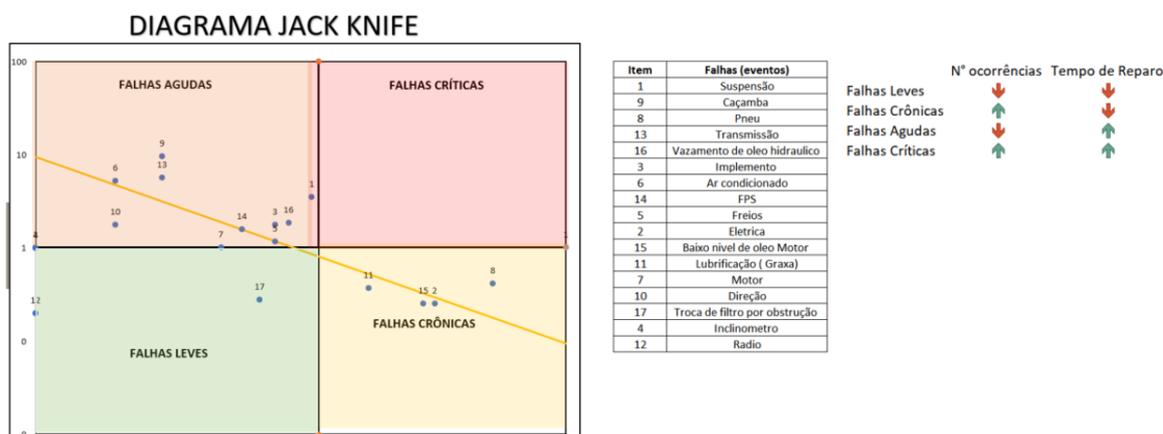


Figura 6 – Exemplo de construção do Diagrama Jack-Knife. Fonte: Pesquisa direta (2023).

Com base nas informações obtidas por meio do Diagrama Jack-Knife e em estudos como o de Knights (2010), é possível priorizar as falhas de acordo com sua gravidade e impacto no tempo de inatividade. Essa abordagem direcionada e eficiente permite a alocação eficaz de recursos e esforços de manutenção, concentrando-os nas falhas mais críticas e significativas. Assim, é possível reduzir o tempo de inatividade e melhorar a eficiência e o desempenho do sistema ou processo (KNIGHTS, 2010).

2.4 *Business Intelligence*

A crescente complexidade dos ambientes empresariais modernos exige a utilização de estratégias eficazes para a tomada de decisões informadas e orientadas por dados. Nesse contexto, o *Business Intelligence* (BI) emerge como uma disciplina essencial, fornecendo métodos e ferramentas para coletar, processar e analisar dados organizacionais a fim de extrair insights valiosos. O *Business Intelligence* capacita as empresas a transformar grandes volumes de dados em informações relevantes e significativas, possibilitando uma compreensão mais profunda dos processos operacionais e a identificação de tendências e padrões cruciais para a tomada de decisões estratégicas.

Segundo Kimball e Ross (2013), *Business Intelligence* refere-se ao conjunto de tecnologias, processos e práticas que permitem às organizações transformar dados brutos em informações úteis, facilitando a análise, a monitorização e a tomada de decisões. Esse campo abrange diversas áreas, como a coleta de dados, o armazenamento, a organização, a visualização e a interpretação dos resultados. O BI é amplamente utilizado em diferentes setores e setores industriais, pois oferece vantagens significativas, como a capacidade de melhorar a eficiência operacional, identificar oportunidades de crescimento e antecipar desafios.

Nas próximas seções, exploraremos as ferramentas específicas de *Business Intelligence*, com foco especial no Microsoft Power BI, um conjunto abrangente de aplicativos e serviços desenvolvidos para a análise de dados e a geração de relatórios interativos. Além disso, abordaremos detalhes sobre as funcionalidades do Power Query, a linguagem DAX (Data Analysis Expressions) e a linguagem M, que desempenham um papel fundamental na manipulação e análise de dados no contexto do BI.

2.4.1 Ferramentas de *Business Intelligence*

As ferramentas de *Business Intelligence* (BI) desempenham um papel fundamental na capacidade das organizações de transformar dados brutos em informações valiosas e acionáveis. Essas ferramentas fornecem uma variedade de recursos para coletar, organizar, analisar e visualizar dados de forma eficaz, permitindo que as empresas tomem decisões mais informadas e estratégicas. Com a crescente complexidade dos dados e a necessidade de insights em tempo real, as ferramentas de BI se tornaram indispensáveis para a gestão e o sucesso de negócios em diversos setores.

As ferramentas de BI oferecem recursos como a extração e transformação de dados de fontes variadas, a criação de modelos analíticos, a geração de relatórios personalizados e a criação de painéis interativos. Essas funcionalidades permitem que os usuários explorem dados de diferentes ângulos, identifiquem padrões, tendências e oportunidades ocultas, e compartilhem informações relevantes com as partes interessadas.

Dentre as diversas opções de ferramentas de BI disponíveis no mercado, o *Microsoft*

Power BI se destaca como uma solução poderosa e abrangente. Ele oferece uma variedade de recursos e funcionalidades para atender às necessidades de análise de dados de empresas de todos os tamanhos e setores. No entanto, independentemente da ferramenta escolhida, a adoção de uma abordagem de *Business Intelligence* pode ter um impacto significativo na tomada de decisões estratégicas, na otimização de processos e no aprimoramento do desempenho organizacional. A Figura 7 evidencia a liderança do Power BI no mercado.

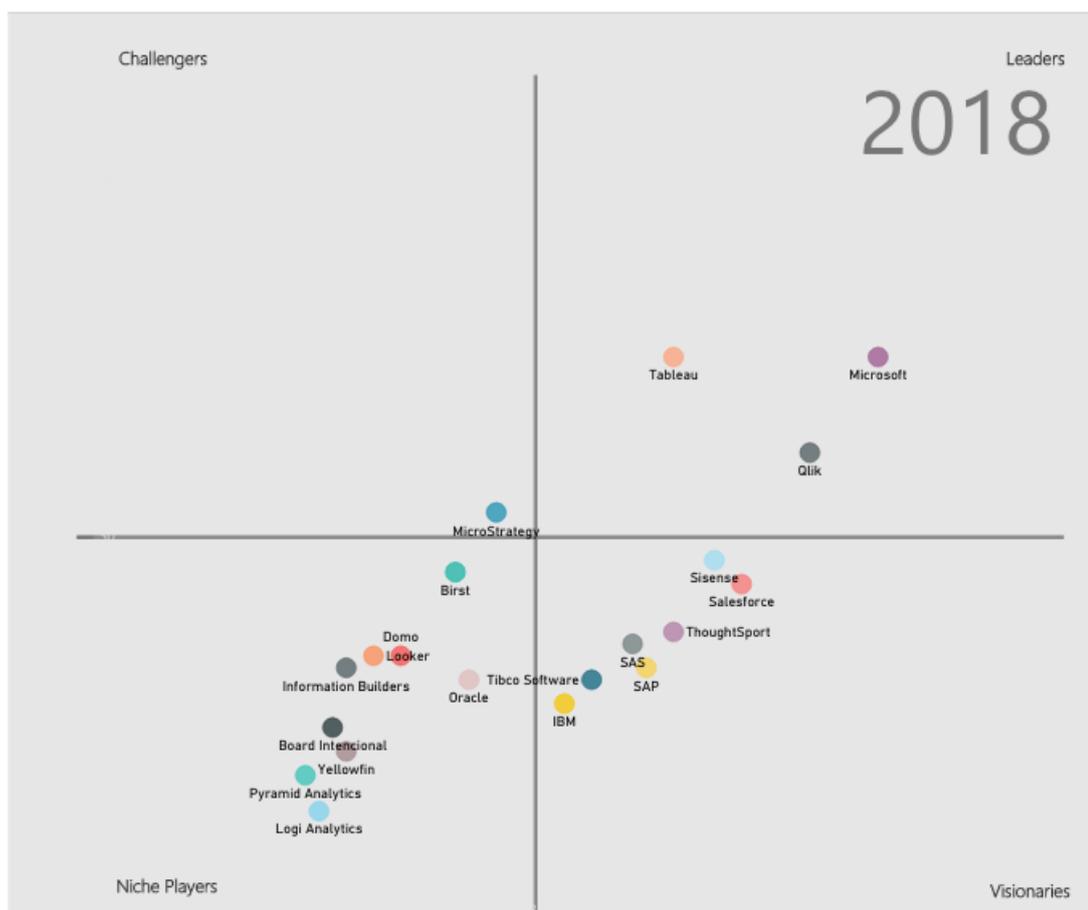


Figura 7 – Diagrama de Ferramentas de *Business Intelligence* evidenciando a utilização do Microsoft Power BI como líder do mercado. Fonte: Pesquisa direta (2023).

No contexto empresarial contemporâneo, os sistemas de *Business Intelligence* (BI) têm se destacado como elementos cruciais para o eficaz gerenciamento das organizações. Eles se interligam intimamente com as atividades de governança, fornecendo um suporte essencial para os tomadores de decisão. Essa capacidade é fundamental para que possam supervisionar, acompanhar e controlar o desempenho dos processos, sempre alinhados com as métricas predefinidas. Além disso, esses sistemas atuam como geradores de informações e conhecimentos, proporcionando uma compreensão clara tanto do estado presente quanto do estado desejado da empresa.

Conforme destacado por Saito e Horita (2015), o cenário mercadológico contemporâneo

impõe às organizações a demanda por respostas ágeis e precisas às constantes mudanças culturais e tecnológicas. Nesse sentido, os sistemas de BI desempenham um papel crucial, agindo como um catalisador desse processo dinâmico. Eles não somente facilitam a adaptação, mas também se conFiguram como um propulsor para a inovação, influenciando profundamente a maneira como as organizações são administradas. Seja em âmbito empresarial, estratégico, tático ou operacional, esses sistemas se mostram essenciais na capacitação das organizações para lidar com os desafios do ambiente em constante transformação.

2.4.2 Microsoft Power BI

O Microsoft Power BI, uma plataforma de análise de dados robusta desenvolvida pela Microsoft, emerge como uma ferramenta essencial para a extração, transformação e visualização de informações provenientes de diversas fontes de dados. Composto por duas principais componentes — o Power BI Desktop, uma aplicação para criação de relatórios e visualizações, e o Power BI *Service*, uma plataforma online para compartilhar e colaborar em relatórios e painéis de controle —, o Power BI capacita tanto indivíduos quanto organizações a traduzirem dados complexos em representações interativas e análises de dados de fácil compreensão.

A interface do usuário do Microsoft Power BI Desktop é meticulosamente projetada para proporcionar uma experiência intuitiva e eficiente. Esta abordagem possibilita que os usuários gerem visualizações dinâmicas sem a necessidade de profundos conhecimentos em programação ou design. Na Figura 8, podemos observar um exemplo concreto dessa interface, ilustrando como os elementos se harmonizam no ambiente do Power BI Desktop, fortalecendo a capacidade de criar relatórios visualmente intuitivos.

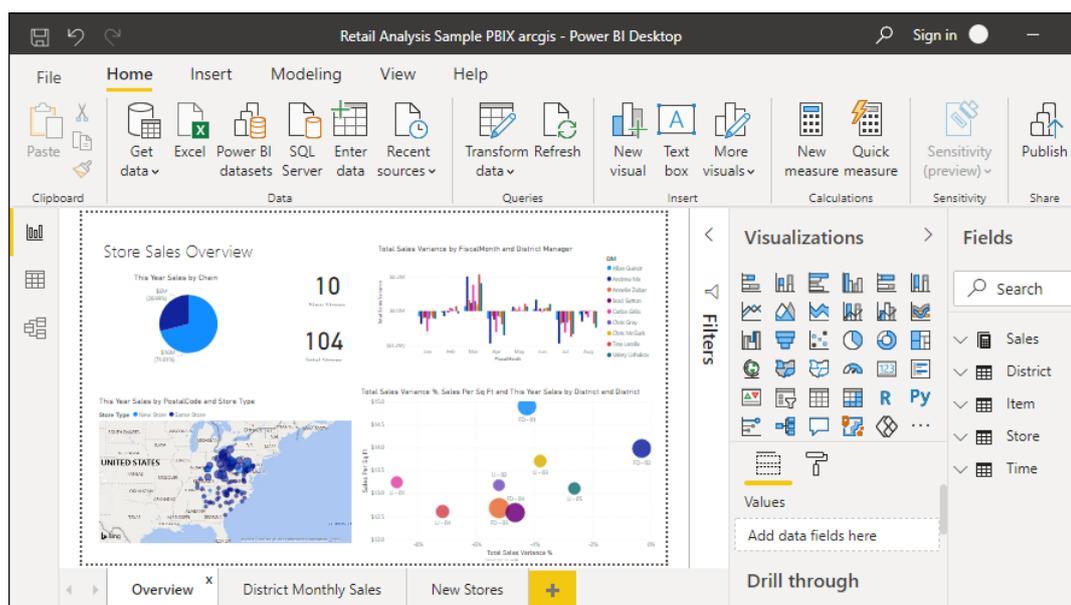


Figura 8 – Exemplo de interface de usuário do Microsoft Power BI Desktop. Fonte: Microsoft (2023).

O poder do Power BI se manifesta em sua ampla gama de opções de conectividade de dados, englobando fontes tão diversas como planilhas do Excel, bancos de dados SQL Server Analysis Services, Google Analytics, bancos de dados SAP, Oracle, redes sociais, PDFs, arquivos Texto/CSV, JSON, GitHub, entre muitas outras (LAGO, 2019).

Além de proporcionar uma variedade de opções de conectividade, o Power BI confere aos usuários a capacidade de transformar dados brutos em informações personalizadas e objetivas, adaptadas às necessidades do usuário final. A Figura 9 ilustra de maneira abrangente o fluxo do processo de aplicação do Power BI. Durante esse processo, as diversas fontes de dados (representadas pelas logomarcas à esquerda) convergem, integrando-se ao restante do fluxo operacional. Esse fluxo compreende desde o tratamento inicial dos dados até a criação de painéis, a subsequente publicação na rede do Power BI Service e, por fim, a completa atualização de todo o conjunto de dados, culminando na geração de um relatório (EXCELÊNCIA, 2019). Esse ciclo contínuo de transformação de dados em informações aprofundadas reforça o papel fundamental do Power BI na condução das tomadas de decisão informadas e embasadas por dados.

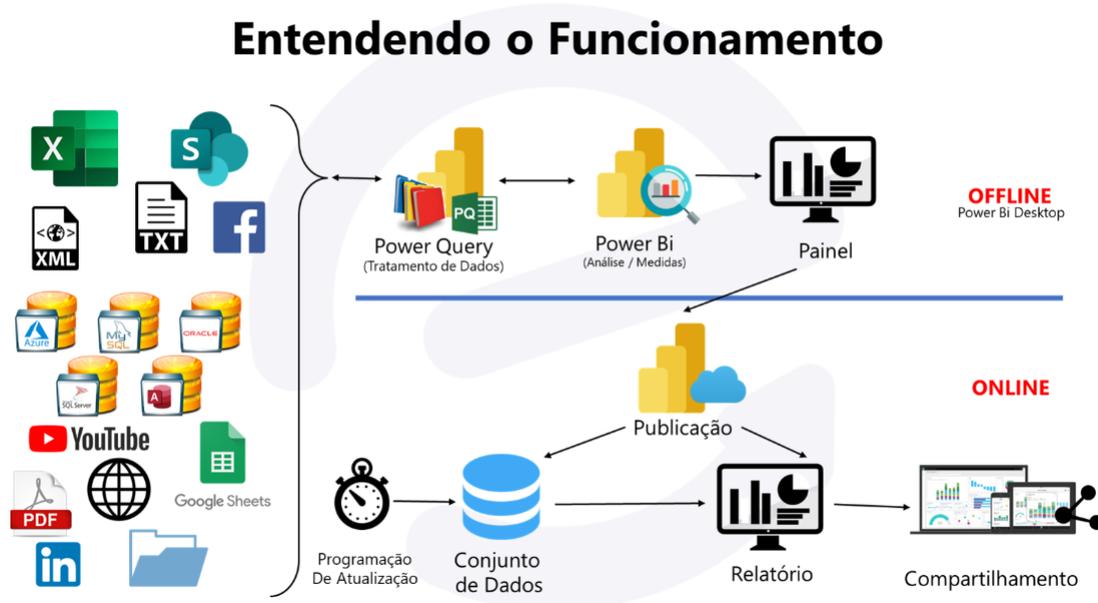


Figura 9 – Fluxo de processo do Microsoft Power BI. Fonte: (EXCELÊNCIA, 2019).

Em resumo, o Microsoft Power BI transcende a mera análise de dados, emergindo como um veículo para a transformação de informações complexas em narrativas visuais que impulsionam a tomada de decisões estratégicas. À medida que suas capacidades de conectividade e personalização continuam a evoluir, o Power BI permanece como um aliado crucial para enfrentar os desafios cada vez mais dinâmicos do mundo empresarial moderno.

2.4.3 Linguagens M e DAX

O Power BI surgiu como uma lente nova para a manipulação e estruturação de dados, simplificando procedimentos e garantindo maior autonomia aos profissionais, reduzindo a dependência de especialistas em TI. Lago (2019) ressalta que até poucos anos atrás, softwares de BI eram acessíveis apenas a profissionais de tecnologia da informação, dada a sua complexidade. Apesar de ser menos intrincado do que seus concorrentes, isso não limita sua capacidade; o Power BI incorpora duas linguagens primordiais, conhecidas como "M" e *Data Analysis Expressions* (DAX), que permitem a criação de análises minuciosas e a exploração de funcionalidades além das disponíveis na interface da ferramenta.

A Linguagem *Power Query*, simplificada referida como "M", possibilita a execução do processo ETL (Extração, Transformação e Carregamento), habilidade de reunir e transformar o conteúdo proveniente de uma ou várias fontes de dados (O...). Estruturada em blocos, cada linha de código reflete uma etapa de transformação, em que o resultado da linha anterior é incorporado à subsequente, em conformidade com princípios semelhantes a outras linguagens de programação.

A linguagem DAX consiste em um acervo de funções, operadores e constantes que podem ser utilizados em fórmulas ou expressões, visando calcular e entregar um ou mais valores (O...). Essa linguagem guarda afinidades com as fórmulas empregadas no Microsoft Excel, o que facilita a transição de usuários da planilha para o ambiente do Power BI. Ao contrário dos blocos de programação, o DAX combina funções, filtros e expressões para concretizar suas finalidades.

3 DESENVOLVIMENTO

Nesta etapa do trabalho, é abordado o processo de construção dos painéis de *Business Intelligence* (BI) que são utilizados para a gestão dos indicadores de manutenção de equipamentos móveis em uma mineradora de grande porte. O desenvolvimento é dividido em diversas etapas, que incluem desde a obtenção dos dados dos bancos de dados até a criação dos indicadores, perfil de perdas e diagrama Jack-Knife, empregando a linguagem DAX e tabelas relacionais.

3.1 Metodologia

A metodologia empregada neste estudo consiste nos principais passos para a construção e implementação do Power BI como uma ferramenta eficiente de gestão da manutenção e confiabilidade, com o objetivo de aprimorar a tomada de decisão de forma mais assertiva, especialmente no contexto da manutenção de equipamentos móveis em uma mineradora de grande porte. Para alcançar esses objetivos, foi conduzido um estudo de caso, permitindo uma aplicação prática e aprofundada do Power BI em um cenário real de gestão da manutenção.

A caracterização da área de estudo é o ponto de partida, compreendendo a estrutura da manutenção de equipamentos móveis, os principais desafios enfrentados e os indicadores utilizados para avaliar o desempenho dos ativos. Essa etapa é fundamental para contextualizar o processo de construção dos painéis de BI, assegurando que os resultados estejam alinhados com as necessidades e objetivos da gestão de manutenção.

Em seguida, serão abordadas as etapas de extração, transformação e carregamento dos dados (ETL), onde serão identificadas e selecionadas as fontes de dados relevantes para o processo de análise. A integração dos dados de diferentes sistemas de informação possibilita a criação de uma base de dados consistente e confiável, fator crucial para a geração de informações precisas e atualizadas.

Com os dados devidamente integrados, é explorada a aplicação da linguagem DAX (Data Analysis Expressions) no Microsoft Power BI. A linguagem DAX permite a criação de fórmulas personalizadas e a realização de cálculos avançados, sendo essencial para a construção dos indicadores de disponibilidade de frota (DF), tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio de reparo (MTTR), fornecendo uma visão abrangente do desempenho dos equipamentos móveis.

Posteriormente, são criadas tabelas relacionais, estabelecendo conexões entre os diferentes conjuntos de dados. A integração dessas tabelas possibilita a criação de análises e visualizações mais completas e detalhadas, proporcionando uma compreensão mais profunda dos padrões e tendências relacionados à gestão da manutenção.

Com a base de dados estruturada e os indicadores de desempenho construídos, é desen-

volvido o perfil de perdas, utilizando o princípio de Pareto (80/20) para identificar as falhas mais significativas que impactam a disponibilidade e o desempenho dos equipamentos móveis. O perfil de perdas possibilita a priorização das ações de manutenção, direcionando os recursos e esforços para as áreas críticas de forma estratégica.

Adicionalmente, é elaborado o diagrama Jack-Knife, estabelecendo uma correlação entre o tempo médio de reparo e o número de falhas dos equipamentos. Essa análise permite identificar as falhas crônicas, agudas e críticas, possibilitando uma abordagem mais precisa e eficiente na gestão da manutenção.

Dessa forma, o desenvolvimento desta pesquisa proporcionará uma visão completa e detalhada de todo o processo de construção dos painéis de BI, oferecendo subsídios valiosos para a tomada de decisões estratégicas e a otimização da gestão da manutenção de equipamentos móveis em uma mineradora de grande porte. A Figura 10 mostra o fluxo de desenvolvimento do trabalho.

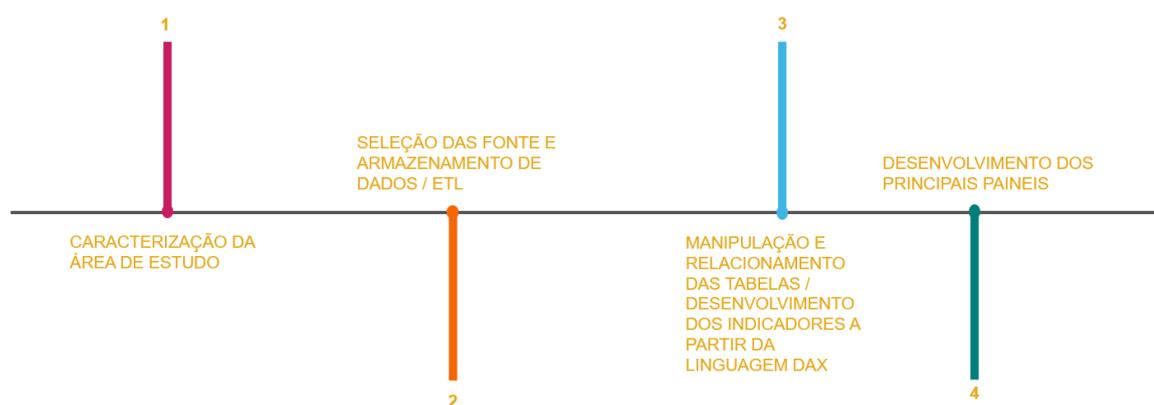


Figura 10 – Fluxo de desenvolvimento do trabalho. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2 Caracterização da Área de Estudo

A Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina é responsável pela gestão e manutenção de um conjunto diversificado de equipamentos móveis, fundamentais para o bom funcionamento dos processos de perfuração, carregamento, transporte e infraestrutura nas operações de mineração, conforme apresentado na Tabela 1.

Esses equipamentos móveis desempenham funções específicas e interligadas, contribuindo para a eficiência e o sucesso das operações de mineração. A equipe de Manutenção de Equipamentos de Mina é responsável por garantir que esses ativos estejam em pleno funcionamento, assegurando a continuidade operacional e a produtividade da mina.

A seguir, apresentaremos uma breve descrição dos seis tipos de equipamentos móveis que compõem essa área de estudo:

Tabela 1 – Equipamentos Móveis por Família.

Família	Equipamentos Móveis
Perfuração	Perfuratrizes
Carregamento	Carregadeiras Escavadeiras
Transporte	Caminhões Fora-de-Estrada
Infraestrutura	Motoniveladoras Tratores de Esteira

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.1 Perfuratrizes

As perfuratrizes são equipamentos essenciais no processo de mineração, sendo utilizadas para realizar furos em rochas e solos, viabilizando a posterior colocação de explosivos para a detonação controlada. Essa etapa é crucial para a fragmentação do material e a obtenção do minério, permitindo uma extração mais eficiente e segura.

3.2.2 Carregadeiras

As carregadeiras desempenham um papel vital na movimentação de materiais nas frentes de trabalho. São responsáveis por carregar o minério fragmentado em caminhões de carga ou correias transportadoras, transferindo-o para os pontos de descarga ou locais de armazenamento. Sua alta capacidade de carga e agilidade contribuem para a produtividade das operações de mineração.

3.2.3 Escavadeiras

As escavadeiras são equipamentos utilizados na escavação de grandes volumes de solo e rochas. Sua versatilidade permite a realização de diversas tarefas, como a abertura de rampas, a escavação de áreas para a instalação de infraestruturas e a manipulação de materiais diversos. As escavadeiras são fundamentais para a preparação do terreno e o desenvolvimento das atividades de mineração.

3.2.4 Caminhões Fora-de-Estrada

Os caminhões fora-de-estrada são responsáveis pelo transporte do minério ou material estéril das frentes de lavra até os pontos de descarga ou britagem. Sua robustez e capacidade de carga são essenciais para garantir a eficiência e o fluxo contínuo das operações de transporte.

3.2.5 Motoniveladoras

As motoniveladoras têm a função de nivelar e preparar o terreno, possibilitando a criação de vias de acesso, plataformas de trabalho e áreas planas para a realização das atividades de mineração. Sua atuação é essencial para garantir a segurança e a estabilidade do terreno, além de otimizar o fluxo operacional.

3.2.6 Tratores de Esteira

Os tratores de esteira são equipamentos robustos e versáteis, empregados principalmente na movimentação de grandes volumes de materiais e na preparação do terreno. Sua tração proporcionada pelas esteiras é ideal para operações em terrenos irregulares e de difícil acesso, tornando-os peças-chave nas atividades de infraestrutura e suporte às operações de mineração.

3.3 Fonte de Dados e Armazenamento

Nesta seção, são apresentados os sistemas utilizados como fonte de dados para a construção do *Business Intelligence* (BI) aplicado à gestão da manutenção de equipamentos móveis. Foram empregados dois sistemas distintos para a obtenção das informações necessárias:

3.3.1 Sistema 1: Excel como Fonte de Dados

O primeiro sistema é baseado no Microsoft Excel e representa uma fonte fundamental para a gestão da manutenção de equipamentos móveis. Nele, além das metas de manutenção, são inseridos mensalmente os dimensionamentos dos indicadores dos ativos, estratificados por família, frota e TAG (identificação do ativo). A Figura 11 apresenta uma ilustração do ambiente do Microsoft Excel utilizado como fonte de dados, mostrando um exemplo de uma das páginas com a inclusão dos indicadores mensais por ativo.

Esse ambiente do Microsoft Excel foi disponibilizado em um repositório do SharePoint Online, o que permite a realização de alterações online e em tempo real. Dessa forma, as informações são continuamente atualizadas, fornecendo uma base de dados dinâmica para a gestão da manutenção e permitindo uma análise detalhada e estratificada dos indicadores dos ativos móveis. Essa versatilidade do Excel proporciona flexibilidade na construção e adaptação dos indicadores de acordo com as necessidades específicas da gestão da mineradora.

3.3.2 Sistema 2: Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina

O segundo sistema utilizado como fonte de dados é um sistema integrado de acompanhamento de mina, atuando como um banco de dados que consolida todas as informações referentes aos ativos móveis. Nesse sistema, são registrados dados essenciais, como horas trabalhadas (HT), horas de manutenção corretiva (HMC), horas de manutenção preventiva (HMP), volume

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with a complex data table. The table has multiple columns and rows, with headers indicating equipment types and various performance metrics. The data is organized into several sections, with some rows highlighted in red and others in green. The spreadsheet is titled 'DIMENSIONAMENTO DEZEMBRO OFICIAL' and includes various formulas and data points.

Figura 11 – Ambiente do Microsoft Excel utilizado como fonte de dados, exemplo de uma das páginas com a inclusão dos indicadores mensais por ativo. Fonte: Pesquisa direta, adaptado pelo autor (2023).

de material movimentado, quilometragem percorrida, informações de sensores e sistemas de detecção. A Figura 12 ilustra a página inicial deste sistema.

Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina

KPI DE PERFORMANCE DESPACHANTES - CENTRO DE CONTROLE DE OPERAÇÕES
CONTROLE DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DISPATCH 6 - Suporte: 849 - 6413

GRANDE PORTE

■ CARGAS OTIMIZADAS

IB

■ CARGAS OTIMIZADAS

GRANDE PORTE

■ CARGAS OTIMIZADAS

PEQUENO PORTE

■ CARGAS OTIMIZADAS

GRANDE PORTE

■ CARGAS OTIMIZADAS

PEQUENO PORTE

■ CARGAS OTIMIZADAS

■ CARGAS OTIMIZADAS

MENSAL **MOVIMENTAÇÃO** **DMT**

OTMIZ. DIARIA MINAS

OTMIZ. DIARIO CX

REPROCESSADO AL

MOV. FECHAMENTO

DMT PAINEL

INTEGRIDADE DE DADOS

CARGA

TRANSPORTE

CARGA

TRANSPORTE

CARGA

TRANSPORTE

CARGA

TRANSPORTE

CARGA

TRANSPORTE

INTEGRIDADE DE DADOS

OTIMIZAÇÃO

APRESENTAÇÃO TV SALA COI

APRESENTAÇÃO TV OP. MINA

Figura 12 – Página inicial do Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina. Fonte: Pesquisa direta, adaptado pelo autor (2023)

A utilização desses sistemas proporciona acesso a dados detalhados sobre o desempenho dos equipamentos móveis, permitindo uma análise precisa do histórico de operação e manutenção,

bem como a identificação de padrões e tendências relevantes para a gestão da manutenção.

Dessa forma, a combinação desses dois sistemas como fonte de dados proporciona uma abordagem abrangente e detalhada para a construção dos painéis de *Business Intelligence*, que serão fundamentais para a gestão eficiente e a tomada de decisão estratégica na manutenção de equipamentos móveis.

3.4 Extração, Transformação e Carregamento de Dados

De acordo com Davis e Pagano (2021), "*a capacidade de extrair informações valiosas dos dados é fundamental para otimizar a eficiência operacional e a confiabilidade dos equipamentos em operações industriais complexas, como as de mineração.*" Nesse contexto, o Power BI emerge como uma poderosa ferramenta que possibilita a visualização e análise de dados de maneira ágil e eficaz, fornecendo informações valiosas para apoiar a tomada de decisões estratégicas na manutenção de equipamentos móveis.

A etapa de Extração, Transformação e Carregamento de Dados (ETL) desempenha um papel crucial no projeto, pois é responsável por inserir as informações que serão trabalhadas nos relatórios. Essa etapa inicia-se diretamente na interface do Microsoft Power BI, onde são disponibilizadas diversas opções para obtenção de dados, como ilustrado na Figura 13. A partir dessa interface, o Power Query é acionado, tornando-se a ferramenta chave para a transformação e importação dos dados obtidos.

Conforme explicado na seção anterior sobre as fontes e armazenamento de dados, foram utilizados o Microsoft Excel em conjunto com o Microsoft SharePoint e o Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina. Para cada um desses sistemas, foram adotadas abordagens distintas de obtenção de dados.

No caso do Microsoft Excel e do Microsoft SharePoint, a obtenção de dados foi realizada de forma mais simples, utilizando-se as ferramentas nativas do Microsoft Power BI, conforme exemplificado na Figura 14. A inserção dos dados do SharePoint é feita por meio da Pasta de Trabalho Excel, onde os links do SharePoint são inseridos e os dados são carregados no Power Query. O tratamento desses dados foi realizado de forma direta, utilizando as ferramentas disponíveis no próprio Power BI, como apresentado na Figura 15.

Para o Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina, o processo de inserção dos dados inicia-se de forma semelhante ao Microsoft Excel e SharePoint. No entanto, a principal diferença está na utilização da ferramenta '*SELECT*' para obter os dados selecionados do Banco de Dados SQL Server, como representado na Figura 16. Esse banco de dados contém informações cruciais, como os horímetros, quantidade de horas em manutenção, horas ociosas, horas em manutenção preventiva, entre outros indicadores fundamentais.

Além dos dados mencionados acima, esse banco de dados também contém informações sobre as falhas dos equipamentos, sinalizando os motivos de parada dos ativos. As informações

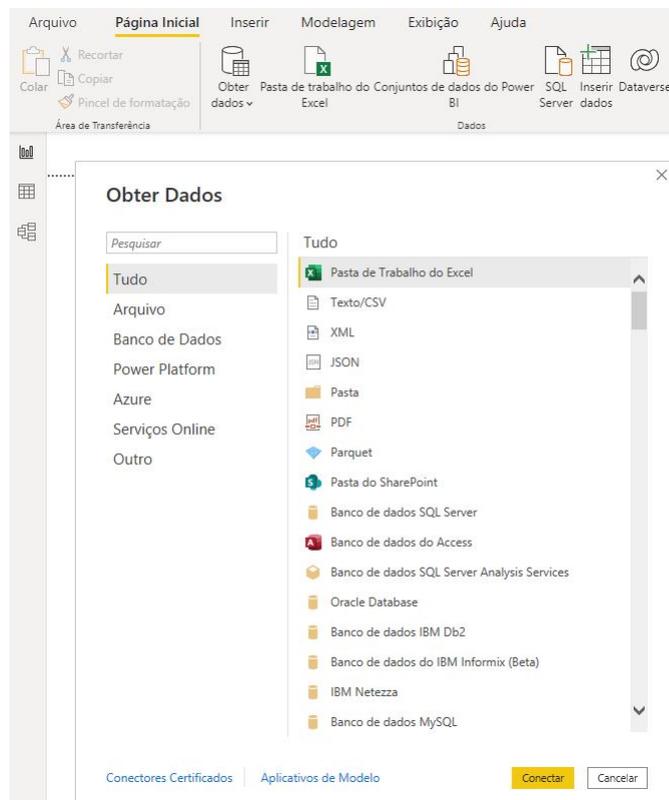


Figura 13 – Ferramenta "Obter Dados" do Microsoft Power BI. Fonte: Microsoft Power BI (2023)

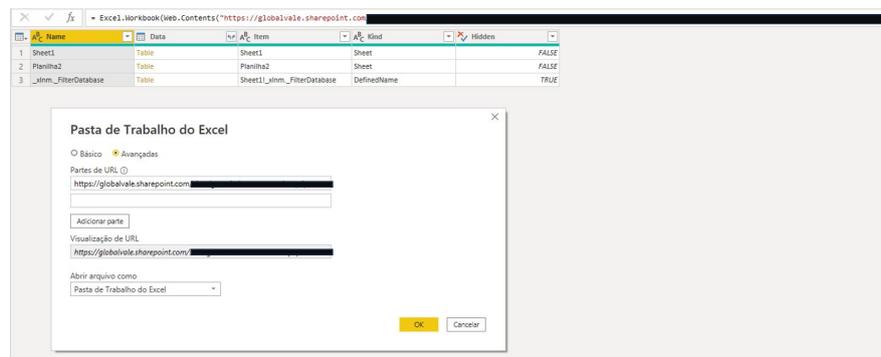


Figura 14 – Ferramenta de importação de dados de Pasta de Trabalho Excel do Microsoft Power BI a partir da inserção de um *link* do Microsoft SharePoint. Fonte: Microsoft Power BI (2023)

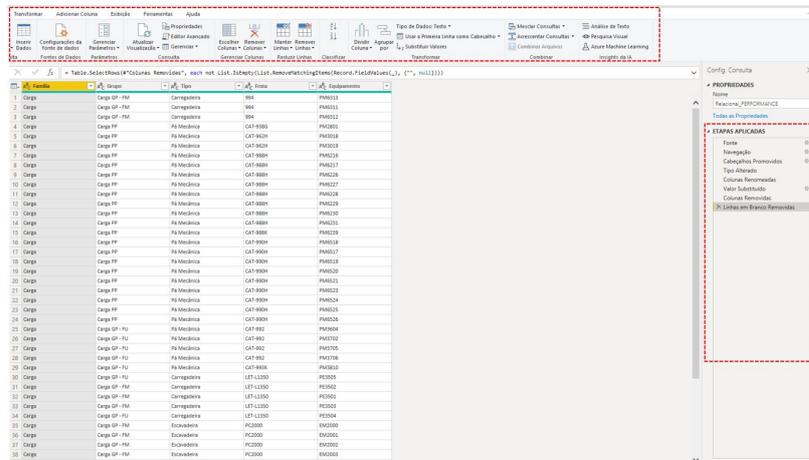


Figura 15 – Ferramenta de tratamento de dados do Microsoft Power BI com as alterações feitas para adequação da maneira correta. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)



Figura 16 – Ferramenta de importação de dados SQL Server para o Microsoft Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

dessas falhas incluem a data e hora de início e término, sendo de extrema importância para a gestão da manutenção. Para o tratamento dessas informações, foi utilizada a Linguagem M no Power Query, como ilustrado na Figura 17.

```

1 let
2     Fonte = Sql.Database(██████████, [Query="SELECT Rastreamento_Tempo.LetraIni, Rastreamento_Tempo.LetraFin, Rastreamento_Tempo.TurnoIni, Rastreamento_Tempo.TurnoFin, Rastreamento_Tempo.Trimestre, Rastreamento_Tempo.Semana, Rastreamento_Tempo.Dia,
3         Rastreamento_Tempo.Tipo, Rastreamento_Tempo.DiaIni, Rastreamento_Tempo.DiaFin, Rastreamento_Tempo.MesIni, Rastreamento_Tempo.MesFin, Rastreamento_Tempo.AnoIni, Rastreamento_Tempo.AnoFin, Rastreamento_Tempo.DataIni, Rastreamento_Tempo.DataFin,
4         Rastreamento_Tempo.HoraIni, Rastreamento_Tempo.HoraFin, Rastreamento_Tempo.Duracao, Rastreamento_Tempo.CodRazo, Rastreamento_Tempo.Razo, Rastreamento_Tempo.Descricao, Rastreamento_Tempo.Comentario, Rastreamento_Tempo.DataAta, Rastreamento_Tempo.OrdemServ,
5         Rastreamento_Tempo.Tabificacao, Rastreamento_Tempo.Equip, Rastreamento_Tempo.Frota, Rastreamento_Tempo.Grupo, Rastreamento_Tempo.Hoede, Rastreamento_Tempo.Fabricante, Rastreamento_Tempo.LocComponente, Rastreamento_Tempo.Componente, Rastreamento_Tempo.Falha,
6         Rastreamento_Tempo.Causa, Rastreamento_Tempo.Efeito, Rastreamento_Tempo.Responsavel, Rastreamento_Tempo.Executor, Rastreamento_Tempo.Prescricao, Rastreamento_Tempo.Cont, Rastreamento_Tempo.DataPrevLib, Rastreamento_Tempo.Aderido@if(
7             FROTA_SIAW_000.Rastreamento_Tempo.Rastreamento_Tempo(if)HSE (Rastreamento_Tempo.AnoIni>2019))],
8     #"Colunas Removidas" = Table.RemoveColumns(Fonte,{"LetraIni", "Trimestre", "Semana", "Dia"}),
9     #"Coluna Duplicada" = Table.DuplicateColumn(#"Colunas Removidas", "DataIni", "DataIni - Copiar"),
10    #Últimos caracteres extraídos" = Table.TransformColumns(#"Coluna Duplicada", {"DataIni - Copiar", each Text.End(Text.From([@DataIni - Copiar]), 3), type text}},
11    #Primeiros caracteres extraídos" = Table.TransformColumns(#Últimos caracteres extraídos", {"DataIni - Copiar", each Text.Start(_, 3), type text}},
12    #Tipo Alterado" = Table.TransformColumnTypes(#Primeiros caracteres extraídos,{"DataIni - Copiar", Int64.Type}),
13    #"Colunas Renomeadas" = Table.RenameColumns(#Tipo Alterado",{"DataIni - Copiar", "Hora INI"}),
14    #Personalização Adicionada" = Table.AddColumn(#"Colunas Renomeadas", "Ref_turno", each if [Hora INI]>=1 and [Hora INI]<=
15 then 1
16 else
17     if [Hora INI]>=7 and [Hora INI]<=13
18 then 2
19 else
20     if [Hora INI]>=13 and [Hora INI]<=19
21 then 3
22 else
23     if [Hora INI]>=19
24 then 4
25 else
26     if [Hora INI]>=0
27 then 5
28 else "erro"),
29 #Tipo Alterado1" = Table.TransformColumnTypes(#Personalização Adicionada",{"Ref_turno", Int64.Type}),
30 #Coluna Duplicada1" = Table.DuplicateColumn(#Tipo Alterado1", "DataIni", "DataIni - Copiar"),
31 #Dividir Coluna por Delimitador" = Table.SplitColumn(Table.TransformColumnTypes(#Coluna Duplicada1", {"DataIni - Copiar", type text}), {"DataIni - Copiar", type text}), {"pt-BR"}, {"DataIni - Copiar", Splitter.SplitTextByDelimiter("/", QuoteStyle.Csv), {"DataIni - Copiar.1", "DataIni - Copiar.2",
32     "DataIni - Copiar.3"}),
33 #Tipo Alterado2" = Table.TransformColumnTypes(#Dividir Coluna por Delimitador",{"DataIni - Copiar.1", Int64.Type}, {"DataIni - Copiar.2", "DataIni - Copiar.3", type text}),
34 #Primeiros caracteres extraídos1" = Table.TransformColumns(#Tipo Alterado2", {"DataIni - Copiar.3", each Text.Start(_, 4), type text}},
35 #Tipo Alterado3" = Table.TransformColumnTypes(#Primeiros caracteres extraídos1", {"Ref_turno", type text}, {"DataIni - Copiar.1", type text}, {"DataIni - Copiar.2", type text}, {"DataIni - Copiar.3", type text}),
36 #Personalização Adicionada1" = Table.AddColumn(#Tipo Alterado3", "Concatenar_ref", each {"DataIni - Copiar.1"}&"-"&{"DataIni - Copiar.2"}&"-"&{"DataIni - Copiar.3"}&"-"&{"Ref_turno"},
37 #"Coluna Duplicada2" = Table.DuplicateColumn(#Personalização Adicionada1", "DataIni", "DataIni - Copiar"),
38 #Primeiros Caracteres Inseridos" = Table.AddColumn(#"Coluna Duplicada2", "Primeiros caracteres", each Text.Start(Text.From([@DataIni - Copiar]), "pt-BR"), 2), type text),
39 #Colunas Renomeadas1" = Table.RenameColumns(#Primeiros Caracteres Inseridos",{"DataIni - Copiar.1", "DIA Ini (Copiar.1)", "Primeiros caracteres", "DIA Ini (Copiar)"}),
40 #Tipo Alterado4" = Table.TransformColumnTypes(#Colunas Renomeadas1", {"DIA Ini (Copiar)", Int64.Type}, {"DIA Ini (Copiar.1)", Int64.Type}),
41 #Personalização Adicionada2" = Table.AddColumn(#Tipo Alterado4", "Esto Lib Mesmo Turno", each if [{"DIA Ini (Copiar.1)}]=["DIA Ini (Copiar)"]
42 then "SIM"
43 else "NAO"),
44 #Tipo Alterado5" = Table.TransformColumnTypes(#Personalização Adicionada2",{"Esto Lib Mesmo Turno", type text}),
45 #Tipo Alterado5"

```

Figura 17 – Ferramenta de tratamento de dados do Microsoft Power BI com as alterações feitas para adequação da maneira correta a partir da utilização da linguagem M. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Finalizado o processo de obtenção e tratamento dos dados, as informações são carregadas para o ambiente do Microsoft Power BI, onde os relatórios e dashboards podem ser construídos e interagir entre si, proporcionando uma visão abrangente e detalhada dos indicadores dos ativos móveis. Essa etapa é essencial para garantir a consistência e confiabilidade dos dados utilizados na geração da informação.

3.5 Conexão e Relacionamento entre Tabelas

A etapa de conexão e relacionamento entre tabelas é de extrema importância no projeto, pois é nessa fase que os dados tratados e importados na etapa anterior são organizados e interligados de forma significativa. Antes de prosseguir com os relacionamentos, é fundamental compreender os conceitos de Tabela Fato e Tabela Dimensão, que desempenham papéis essenciais nessa etapa.

Uma Tabela Fato representa os dados numéricos ou métricas quantitativas que desejamos analisar. Essa tabela contém medidas ou indicadores que expressam o desempenho ou o resultado de um evento ou processo. Por outro lado, uma Tabela Dimensão contém atributos descritivos e informativos relacionados a esses eventos ou processos. Ela fornece os contextos para analisar as medidas da Tabela Fato.

No projeto apresentado, as tabelas dCalendário e RELACIONAL_PERFORMANCE são consideradas Tabelas Dimensão. Elas atuam como chaves principais e se relacionam com outras tabelas, permitindo a conexão e a interação entre elas, conforme ilustrado na Figura 18.

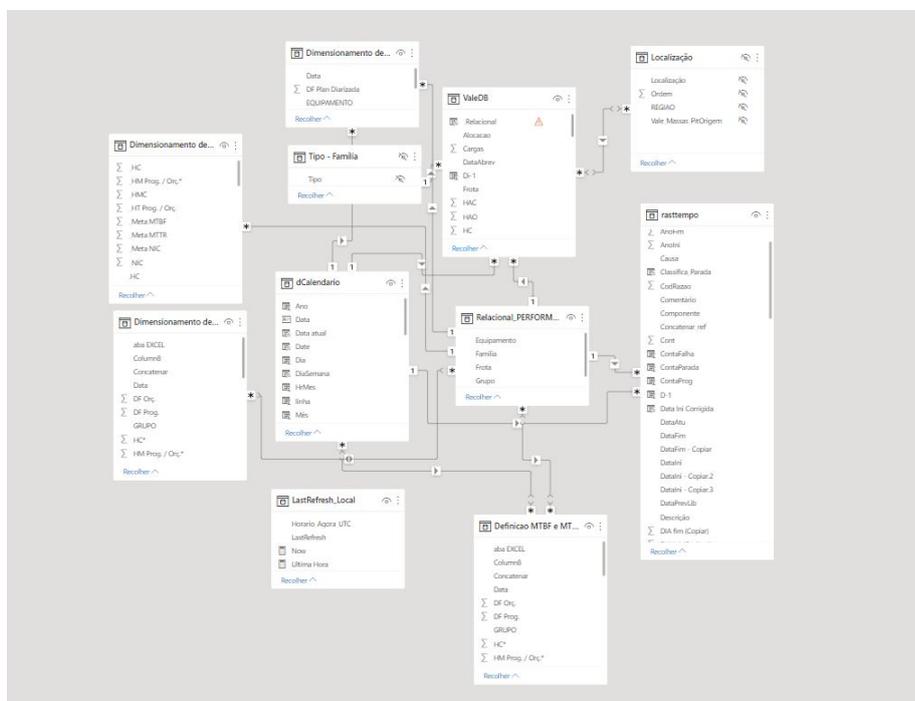


Figura 18 – Interação entre as tabelas importadas para o Microsoft Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

No contexto de relacionamento entre tabelas, são utilizados diferentes tipos de associações, conforme mostrado na Figura 19:

- **Um para muitos (1:*)**: Nesse tipo de relacionamento, a coluna em uma tabela tem apenas uma instância de um determinado valor, enquanto a outra tabela relacionada pode ter mais de uma instância do mesmo valor. É o tipo mais comum de relacionamento e geralmente é utilizado quando uma Tabela Dimensão se relaciona com uma Tabela Fato.

- **Muitos para muitos (:)**: Em alguns casos, pode ser necessário estabelecer um relacionamento muitos para muitos entre tabelas. Nesse cenário, é possível remover os requisitos para valores exclusivos em ambas as tabelas. O Power BI permite criar um modelo de dados composto com esse tipo de relação, possibilitando a análise de dados mais complexa e abrangente.

Ao definir os relacionamentos corretos entre as tabelas, o Microsoft Power BI é capaz de criar uma estrutura coesa e organizada para os dados, permitindo a geração de relatórios e *dashboards* interativos e significativos.

Editar relacionamento

Selecione tabelas e colunas relacionadas umas às outras.

rasttempo

TurnoIni	TurnoFim	Tipo	DiaIni	DiaFim	MesIni	MesFim	AnoIni	AnoFim
Tarde	Tarde	Manut Nao Programada	1	1	1	1	2022	2022 01
Tarde	Tarde	Manut Nao Programada	2	2	1	1	2022	2022 02
Noite	Noite	Manut Nao Programada	2	2	1	1	2022	2022 02

Relacional_PERFORMANCE

Familia	Grupo	Tipo	Frota	Equipamento
Carga	Carga GP - FM	Carregadeira	994	PM6313
Carga	Carga GP - FM	Carregadeira	994	PM6311
Carga	Carga GP - FM	Carregadeira	994	PM6312

Cardinalidade: Muitos para um (*:1)

Direção do filtro cruzado: Único

Ativar este relacionamento Aplicar filtro de segurança em ambos os sentidos

Pressuponha integridade referencial

OK Cancelar

Figura 19 – Edição do tipo de relacionamento entre as tabelas importadas para o Microsoft Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

3.6 Construção dos Principais Indicadores

Nesta etapa do projeto, serão apresentados os principais indicadores desenvolvidos e utilizados nos *dashboards* para o acompanhamento das famílias dos ativos móveis. A utilização do Microsoft Power BI como ferramenta para a construção dos indicadores possibilitou a criação de cálculos e aplicação de funções DAX (*Data Analysis Expressions*) para processar os dados e gerar métricas valiosas. Isso resultou em painéis interativos, intuitivos e personalizados, que atendem às necessidades específicas da gestão da mineradora. Sendo a elaboração desses indicadores é crucial para a análise e tomada de decisão no processo de gestão da manutenção.

3.6.1 Disponibilidade Física

O indicador de Disponibilidade Física (DF) é de extrema importância para a gestão dos equipamentos móveis. Para sua construção, foram extraídos dados relevantes das colunas do banco de dados do Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina. A equação 2.1 foi utilizada para calcular a DF no Microsoft Power BI, onde a soma das horas calendário é subtraída pelas horas de manutenção (considerando tanto as preventivas quanto as corretivas) e, em seguida, o resultado é dividido pelas horas calendário. É importante mencionar que a função *BLANK()* foi utilizada para ignorar os valores em branco, garantindo a precisão do cálculo. A Figura 20 ilustra

como a equação foi aplicada no Power BI para construir o indicador de Disponibilidade Física.



Figura 20 – Equação utilizada para construir o indicador de Disponibilidade Física (DF) no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

3.6.2 Tempo Médio Entre Falhas

O indicador de Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) também utiliza a base de dados do Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina. Entretanto, nesse caso, é considerado apenas o apontamento de falhas e são levadas em conta somente as manutenções corretivas. A equação 2.2 foi utilizada para calcular o MTBF no Microsoft Power BI. Esse indicador é essencial para avaliar o intervalo médio de tempo entre as falhas dos equipamentos, possibilitando uma melhor compreensão do desempenho e da confiabilidade dos ativos. A Figura 21 demonstra a aplicação da equação no Power BI para construir o indicador de Tempo Médio Entre Falhas.



Figura 21 – Equação utilizada para construir o indicador de Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

3.6.3 Tempo Médio de Reparo

Assim como o MTBF, o indicador de Tempo Médio de Reparo (MTTR) também considera apenas as manutenções corretivas registradas no Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina. A equação 2.3 foi utilizada para calcular o MTTR no Microsoft Power BI. Esse indicador é crucial para compreender o tempo médio necessário para reparar um equipamento após uma falha, permitindo uma rápida resposta a problemas e a otimização do processo de manutenção. A Figura 22 ilustra como a equação foi aplicada no Power BI para construir o indicador de Tempo Médio de Reparo.

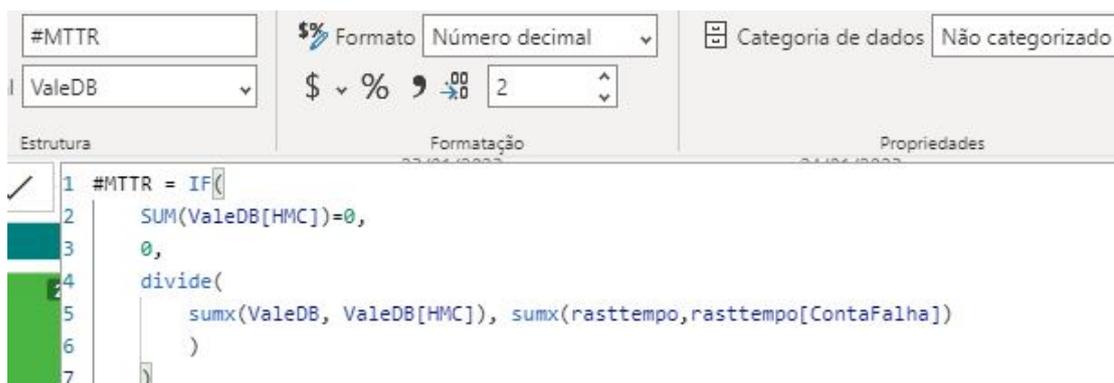


Figura 22 – Equação utilizada para construir o indicador de Tempo Médio De Reparo (MTTR) no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

3.7 Elaboração do Perfil de Perdas

Uma das etapas mais cruciais deste projeto é o desenvolvimento do perfil de perdas, o qual serve como a base de sustentação para a priorização dos ativos, seguindo o princípio de Pareto 80/20, que busca concentrar esforços onde se tem maior impacto.

A criação do perfil de perdas requer a formulação de medidas-chave, que serão posteriormente utilizadas na construção dos painéis de controle do Perfil de Perdas. Todo esse processo é fundamentado nas bases de dados apresentadas no capítulo anterior, garantindo a qualidade e relevância dos resultados obtidos. Esses gráficos são segmentados em duas linhas principais: uma relativa às horas de manutenção corretiva e outra ao número de falhas. A elaboração dessas métricas baseia-se em cálculos específicos que, quando integrados aos painéis, oferecem uma visão abrangente e detalhada das perdas.

As primeiras medidas criadas consistem no cálculo do número total de horas de manutenção corretiva, conforme ilustrado na Figura 23, e o cálculo do número total de falhas, como representado na Figura 24. Essas medidas são essenciais, pois proporcionam a base necessária para a composição dos gráficos do perfil de perdas.

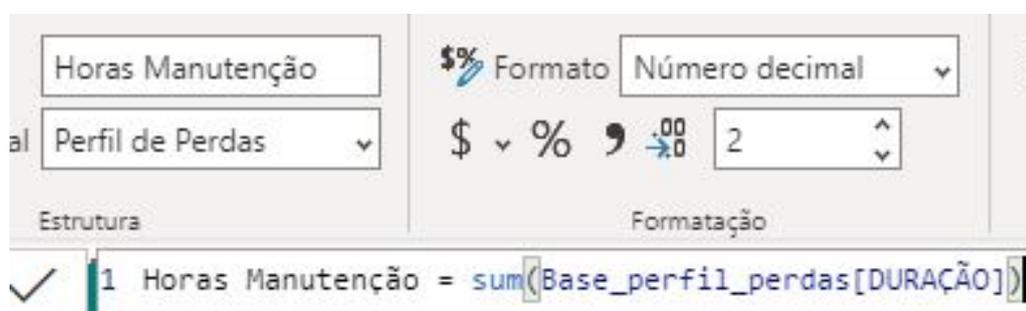


Figura 23 – Cálculo utilizado para determinar as Horas de Manutenção Corretiva no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

A próxima fase envolve a criação de funções que permitem a priorização e a visualização

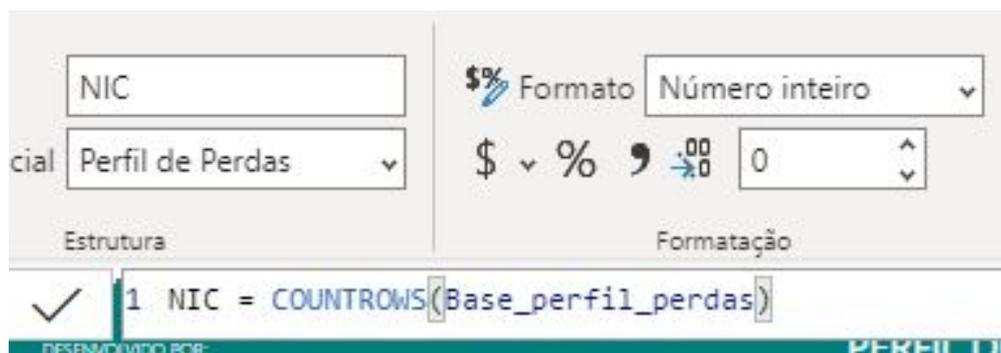


Figura 24 – Cálculo utilizado para determinar o Número de Falhas no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

clara dos gráficos de Pareto. Um exemplo prático disso é a construção do gráfico de Pareto por ativo. Nesse contexto, a medida *RANKX* do Power BI, apresentada na Figura 25, desempenha um papel crucial ao ordenar os ativos com base em um parâmetro específico, como as horas de manutenção corretiva por ativo.

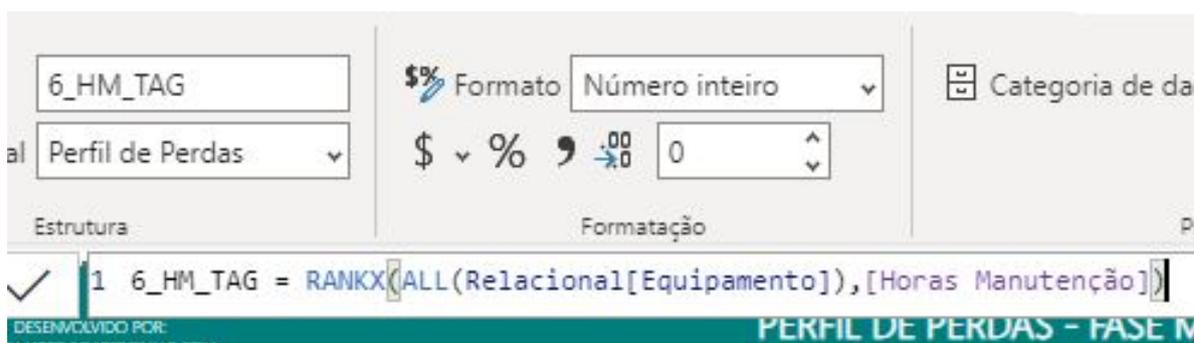


Figura 25 – Cálculo utilizado para aplicar a função *RANKX* no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Após o ranqueamento dos ativos, como representado na Figura 26, a função *CALCULATE* é empregada para calcular a porcentagem acumulada dos ativos. Essa porcentagem representa a parcela de impacto cumulativo que cada equipamento exerce no gráfico de Pareto.

Visando aprimorar a visualização do gráfico de Pareto, a medida *FORMAT* é empregada. Ela compara o valor acumulado e determina o valor 1 para porcentagens menores que 81%, enquanto atribui o valor 0 para valores diferentes. Isso resulta na formatação do gráfico, destacando os equipamentos com maior impacto em vermelho (valor 1) e os demais em cinza (valor 0), como mostrado na Figura 27.



Figura 26 – Cálculo utilizado para determinar a porcentagem acumulada no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

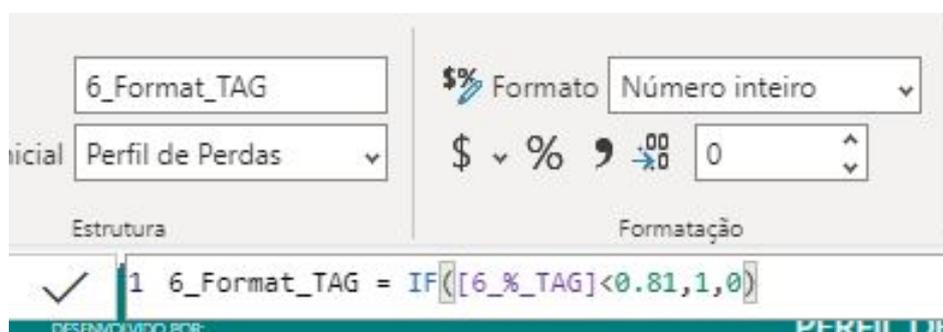


Figura 27 – Cálculo utilizado para aplicar a função *FORMAT* no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Finalizando essa etapa, as equações foram replicadas para diversas formatações, abrangendo ativos por sistema, conjunto, item e modo de falha. Essa abordagem permite a visualização detalhada das perdas, considerando tanto a quantidade de impacto por horas de manutenção corretiva quanto pelo número de falhas. Nos gráficos das Figuras 28 e 29, apenas os 10 principais impactos foram considerados para facilitar a visualização e a interpretação dos resultados.

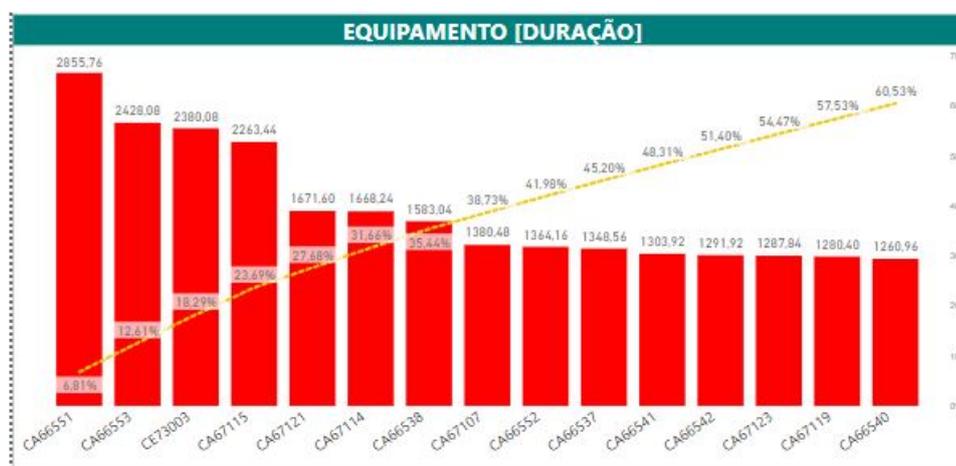


Figura 28 – Gráfico de Pareto por equipamento, considerando as horas de manutenção corretiva. Fonte: Microsoft Power BI (2023)



Figura 29 – Gráfico de Pareto por equipamento, considerando o número de falhas. Fonte: Microsoft Power BI (2023)

3.8 Elaboração do Diagrama Jack-knife

A elaboração do Diagrama Jack-Knife constitui uma etapa de suma importância no projeto, uma vez que essa ferramenta desempenha um papel crucial na análise e na priorização de falhas nos equipamentos móveis. O Diagrama Jack-Knife é um gráfico de dispersão logarítmico que emprega limites predefinidos para criar regiões distintas e facilitar a identificação e classificação das falhas.

A construção desse gráfico de dispersão implica na definição de limites que permitem categorizar as falhas em três principais grupos: agudas, crônicas e críticas. Essa categorização é embasada na relação entre o eixo y , que representa o Tempo Médio de Reparo (MTTR) conforme expresso na equação 2.3, e o eixo x , que corresponde ao número de falhas. Dois limites distintos, n e MTTR, desempenham um papel fundamental nesse processo.

O primeiro limite, n , é responsável por separar as falhas crônicas das demais categorias. De acordo com a Figura 30, a função *MAXX* determina o maior valor de MTTR para as falhas consideradas crônicas. Isso é crucial para definir esse limiar de distinção.

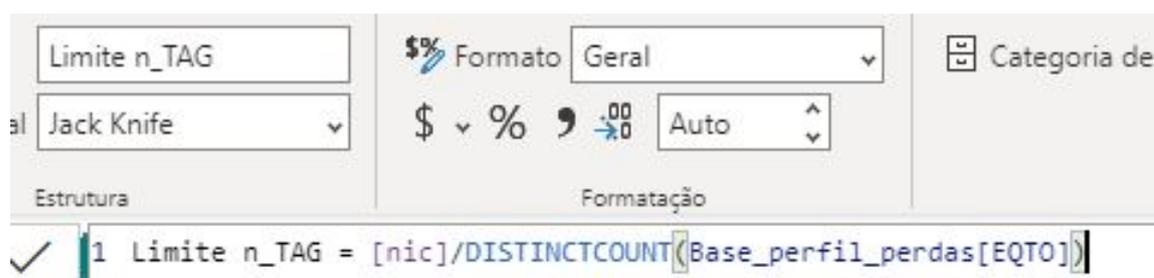


Figura 30 – Equação para definir o limite n no gráfico de dispersão, separando as falhas crônicas. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

O segundo limite, representado pela Figura 31, é aplicado para separar as falhas agudas.

Nesse caso, a função *MINX* é empregada para determinar o menor valor de MTTR correspondente a essa categoria. A distinção proporcionada por esse limite é essencial para a análise das falhas agudas.

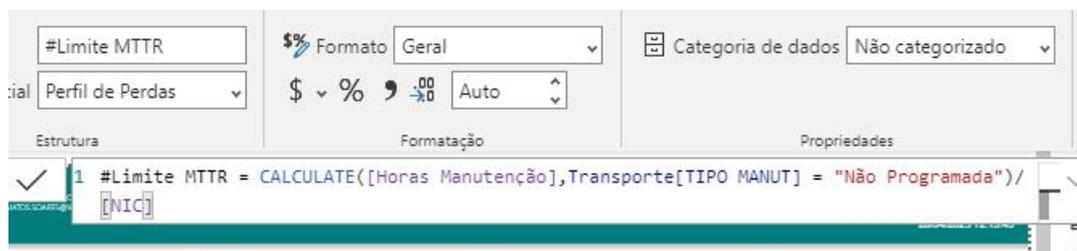


Figura 31 – Equação para definir o limite MTTR no gráfico de dispersão, separando as falhas agudas. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Além desses limites, uma medida importante aplicada previamente na elaboração do Perfil de Perdas é empregada para calcular o valor acumulado em porcentagem, conforme ilustrado em 26. Essa medida é essencial para determinar o limite d no Diagrama Jack-Knife. O intuito é identificar os modos de falha que representam 80% do tempo de parada total. Ou seja, os maiores tempos de parada são somados acumulativamente até que a soma alcance 80%. O resultado desse cálculo é representado no gráfico, que, assim como no Perfil de Perdas, é formatado visualmente para realçar as informações relevantes, como exemplificado na Figura 32.

Dessa maneira, o Diagrama Jack-Knife se apresenta como uma ferramenta fundamental para a análise estratégica das falhas, permitindo uma identificação mais eficiente das prioridades e uma abordagem mais informada na alocação de recursos para a manutenção.

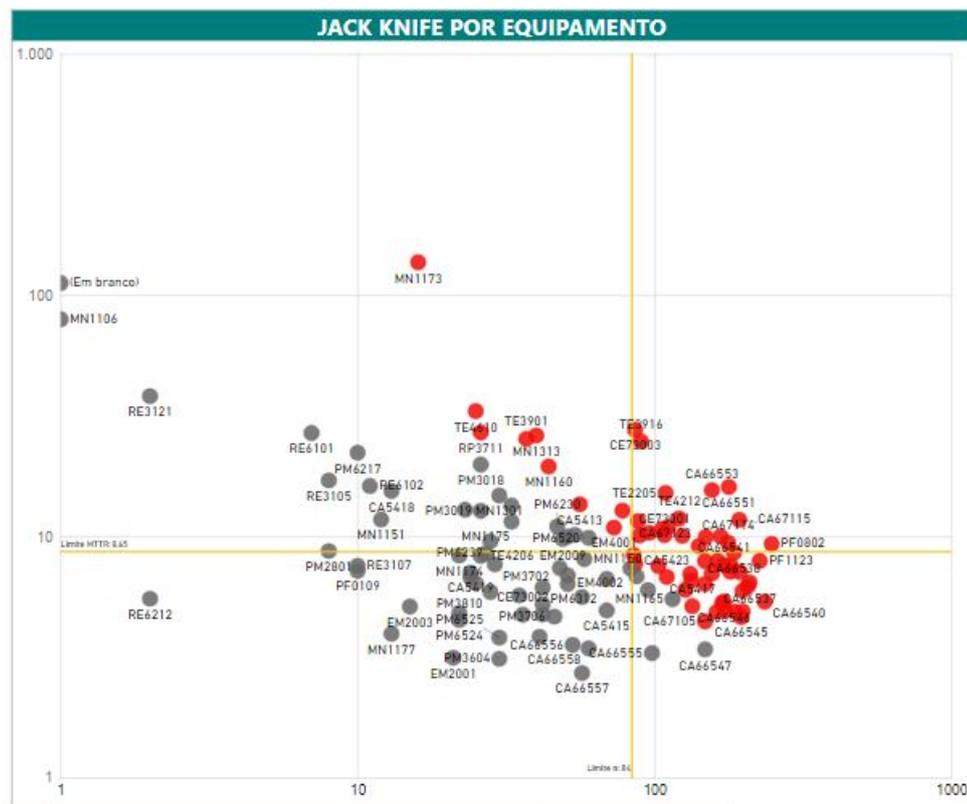


Figura 32 – Diagrama Jack-Knife por equipamento, formatado com o limite d . Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os painéis de controle e visualização resultantes do desenvolvimento e aplicação das técnicas de tratamento de dados, criação de medidas e elaboração das ferramentas discutidas anteriormente. O foco reside na gestão da manutenção dos equipamentos móveis de uma mineradora de grande porte, demonstrando como os indicadores de desempenho, o Perfil de Perdas e o Diagrama Jack-Knife contribuem para a análise estratégica e a tomada de decisões informadas.

A apresentação desses painéis de controle e visualização marca um avanço significativo na gestão da manutenção dos equipamentos móveis da mineradora, fornecendo informações embasadas em dados sólidos que orientam decisões mais assertivas e estratégicas. Ao longo deste capítulo, são discutidos em detalhes cada um dos painéis e suas contribuições para a otimização dos processos de manutenção e o aumento da disponibilidade dos ativos.

4.1 Painel de Indicadores de *Desempenho*

O Painel de Indicadores de *Desempenho* desempenha um papel fundamental no contexto da gestão da manutenção, representando uma ferramenta de destaque no monitoramento abrangente das famílias de ativos móveis. Nesse painel, é possível obter uma visão completa do cenário operacional, tanto em uma perspectiva global da família de ativos como também de maneira mais específica, considerando os ativos individuais. Essa abordagem intuitiva e eficaz possibilita uma análise aprofundada dos principais indicadores que regem a eficiência das atividades de manutenção.

O painel engloba uma série de informações essenciais, abrangendo desde a segmentação dos tipos de manutenção realizados até o impacto das horas de manutenção corretiva e a Disponibilidade Física (DF) por equipamento, conforme ilustrado na Figura 33.

A Figura 34 apresenta um detalhamento mais específico por equipamento, permitindo uma análise de priorização dos ativos que mais impactaram na disponibilidade operacional. Aqui, são destacados elementos cruciais, como a distribuição das horas de manutenção por categorias de corretiva e preventiva, bem como o número de falhas registradas. A disposição diária no painel à esquerda e mensal à direita oferece uma visualização mais detalhada dos padrões e tendências ao longo do tempo.



Figura 33 – Painel de Indicadores de Desempenho da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (parte 1/4). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

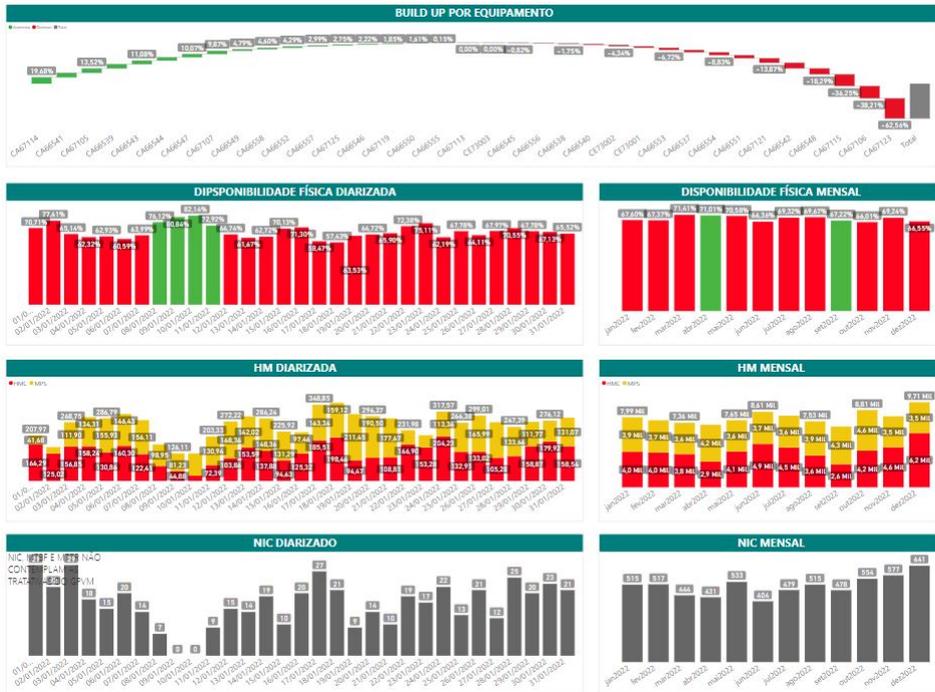


Figura 34 – Painel de Indicadores de Desempenho da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (parte 2/4). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

No âmbito da confiabilidade, a Figura 35 exibe os indicadores de Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) e Tempo Médio de Reparo (MTTR), proporcionando uma avaliação direta dos melhores e piores ativos em termos de desempenho. Esses indicadores têm um papel crucial na identificação da eficácia das operações de manutenção e na tomada de decisões estratégicas.



Figura 35 – Painel de Indicadores de Desempenho da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (parte 3/4). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

A Figura 36 conclui o painel com uma tabela de apontamentos de falha, acompanhada de comentários da equipe de turno em relação aos eventos ocorridos. Além disso, oferece uma visão global consolidada dos indicadores, permitindo uma análise panorâmica da desempenho dos ativos e das atividades de manutenção.

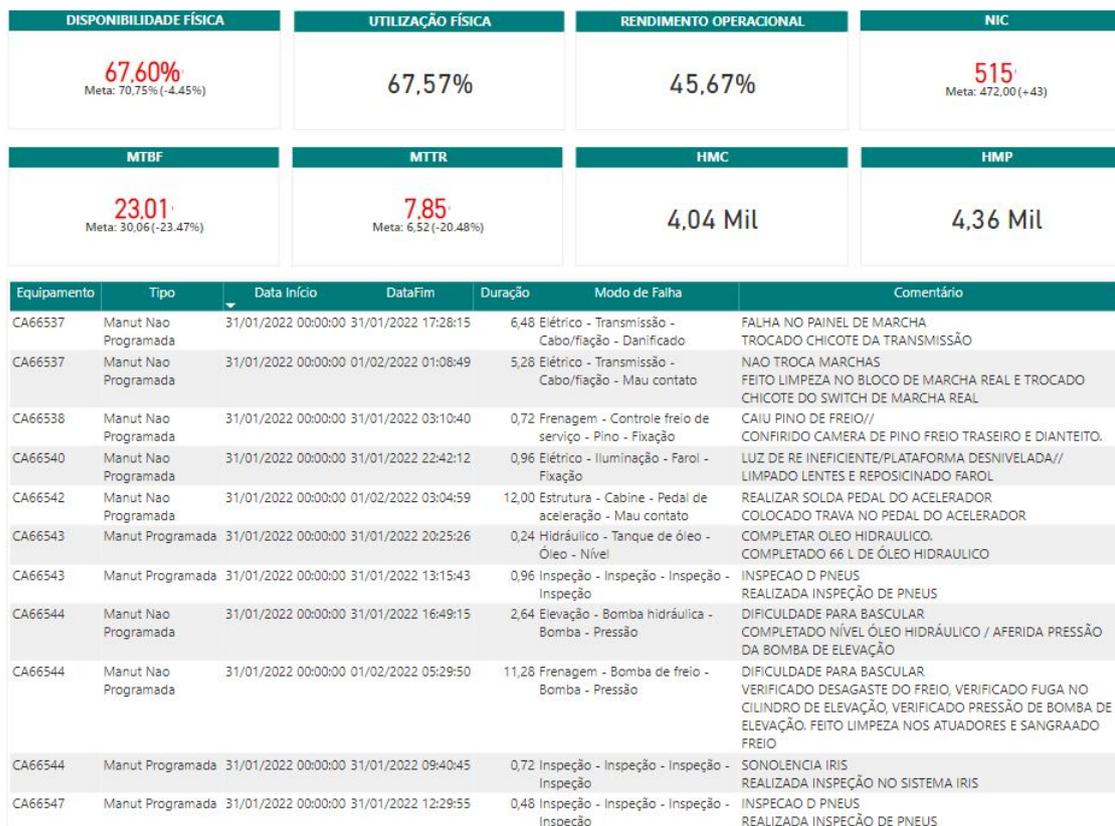


Figura 36 – Painel de Indicadores de Desempenho da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (parte 4/4). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

A introdução deste painel marca um avanço significativo na gestão de manutenção de equipamentos móveis, com implicações profundas. Ao oferecer uma abordagem altamente eficaz para monitorar diariamente a saúde dos ativos, os benefícios são notáveis. As informações são apresentadas de forma clara e acessível, proporcionando à gestão de manutenção uma base sólida e maior assertividade. Esse progresso capacita a tomada de decisões estratégicas baseadas em dados sólidos, impulsionando a melhoria contínua das operações. As relações entre as ferramentas e os painéis utilizados nos relatórios se entrelaçam para garantir uma visualização abrangente dos pontos críticos.

4.2 Painel do Perfil de Perdas

O Painel do Perfil de Perdas representa uma ferramenta crucial na priorização de ações para os responsáveis técnicos da manutenção de equipamentos móveis. Desde as equipes de planejamento e controle da manutenção até as áreas de engenharia e confiabilidade, este painel é fundamental para identificar os principais pontos de atenção. Baseado na abordagem do pareto 80/20, o painel permite identificar os eventos mais impactantes.

A Figura 37 exibe a primeira seção deste painel, oferecendo filtros para a aplicação e priorização. Na porção esquerda, são apresentadas as priorizações com base na duração das horas

de manutenção corretiva, enquanto à direita estão as prioridades conforme o número de falhas.



Figura 37 – Painel do Perfil de Perda da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (Parte 1/5). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

A Figura 38 enfoca as principais frotas de caminhões fora de estrada que influenciam a manutenção. Nesse contexto, a priorização é destinada aos caminhões do modelo 789D, tanto em relação às horas de manutenção corretiva quanto ao número de falhas.

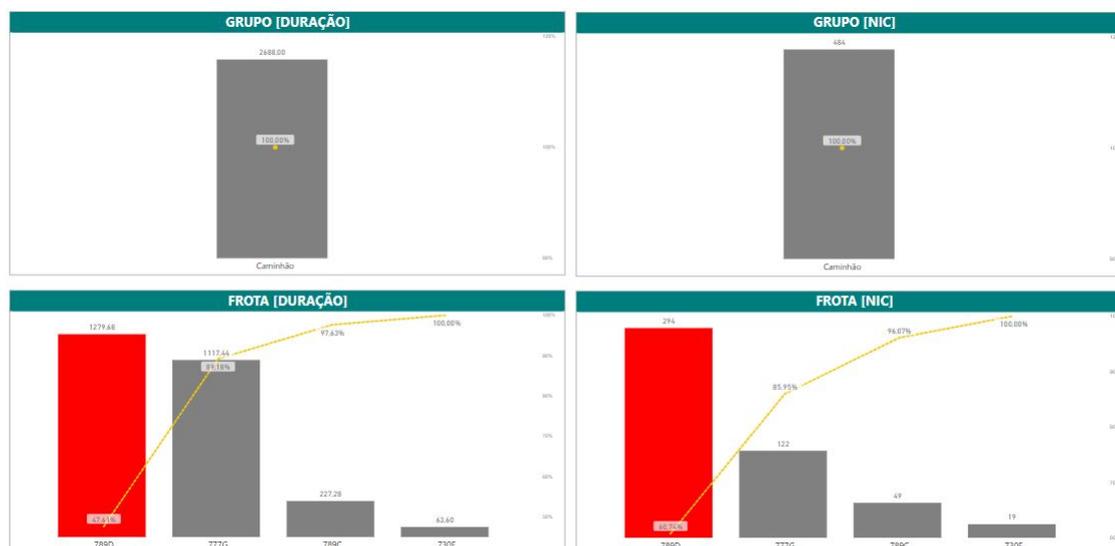


Figura 38 – Painel do Perfil de Perda da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (Parte 2/5). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

A Figura 39 apresenta uma visualização relacionada aos caminhões e sistemas que mais impactam a manutenção. Essas informações são provenientes do sistema integrado de acompanhamento de mina.

Aprofundando ainda mais a análise, a Figura 40 estratifica as prioridades por conjunto e por item do ativo, proporcionando uma visão detalhada das áreas que requerem atenção.

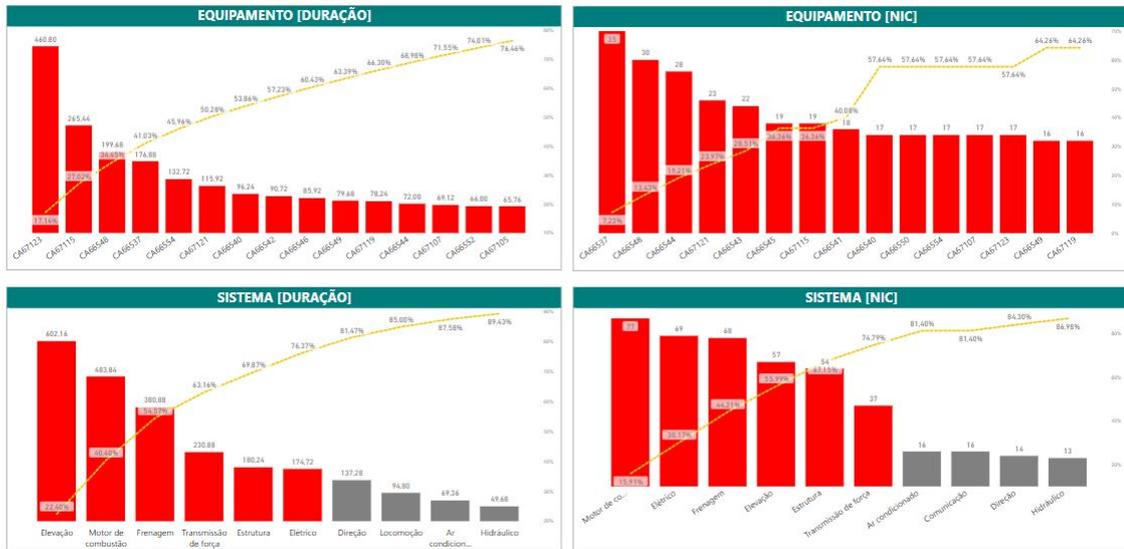


Figura 39 – Painel do Perfil de Perda da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (Parte 3/5). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

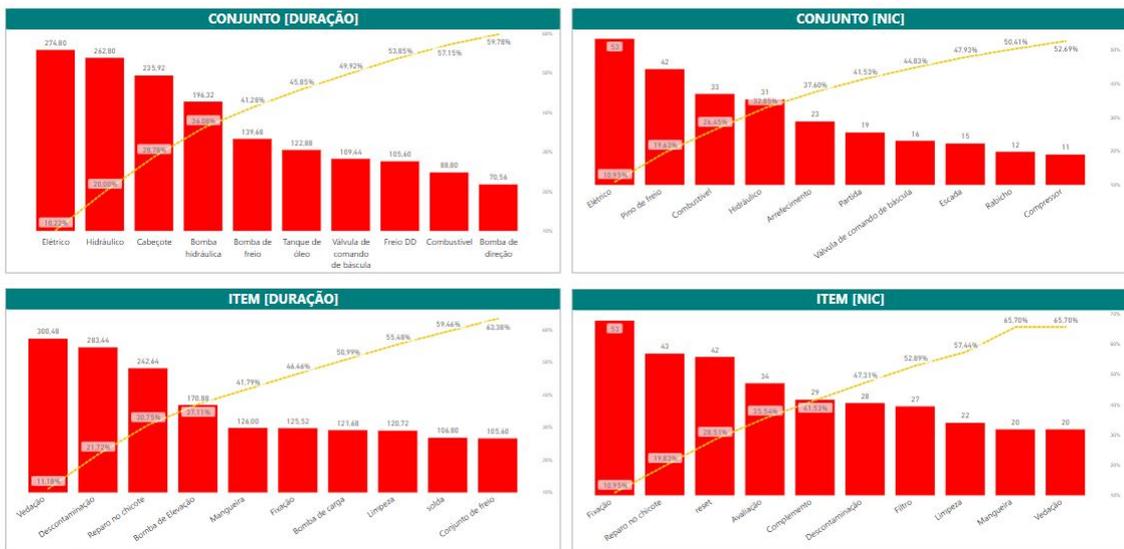


Figura 40 – Painel do Perfil de Perda da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (Parte 4/5). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Finalizando, a representação no Painel do Perfil de Perdas concatena sistemas, conjuntos e itens, revelando as principais falhas nos ativos. Acompanhado por tendências de duração e quantidade de falhas, como mostrado na Figura 41, o painel proporciona uma visão abrangente para a tomada de decisões embasadas.

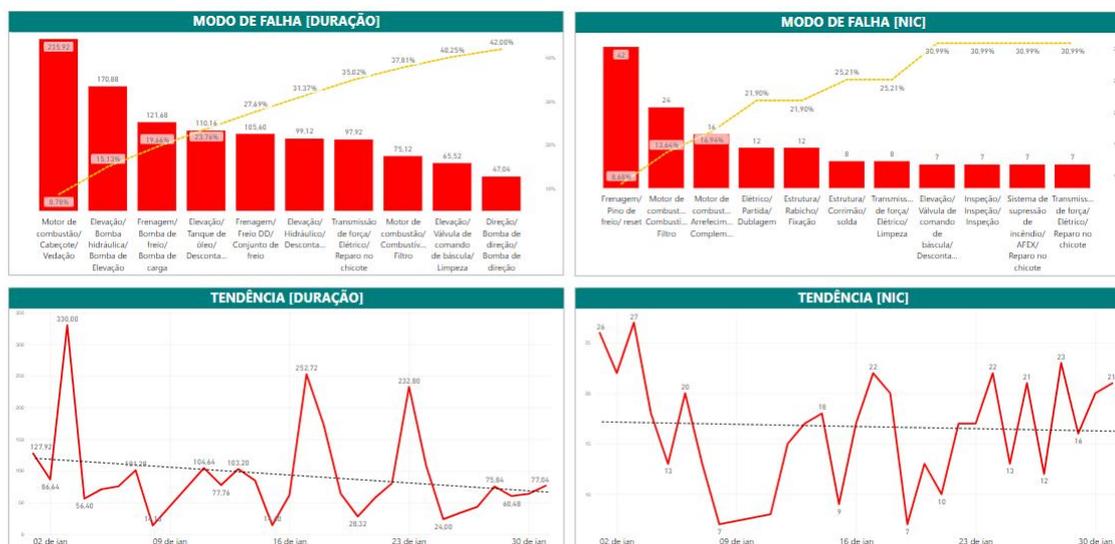


Figura 41 – Painel do Perfil de Perda da Manutenção de Equipamentos Móveis no Power BI (Parte 5/5). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Conjuntamente, o Painel do Perfil de Perdas, representado pelo diagrama de Pareto, proporciona uma visão abrangente e orientada por dados das áreas que exigem intervenção imediata. Conforme afirmado por Vilfredo Pareto, "o Princípio de Pareto, ou a regra 80/20, é uma ferramenta eficaz para identificar as causas predominantes de problema" (PARETO, 1896). Essa ferramenta desempenha um papel fundamental na rotina diária da equipe, seguindo o princípio de que frequentemente 20% das causas podem estar contribuindo com 80% dos problemas. Isso orienta a equipe de PCM a priorizar estrategicamente as ações, concentrando esforços onde têm o maior impacto. Essa abordagem impulsiona melhorias contínuas na gestão da manutenção, maximizando a eficiência e minimizando os custos operacionais. Sendo uma ferramenta valiosa que ajuda a identificar e priorizar os principais problemas ou causas subjacentes, permitindo o direcionamento adequado dos recursos de forma eficaz para abordar os desafios mais críticos.

4.3 Painel do Diagrama Jack-Knife

A última etapa desenvolvida no projeto focou na criação do Painel do Diagrama Jack-knife. Esse painel oferece uma abordagem adicional à priorização, indo além do perfil de perdas. Ao considerar os limites calculados e apresentados, ele se torna uma ferramenta eficaz para auxiliar na distinção dos ativos ou modos de falha que devem ser priorizados para intervenção dentro do processo de manutenção.

A Figura 42 é composta por filtros semelhantes aos dos outros painéis e exibe uma análise de dispersão para frotas e equipamentos, indicando as prioridades conforme os quadrantes do diagrama.



Figura 42 – Painel do Perfil do Diagrama Jack-knife de Equipamentos Móveis no Power BI (Parte 1/2). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Além disso, ao analisar os resultados apresentados no Painel do Diagrama Jack-knife, pudemos identificar um padrão intrigante relacionado à confiabilidade. Observamos que certos ativos, embora tenham um número relativamente baixo de falhas, apresentam tempos de reparo (MTTR) significativamente maiores quando uma falha ocorre. Esse *insight* levou a explorar ainda mais a relação entre MTTR e MTBF para esses ativos específicos, permitindo uma análise mais aprofundada da confiabilidade e suas implicações na estratégia de manutenção.

O painel é complementado pela Figura 43, que conclui a apresentação do mesmo diagrama e suas prioridades por sistema, conjunto, item e classe de falha. Os pontos vermelhos destacam as falhas avaliadas como as mais críticas em suas respectivas categorias.



Figura 43 – Painel do Perfil do Diagrama Jack-knife de Equipamentos Móveis no Power BI (Parte 2/2). Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Essa etapa final do projeto resultou em uma ferramenta para a gestão da manutenção, permitindo uma abordagem mais refinada na identificação e priorização de falhas críticas nos equipamentos móveis. Com o Painel do Diagrama Jack-knife, a equipe responsável pela manutenção está melhor equipada para tomar decisões informadas e estratégicas, direcionando recursos de forma eficiente para as áreas que necessitam de intervenção prioritária.

4.4 Análise de Perdas Para Caminhão Fora-de-Estrada

Para exemplificar a aplicação conjunta das três ferramentas de priorização apresentadas como resultados do desenvolvimento e tratamento de dados no Power BI, é realizada uma análise de *desempenho* de um ativo pertencente à família de transporte. A escolha se baseia no fato de que, conforme evidenciado na Figura 44, essa família apresentou o pior desempenho em horas de manutenção corretiva no ano de 2022, o período selecionado dentro do perfil de perdas.

Ao observar o painel de *desempenho*, identifica-se que a família de ativos em questão alcançou 68,48% de disponibilidade física no ano analisado, contra uma meta de 71,29%, resultando em uma diferença negativa de 2,81%. Isso se traduz em um impacto total de mais de 49 mil horas de manutenção corretiva e mais de 50 mil horas de manutenção preventiva, como destacado na Figura 45.

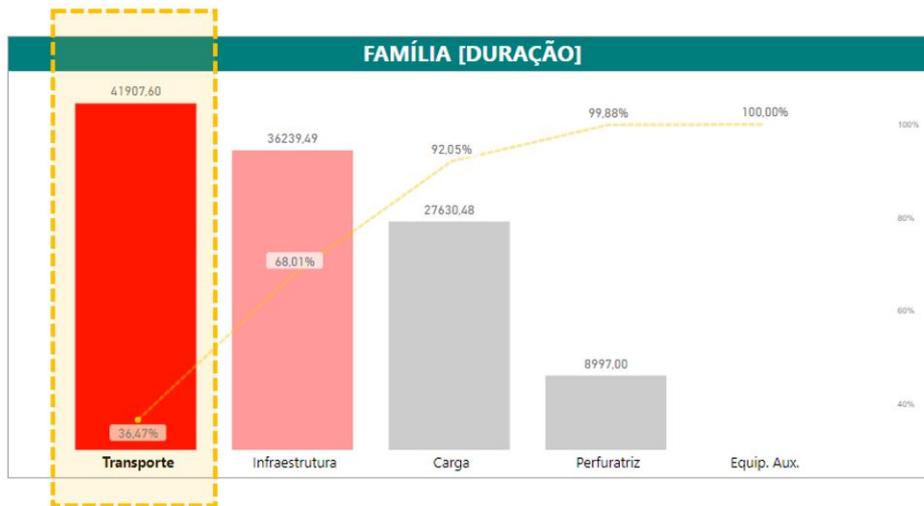


Figura 44 – Perfil de perdas considerando a priorização da família de transporte referente ao ano de 2022 no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

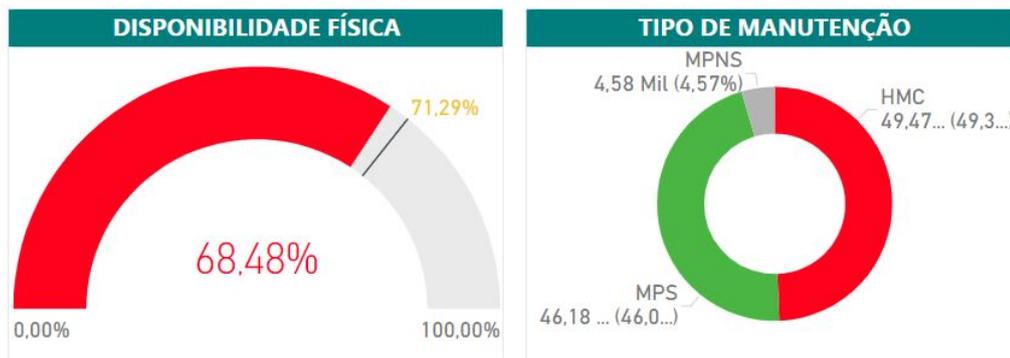


Figura 45 – Disponibilidade Física da família de transporte no ano de 2022 no Power BI. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Por meio do perfil de perdas, foi possível identificar que a frota composta pelos modelos 789D apresenta o pior desempenho tanto em termos de horas de manutenção corretiva quanto em número de falhas, conforme exemplificado na Figura 46.

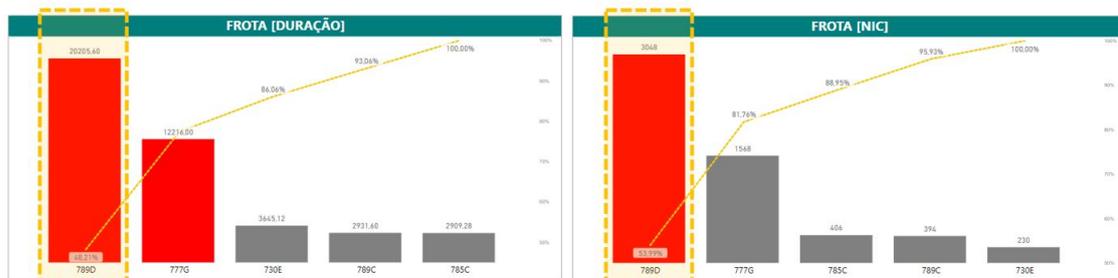


Figura 46 – Perfil de perdas por frota indicando o impacto de cada uma delas em HMC e número de falha. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

Analisando a disponibilidade física dos caminhões individuais dentro da frota 789D

(Figura 47), foi possível identificar a influência de cada caminhão nas perdas globais, tanto com base nas programações planejadas quanto considerando a disponibilidade física planejada da frota.

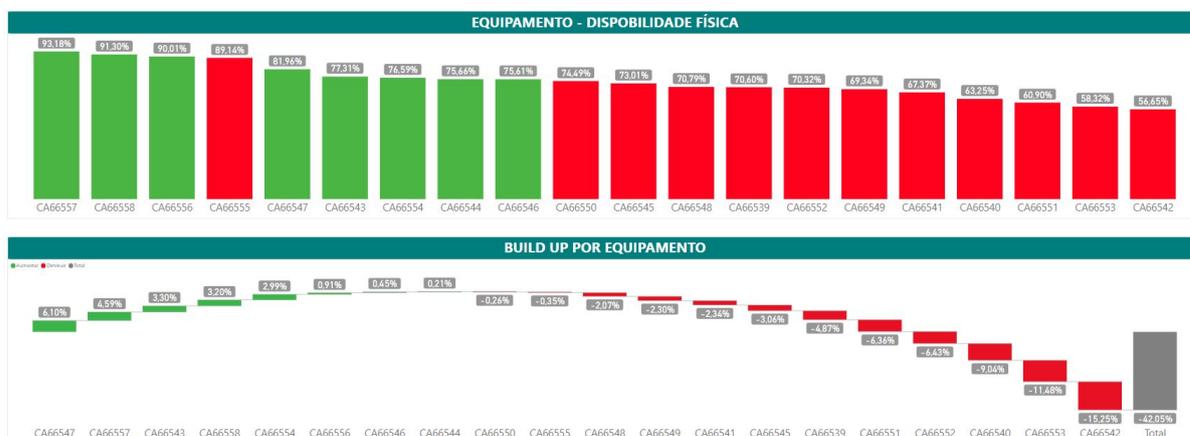


Figura 47 – Disponibilidade física da frota 789D no ano de 2022. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

A priorização com base no Perfil de Perdas, considerando a Duração das Horas de Manutenção Corretiva (HMC) e o Número de Falhas, desempenha um papel crítico na otimização dos esforços de manutenção. Para ilustrar essa abordagem, o ativo CA66540 foi escolhido para uma análise detalhada, devido ao seu notável impacto. Este ativo específico registrou um total de 1260 horas de manutenção corretiva e experimentou 235 falhas (como mostrado na Figura 48). Essa seleção estratégica é uma resposta direta à abordagem do Princípio de Pareto.

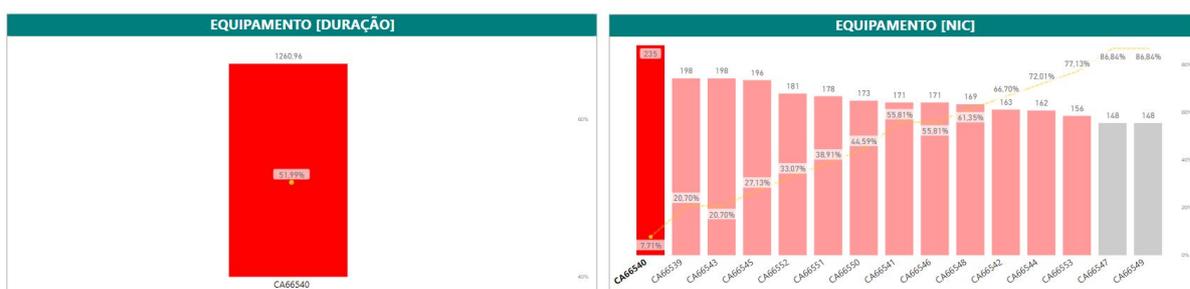


Figura 48 – Impacto de perdas do CA66540 por HMC e número de falha no ano de 2022. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

A análise prossegue ao investigar as tendências do MTBF e MTTR ao longo dos meses de 2022, como evidenciado na Figura 49. Essa análise destaca o fato de que, ao longo desse período, o ativo CA66540 esteve consistentemente na zona vermelha, indicando que está fora das metas estabelecidas, com um MTBF baixo e um MTTR elevado.

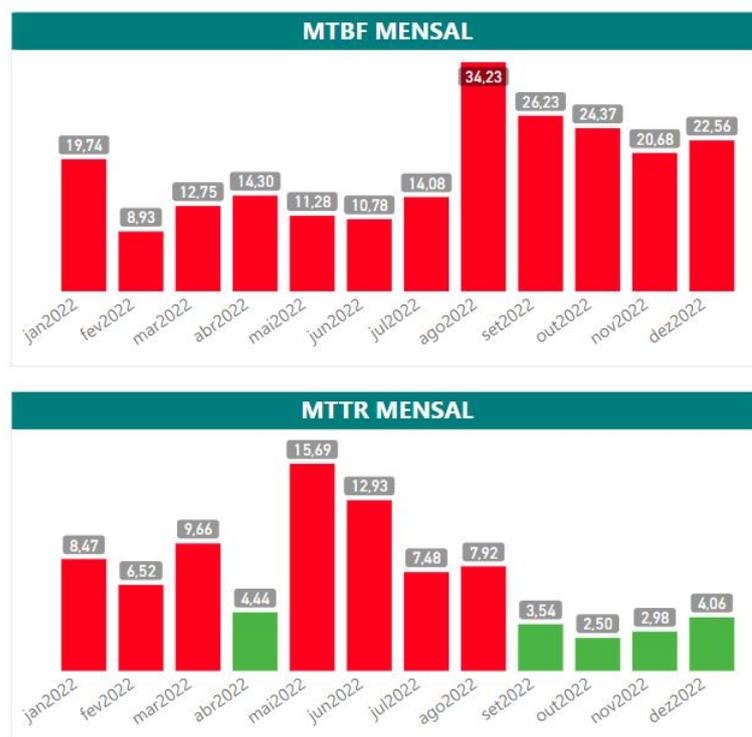


Figura 49 – MTBF e MTTR do CA66540 no ano de 2022. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

A análise do diagrama Jack-Knife (Figura 50) revela que os sistemas de locomoção e elevação são os principais ofensores na região crítica, enquanto a transmissão de força é identificada como um problema agudo (representado pelo limite d). Além disso, os sistemas elétrico, hidráulico e de estrutura são identificados como crônicos, sendo os principais responsáveis pelo baixo MTBF.

Nessa breve análise, apresentada para exemplificar a utilização do Microsoft Power BI nas rotinas de manutenção, torna-se claro que a plataforma oferece *insights* valiosos para identificar oportunidades de atuação. Por exemplo, direcionar os esforços das equipes responsáveis para priorizar as ações de manutenção de forma mais efetiva, além de permitir um planejamento e controle da manutenção mais assertivos.

Os resultados obtidos auxiliam na revisão dos planos de manutenção preventiva, garantindo que eles estejam alinhados com as falhas identificadas. A visualização das informações por meio de painéis intuitivos e interpretáveis facilita a compreensão dos principais ofensores, como demonstrado pelas análises da família de transporte, da frota 789D e do ativo CA66540.

O uso combinado das ferramentas de priorização, como o Perfil de Perdas, o Painel de Indicadores de Desempenho e o Diagrama Jack-Knife, oferece uma visão abrangente do desempenho dos ativos, apoiando as decisões informadas e estratégicas da equipe de manutenção. Ao possibilitar a identificação de problemas críticos e a alocação eficiente de recursos, essas ferramentas contribuem para a otimização dos processos de manutenção e, conseqüentemente,

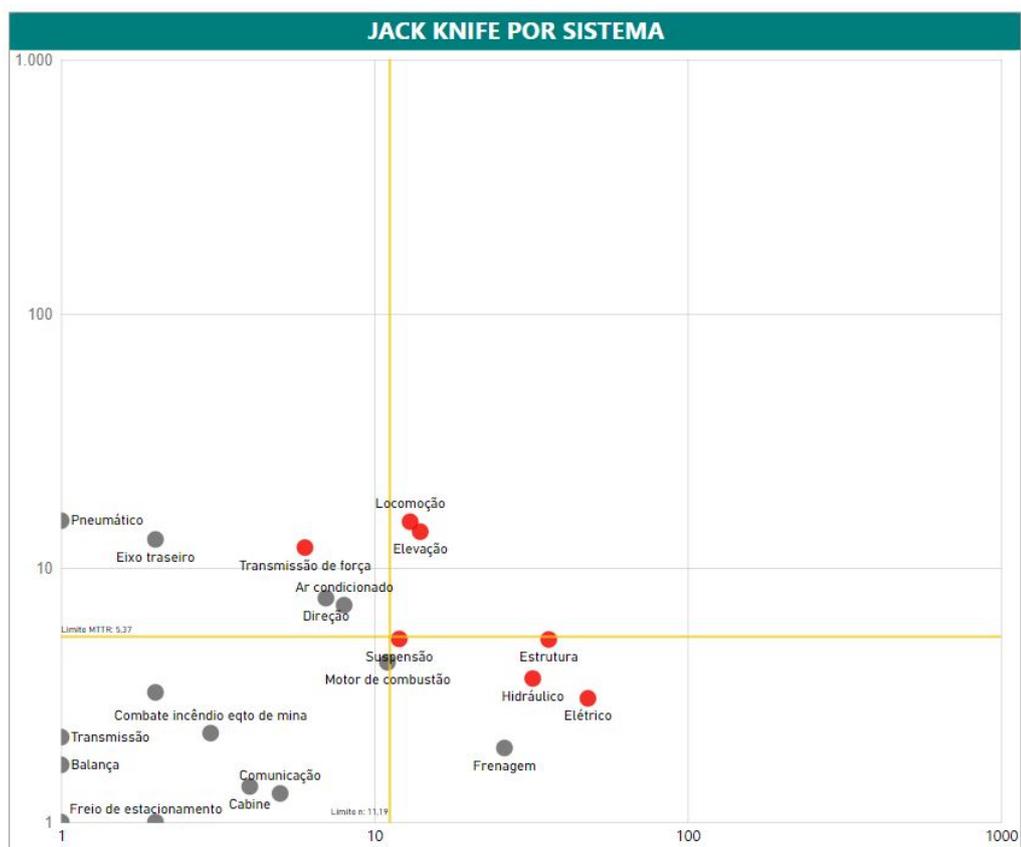


Figura 50 – Diagrama Jack-Knife do CA66540 no ano de 2022. Fonte: Adaptada pelo autor, Microsoft Power BI (2023)

para a melhoria da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos móveis. Observa-se esse comportamento com a aderência ao indicador de MTTR a partir do mês de setembro de 2022 e uma melhora no MTBF a partir de agosto de 2022 (conforme apresentado pela Figura 49).

Portanto, a utilização do Power BI como suporte à análise de perdas e priorização na manutenção se mostra uma abordagem eficaz e promissora, que permite uma abordagem mais proativa e direcionada para lidar com os desafios e demandas do gerenciamento de ativos em um contexto industrial.

Com isso, encerra-se a exposição dos resultados obtidos por meio da aplicação das ferramentas desenvolvidas, evidenciando o valor que essas abordagens podem agregar ao setor de manutenção de equipamentos móveis.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentado um estudo detalhado sobre a aplicação de técnicas de análise de dados e priorização na gestão da manutenção de equipamentos móveis em uma mineradora de grande porte. O objetivo principal foi desenvolver e aplicar ferramentas que permitissem uma abordagem mais eficiente e direcionada para identificação e solução de problemas de manutenção, visando aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos ativos.

Ao longo do estudo, foram explorados três principais painéis desenvolvidos no ambiente Power BI: o Painel de Indicadores de Desempenho, o Painel do Perfil de Perdas e o Painel do Diagrama Jack-Knife. Cada um desses painéis contribuiu para uma análise aprofundada dos dados de manutenção e a priorização dos ativos mais críticos.

O Painel de Indicadores de Desempenho permitiu uma visão abrangente da saúde dos ativos móveis, fornecendo indicadores-chave de desempenho, como Disponibilidade Física, MTBF e MTTR. Com informações claras e de fácil interpretação, a gestão da manutenção ganha em assertividade e embasamento, possibilitando decisões informadas e estratégicas.

O Painel do Perfil de Perdas trouxe à tona os principais ofensores que impactam a disponibilidade dos ativos. Por meio da análise de falhas e da priorização baseada no princípio de Pareto, foi possível direcionar as ações de manutenção para os ativos e modos de falha mais críticos, otimizando recursos e reduzindo perdas.

O Painel do Diagrama Jack-Knife expandiu ainda mais a análise de priorização, considerando limites de confiabilidade calculados e permitindo uma visualização detalhada dos principais sistemas e componentes que contribuem para as perdas. Esse painel adicionou uma camada adicional de profundidade à análise, auxiliando na tomada de decisões estratégicas.

Em conjunto, essas ferramentas forneceram uma metodologia abrangente para a gestão da manutenção, permitindo que a equipe técnica identificasse, priorizasse e atuasse sobre as principais fontes de perdas de disponibilidade e confiabilidade. A análise exemplificada mostrou que a abordagem adotada é eficaz para melhorar a tomada de decisões e otimizar as atividades de manutenção.

É importante ressaltar que este estudo é apenas o começo de um processo contínuo de aprimoramento na gestão da manutenção. A análise de dados e a aplicação de técnicas de priorização devem ser tratadas como um ciclo constante de aprendizado e melhoria, buscando a excelência na operação dos equipamentos.

Em síntese, a implementação dessas ferramentas proporciona uma transformação na forma como a manutenção é planejada, executada e avaliada. A utilização do Microsoft Power BI como suporte à análise de perdas e priorização de manutenção demonstrou ser uma abordagem

eficaz e promissora para a indústria, capaz de gerar resultados tangíveis e sustentáveis.

5.1 Trabalhos Futuros

Este estudo representa apenas o início de uma jornada promissora na área de gestão de manutenção. À medida que as organizações continuam a adotar abordagens baseadas em dados para melhorar a eficiência operacional, há uma riqueza de oportunidades para aprimorar e expandir as ferramentas desenvolvidas neste trabalho.

Uma direção de pesquisa futura envolve a exploração de técnicas avançadas de análise de dados, como aprendizado de máquina e inteligência artificial, para aprimorar a precisão das análises e previsões. Além disso, a expansão dessas ferramentas para outras famílias de ativos permitiria uma visão holística das operações de manutenção em toda a organização.

A integração das ferramentas desenvolvidas com os sistemas de gestão de manutenção já existentes é uma etapa crucial para maximizar o valor dessas soluções. Isso permitiria uma sincronização contínua dos dados entre diferentes sistemas, proporcionando uma visão mais completa e atualizada da saúde dos ativos.

Outro avanço possível seria a construção de uma plataforma integrada que una o Power BI e os bancos de dados com outras ferramentas essenciais, como os sistemas embarcados nos equipamentos móveis. Essa plataforma centralizada de monitoramento de ativos ofereceria uma solução completa, potencializando a eficiência da predição de falhas e otimização da manutenção.

REFERÊNCIAS

- AL-NAJJAR, B.; MAHMOUD, M. Reliability-centered maintenance: An overview. In: IGI GLOBAL. *Industrial Engineering: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. [S.l.], 2014. p. 185–205. Nenhuma citação no texto.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. *ABRAMAN*. Rio de Janeiro, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 17.
- BROWN, R. *Maintenance Efficiency: Metrics, Tools and Strategies*. City: Publisher, 2012. Nenhuma citação no texto.
- DAVIS, A. B.; PAGANO, M. A. *Data-Driven Maintenance: The Power of Business Intelligence*. [S.l.]: Industrial Press, Inc., 2021. Nenhuma citação no texto.
- EXCELÊNCIA, C. *Power BI Essencial*. 2019. Acesso em 15 de agosto de 2023. Disponível em: <http://www.consultoriaexcelencia.com.br/detalhes_pbi.php>. Citado na página 31.
- Global Mining Guidelines Group. *Planning and Control for Maintenance (PCM) in Mining Operations*. 2019. <https://globalminingstandards.org/gmg-guideline-planning-and-control-for-maintenance-pcm-in-mining-operations/>. Citado na página 20.
- HAUGEN, H.; BARABADY, J. Reliability-centered maintenance in the mining industry: a case study of barite grinding mill. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2015. v. 21, n. 3, p. 310–326, 2015. Citado na página 21.
- HERNANDEZ, J. A. *Lean Six Sigma for Hospitals: Simple Steps to Fast, Affordable, and Flawless Healthcare*. 2nd edition. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2011. Citado na página 25.
- HWANG, M.-H. et al. A study on utilization of big data in business intelligence for predictive maintenance. *Symmetry*, 2019. MDPI, v. 11, n. 2, 2019. ISSN 2073-8994. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-8994/11/2/190>>. Nenhuma citação no texto.
- KARDEC, A. *Manutenção: função estratégica*. [S.l.]: Editora Qualitymark, 1998. Citado na página 19.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção-função estratégica*. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2009. Citado na página 17.
- KELLY, A. *Maintenance Planning and Control: Allocation of Maintenance Resources*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- KIMBALL, R.; ROSS, M. *The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling*. [S.l.]: Wiley, 2013. Nenhuma citação no texto.
- KNECHT, J. et al. Mobile mining equipment availability benchmarking. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2006. Emerald Group Publishing Limited, v. 12, n. 2, p. 129–141, 2006. Citado na página 23.

KNIGHTS, P. Downtime priorities, jack-knife diagrams, and the business cycle. *International Journal of Production Research*, 2010. v. 48, n. 11, p. 3247–3255, 2010. Citado na página 27.

LAGO, K. *Webinar: 20 Fatos do Power BI Que Você Precisa Saber*. 2019. Acesso em 13 de agosto de 2023. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=nQxbwRkqSaA>>. Citado na página 31.

LOPES C., B. R. A. R.; CUNHA, R. Análise da utilização de técnicas de manutenção preditiva em equipamentos móveis de mineração. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 2018. v. 1, n. 1, p. 1–24, 2018. Citado na página 18.

MODARRES, M.; KAMINSKIY, M. P.; KRIVTSOV, V. Reliability engineering. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 2016. p. 1–24, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

MONTGOMERY, D. C. *Introduction to Statistical Quality Control*. 8th edition. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2017. Citado na página 25.

MOUBRAY, J. *Reliability-Centered Maintenance*. [S.l.]: Industrial Press Inc., 1997. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.

O que é o Power BI Desktop? <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/desktop-what-is-desktop>. Acessado em: agosto de 2023. Citado na página 32.

PALMER, R. D. *Maintaining Mission Critical Systems in a 24/7 Environment*. Boca Raton, FL: Auerbach Publications, 2003. ISBN 978-0849316239. Citado na página 16.

PARETO, V. *Cours d'économie politique*. Geneva, Switzerland: Librairie Droz, 1896. Citado na página 57.

RODRIGUES, A. D. L. P. et al. A utilização do ciclo pdca para melhoria da qualidade na manutenção de shuts. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 2017. v. 9, n. 18, p. 48–70, 2017. Citado na página 18.

SAITO, E. S.; HORITA, R. Y. Business intelligence como uma ferramenta de gestão. In: *V Encontro Científico e Simpósio de Educação Unisalesiano*. São Paulo: [s.n.], 2015. Acesso em 15 de agosto de 2023. Disponível em: <<http://www.unisalesiano.edu.br/simpósio2015-publicado/artigo0196.pdf>>. Nenhuma citação no texto.

SHAHRIARI, A.; MAHMOODI, M.; MOHAGHEGHIAN, F. A review of reliability in engineering. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2017. v. 7, n. 4, p. 117–128, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

SMITH, A. M. *Reliability, Maintainability, and Risk: Practical Methods for Engineers*. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 978-0123852016. Citado na página 16.

SMITH, I. J. *Reliability-Centered Maintenance*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013. Nenhuma citação no texto.

SMITH, J. *Maintenance and Reliability*. City: Publishing Company, 2008. Nenhuma citação no texto.

STANDARDIZATION, I. O. for. *ISO 9000*. 2021. <https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html>. Citado na página 21.

TANG, X.; LI, C. Reliability analysis of mining equipment: a case study of a crushing plant at jajarm bauxite mine in iran. *ScienceDirect*, 2016. v. 1, n. 1, p. 145, 246–253, 2016. Citado na página 16.

TROJAN, F.; MARÇAL, R. F. M.; BARAN, L. R. Classificação dos tipos de manutenção pelo método de análise multicritério electre tri. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2013. p. 343–357, 2013. Citado na página 17.

VIANA, H. R. G. *PCM: Planejamento e Controle de Manutenção*. Rio de Janeiro, Brazil: Qualitymark, 2002. Citado na página 19.

WASSAN, M. R. Reliability engineering and its importance in industry. *Journal of Quality and Technology Management*, 2018. v. 14, n. 1, p. 101–112, 2018. Citado na página 21.

WESSNER, M. Introduction to reliability engineering. *World Scientific Publishing Company*, 2017. 2017. Citado na página 20.

XENOS, H. G. d'Philippos. *Gerenciando a Manutenção Produtiva*. Nova Lima, Brazil: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 1998. 299 p. Citado na página 15.