



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA E METROVIÁRIA

Emilly Costa Schmidt

**Estratégia de manutenção para simuladores geograficamente distribuídos
aplicados em capacitação na Vale S.A: estudo de caso**

Joinville
2023

Emilly Costa Schmidt

**Estratégia de manutenção para simuladores geograficamente distribuídos
aplicados em capacitação na Vale S.A: estudo de caso**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Ferroviária e Metroviária do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Ferroviária Metroviária.

Orientador(a): Prof. Régis Kovacs Scalice, Dr.

Joinville

2023

Schmidt, Emilly Costa

Estratégia de manutenção para simuladores geograficamente distribuídos aplicados em capacitação na Vale S.A : estudo de caso / Emilly Costa Schmidt ; orientador, Régis Kovacs Scalice, 2023.

57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Graduação em Engenharia Ferroviária e Metroviária, Joinville, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Ferroviária e Metroviária. 2. manutenção. 3. simulador. 4. geograficamente distribuídos . 5. estratégia de manutenção . I. Scalice, Régis Kovacs . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Ferroviária e Metroviária. III. Título.

Emilly Costa Schmidt

Estratégia de manutenção para simuladores geograficamente distribuídos aplicados em capacitação na Vale S.A: estudo de caso

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de engenheira e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Ferroviária e Metroviária.

Joinville, 23 de novembro de 2023.

Coordenação do Curso

Banca examinadora

Prof. Régis Kovacs Scalice, Dr.

Orientador(a)

Prof. Marcus Vinicius Volponi Morteau, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Thiago Silva Martins

Vale S.A

Joinville, 2023.

Dedico esse trabalho aos meus pais Vitor e Edicleia e à minha irmã Vitória.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante essa etapa da minha vida.

Primeiramente aos meus pais, Edicleia e Vitor, que sempre foram a minha base, inspiração e meus maiores incentivadores. E a minha irmã, Vitória, minha parceira. Eu não tenho palavras suficientes para agradecer por seu amor e apoio constante.

Meu namorado, João, por toda a paciência e parceria durante todas as semanas de provas e trabalhos da graduação. Aos meus amigos e as meninas do apartamento 102, que estiveram ao meu lado durante essa jornada, que deixaram tudo mais leve.

A família Costa e a família Schmidt, em especial a memória do meu avô Milton, que sempre apoiaram e valorizaram cada uma das minhas conquistas, sejam elas grandes ou pequenas.

Não posso deixar de expressar minha profunda gratidão ao meu orientador de TCC, o professor Régis, que com paciência e orientação valiosa, guiou meu trabalho de maneira instigadora. Seu comprometimento foi uma fonte constante de motivação.

Também desejo agradecer ao meu orientador de estágio, Thiago Martins, por sua orientação, incentivo e confiança em trabalhar em um projeto que me apaixonei. Minha gratidão se estende à equipe da Tecnologia de Operações de Aprendizagem da Vale S.A. por sua receptividade e por todas as experiências enriquecedoras que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Por fim, quero agradecer a Deus por me guiar e me dar força em todos os momentos desafiadores.

A excelência na Gestão é aquela inspirada pelo engajamento e guiada pelo conhecimento. (Silvana Ladi Ramalho)

RESUMO

O objetivo deste estudo de caso é estabelecer uma estratégia de manutenção para simuladores geograficamente distribuídos (GDA) na Vale S.A. A empresa reconheceu a necessidade de aprimorar a gestão de seus simuladores de capacitação, levando em consideração a complexidade da rede e as características da equipe. Além de desenvolver estudos na área de manutenção de simuladores. O foco principal deste trabalho é a definição de uma estratégia de manutenção eficiente para os simuladores, garantindo a disponibilidade e a confiabilidade desses ativos. Outros objetivos incluem a revisão da literatura sobre o tema dos GDA e estratégias de manutenção, bem como a definição de indicadores para avaliar a aderência e eficácia da estratégia proposta. Para atingir esses objetivos, o estudo empregou o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) adaptado à cultura da Vale S.A. como ferramenta para desenvolver o planejamento estratégico de manutenção. Os resultados deste estudo apontam para uma estratégia que visa reduzir as manutenções corretivas, uma vez que os indicadores revelaram uma alta demanda de horas de trabalho e custos. Isso é alcançado através de uma abordagem focada em manutenções preventivas, com periodicidade definida de acordo com a criticidade dos ativos.

Palavras-chave: Estratégia. Manutenção. Simuladores. Indicadores. Geograficamente distribuído.

ABSTRACT

The aim of this case study is to establish a maintenance strategy for geographically distributed simulators (GDA) at Vale S.A. The company recognized the need to enhance the management of its training simulators, considering the complexity of the network and team characteristics, and to conduct studies in the field of simulator maintenance. The focus of this work is the definition of an efficient maintenance strategy for the simulators, ensuring their availability and reliability. Other objectives include reviewing the literature about GDA and maintenance strategies, as well as defining indicators to assess the commitment and effectiveness of the proposed strategy. To achieve these goals, the study employed Maintenance Planning and Control (MPC), adapted to the culture of Vale S.A., as a tool to develop the strategic maintenance plan. The results of this study point to a strategy aimed at reducing corrective maintenance, as the indicators revealed a high demand for work hours and costs. This is achieved through a preventive maintenance-focused approach, with defined periodicity based on asset criticality.

Keywords: Strategy. Maintenance. Simulators. Indicators. Geographically distributed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da metodologia de pesquisa	37
Figura 2 - Fluxograma da definição da estratégia de manutenção.....	42
Figura 3 - Criticidade e prioridade dos simuladores para à TOA.....	44
Figura 4 - MTBF acumulado dos simuladores da TOA	49
Figura 5 - MTTR acumulado dos simuladores da TOA	50
Figura 6- Índice de intervenções por tipo de manutenção.....	51
Figura 7 – Relação HHT distribuído por tipo de manutenção.....	51
Figura 8 - Distribuição dos simuladores por corredor.....	51
Figura 9 - Custo da manutenção	52
Figura 10 - Relação de manutenções preventivas/planejadas	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos indicadores apresentados na seção 2.4	36
Quadro 2 - Matriz de habilidades dos colaboradores da TOA.....	41
Quadro 3 – Critérios para determinar a criticidade dos simuladores	44
Quadro 4 - Grupos de simuladores para a associação de plano de manutenção	45

LISTA DE QUADROS

Tabela 1 – Distancias entre os complexos e os colaboradores.....	40
Tabela 2 - Carga horária e custo do HH da equipe da TOA.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DF	Disponibilidade Física
GDA	Ativos geograficamente distribuídos
GAMC	Gasto absoluto de manutenção corretiva
GAME	Gasto absoluto de manutenção corretiva emergencial
GAMP	Gasto absoluto de manutenção preventiva
HHT	Homem Hora Trabalhado
IMC	Índice de manutenção corretiva
IMP	Índice de manutenção preventiva
MC	Manutenção corretiva
MO	Manutenção por oportunidade
MP	Manutenção preventiva
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
OM	Ordem de manutenção
PCM	Planejamento e Controle da manutenção
RMC	Relação manutenção corretiva
RMP	Relação manutenção preventiva
TOA	Tecnologia da Operações de Aprendizagem
UF	Utilidade física

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	18
2	DESENVOLVIMENTO	19
2.1	PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUTENÇÃO.....	19
2.1.1	Implementação do planejamento estratégico	20
2.1.2	Planejamento e controle da manutenção (PCM)	21
2.2	ATIVOS GEOGRAFICAMENTE DISTRIBUÍDOS (GDA).....	22
2.2.1	Trabalhos realizados	24
2.3	TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	26
2.3.1	Manutenção corretiva (MC)	29
2.3.2	Manutenção preventiva (MP)	29
2.3.3	Manutenção por oportunidade (MO)	30
2.4	INDICADORES.....	31
2.4.1	Tempo médio entre falhas – MTBF	31
2.4.2	Tempo médio para reparo – MTTR	32
2.4.3	Índice de manutenção corretiva - IMC	33
2.4.4	Índice de manutenção preventiva – IMP	33
2.4.5	Disponibilidade física – DF	34
2.4.6	Utilização física – UF	34
2.4.7	Relação da manutenção corretiva/manutenções total – RMC	35
2.4.8	Relação da manutenção preventiva/manutenções total – RMP	35
2.4.9	Gasto absoluto de manutenção preventiva - GAMP	36
2.4.10	Gasto absoluto de manutenção corretiva - GAMC	36
2.4.11	Gasto absoluto de manutenção emergencial - GAME	36
3	METODOLOGIA	37
4	PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUTENÇÃO	39
4.1	ESTRUTURA DA ORGANIZAÇÃO.....	39
4.2	ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO DOS SIMULADORES.....	41
4.2.1	Levantamento dos ativos	43

4.2.2	Definição de criticidade.....	43
4.2.3	Definir os tipos de intervenção.....	45
4.2.4	Definir indicadores.....	47
5	ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÕES.....	49
6	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	57
	ANEXO A – DESCRIÇÃO	59

1 INTRODUÇÃO

Segundo Si, et al., (2022), atualmente existe a necessidade de evolução tecnológica no meio industrial, fazendo com que empresas se adaptem a conceitos e ideias da Indústria 4.0 para tornarem-se mais competitivas. Com isso, o uso de tecnologias digitais se torna cada vez mais amplo e vai desde o uso para ferramentas de remodelação dos sistemas produtivos, até a necessidade de mão-de-obra mais qualificada e especializada.

Para este último caso, o uso de simuladores é capaz de permitir que ocorra capacitações de forma mais rápida e eficaz, além de garantir a segurança dos colaboradores. Além disso, segundo Kolb (1978) e Sauaia (1995), existe toda uma nova geração de pessoas familiarizados com o uso de tecnologia que passaram a valorizar o contato com a experiência, com as emoções e percepções, transformando tudo isso em fonte de aprendizado e desenvolvimento pessoal.

Buscando potencializar as capacitações técnicas, a Vale S.A vêm usando destas ferramentas digitais para os treinamentos e possui um parque de ativos com mais de 60 simuladores. Os simuladores da Vale S.A são divididos entre simuladores de alta fidelidade, média fidelidade e realidade virtual e atendem os colaboradores dos processos produtivos nas áreas de operação de ferroviária, portuária e de mina.

Os simuladores são geograficamente distribuídos nas regiões do Sudeste, Norte e Centro Oeste do Brasil, e possui uma equipe de manutenção com indivíduos com diferentes habilidades. Neste sentido, a gestão da manutenção destes ativos não deve levar em consideração apenas as operações tradicionais, de custos de peças de reposição, disponibilidade e confiabilidade do ativo, por exemplo.

Sistemas de ativos que estão em uma rede distribuída geograficamente deve levar em consideração também os custos envolvidos em viagem da equipe e a disponibilidade da mão de obra mais qualificada para a manutenção. No caso dos simuladores de capacitação técnica da Vale S.A, outro fator a ser considerado são as diferenças entre hardware e software entre cada um dos simuladores.

A área de Tecnologia de Operações de Aprendizagem (TOA) responsável pelas gestão da manutenção dos simuladores observou que tinha um grande parque de simulares dos quais 30% não estavam disponíveis para uso em treinamentos

devido à ausência de manutenção. Além disso, não havia registros e nem planejamento das atividades de manutenção levando assim a equipe ter problemas com o gerenciamento de suas atividades.

Embora a Vale S.A. possua uma política de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) a área da TOA não é obrigada e utilizá-la devido a seus ativos não serem críticos para o sistema produtivo da empresa. No entanto, devido aos fatos apresentados anteriormente, a equipe optou por implementar o PCM a fim de melhorar a gestão das manutenção dos simuladores, além de desenvolver estudos na área de manutenção de simuladores e de ativos geograficamente distribuídos, visto que existe uma escassa bibliografia sobre estes temas.

Neste contexto, esse trabalho tem como principal objetivo definir a melhor estratégia de manutenção para os simuladores distribuídos geograficamente, utilizados nas capacitações da Vale S.A. Além disso, busca também apresentar alguns estudos sobre as estratégias de manutenção utilizadas para este tipo de rede de ativos e trazer indicadores para auxiliar na validação e avaliação da estratégia utilizada.

Esse trabalho é organizado da seguinte maneira: capítulo 2 apresenta uma revisão bibliografia sobre estratégias de gestão da manutenção para ativos geograficamente distribuídos; o capítulo 3 mostra a estratégia de manutenção estabelecida bem como seus indicadores; o capítulo 4 expõe uma breve discussão sobre os resultados dos indicadores e por fim o capítulo 5, com a conclusão deste trabalho.

1.1 OBJETIVOS

A fim de definir uma estratégia de gestão da manutenção eficaz e com baixo custo, propõe-se os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo Geral

Definição de uma estratégia de gestão da manutenção para simuladores geograficamente distribuídos, utilizados em capacitações na Vale S.A.

1.1.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Revisar a bibliografia sobre estratégias de manutenção de ativos geograficamente distribuídos;
- Definir uma estratégia de gestão da manutenção para simuladores geograficamente distribuídos, utilizados em capacitações na Vale S.A;
- Apresentar indicadores e realizar a avaliação e validação da estratégia utilizada.

2 DESENVOLVIMENTO

Este trabalho tem como principal objetivo definir a melhor estratégia de manutenção para os simuladores geograficamente distribuídos (GDA) utilizados nas capacitações da Vale S.A. Além disso, busca apresentar alguns estudos sobre as estratégias de manutenção utilizadas para este tipo de rede de ativos. Com isto, este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os temas de planejamento estratégico, ativos geograficamente distribuídos e tipos de manutenção.

2.1 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUTENÇÃO

Com a revolução industrial do século XVIII, a função da manutenção ganhou destaque nas indústrias como forma de garantir a continuidade do trabalho realizando reparos no momento de falha. Foi somente durante a Segunda Guerra Mundial que conceitos de manutenção com abordagem de manutenção periódicas foram adotadas para evitar a indisponibilidade das máquinas.

Na década de 60, a análise das falhas e controle de dados de manutenção deram surgimento da área de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). Mas somente na década de 80, com o surgimento de microcomputadores que as equipes de manutenção obtiveram maior independência para criar e aplicar os programas de manutenção com base nos tratamentos dos próprios indicadores.

Segundo Kardec e Nascif (2009), à evolução da tecnologia permite que as empresas usem a manutenção como uma ferramenta para “perseguir os benchmarks” aprimorando processos internos e alcançando níveis superiores de eficiência, qualidade e competitividade. E é neste sentido que o planejamento estratégico da manutenção permite aliar a produtividade com a qualidade de produção.

A estratégia de manutenção foca não apenas na eficiência da atividade, mas também na eficácia, visto que para Costa (2013) a atividade de manutenção não basta apenas reparar o equipamento de forma rápida, mas deve também manter a função do equipamento em operação reduzindo os riscos de paradas não planejadas e grandes períodos de indisponibilidade.

Neste sentido é papel do planejamento estratégico realizar a definição dos objetivos e metas de manutenção a longo prazo bem como as diretrizes a serem seguidas com base nas necessidades específicas dos ativos, ambiente operacional, requisitos de segurança e disponibilidade de recursos. Assim a manutenção vista de forma estratégica garante a confiabilidade e disponibilidade do equipamento.

Segundo Costa (2013), é comum encontrar empresas que adotam apenas o plano de manutenção recomendado pelo fabricante, sem levar em consideração o ambiente em que a máquina está inserida. Tal atitude não dá à empresa uma visão crítica e administrativa das suas atividades de manutenção. Desta forma, sem avaliar a criticidade do ativo para empresa e os impactos da falha não é possível gerar um plano de manutenção benéfico para empresa.

Em resumo a grande questão em ver a manutenção de uma forma estratégica é alterar a ideia de que a manutenção é apenas um gasto, e sim uma estratégia para garantir o bom funcionamento e a disponibilidade dos ativos. Através de abordagens proativas de manutenção, reduz custos de reparos emergenciais e maximizando a eficiência operacional da empresa.

2.1.1 Implementação do planejamento estratégico

Segundo Rodrigues *et al.* (2011) uma boa gestão de manutenção não ocorre sem um bom planejamento estratégico. Vale ressaltar que enquanto a gestão estratégica foca no como fazer, o planejamento estratégico concentra-se na definição dos objetivos e tarefas, ou seja, “o que fazer”. Stoner e Freeman (1994) elaboraram uma metodologia para a implementação de um planejamento estratégico em nove passos, que pode ser resumida:

Pela formulação de objetivos que representem as metas desejadas, a identificação do estado atual, a análise do ambiente externo e interno identificando ameaças e oportunidades. A formulação de alternativas estratégicas alinhadas com os objetivos e recursos disponíveis. A execução das tarefas definidas no planejamento estratégico e a medição e avaliação do cumprimento das metas e objetivos estabelecidos, possibilitando ajustes e melhorias contínuas no processo.

2.1.2 Planejamento e controle da manutenção (PCM)

Enquanto o planejamento estratégico da manutenção tem como propósito assegurar o progresso do seu nível tecnológico e administrativos e uma gestão com eficiência de seus processos de manutenção, o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) tornasse uma ferramenta fundamental neste processo capaz de traduzir o planejamento estratégico da manutenção em ações práticas (Filho, 2008). Nesse processo é importante que toda a equipe esteja plenamente engajada nesse processo.

O PCM é definido como um conjunto de ações para preparar, programar, controlar e verificar o resultado da execução das atividades de manutenção com valores pré-definidos e adotando medidas corretivas em caso de desvio das metas e objetivos definidos. Para Kardec e Nascif (2009), o PCM deve identificar de forma clara quais serviços serão realizados, quando serão executados e quais recursos serão necessários. Além disso, ele deve registrar o tempo, recursos e custos envolvidos.

De forma geral, alguns processos básicos que compõem qualquer sistema de PCM incluem o planejamento e a programação de todas as manutenções (exceto as emergenciais), o registro de todas as ordens de manutenção, a programação de serviços com base na prioridade estabelecida, a gestão de dados dos ativos e a execução dos serviços de manutenção (backlog), bem como o acompanhamento de orçamento e padrões de manutenção. Isso também engloba a gestão de recursos, como mão de obra, equipamentos e estoques (Souza, 2008).

A Vale S.A adota uma política de manutenção fundamentada no processo de PCM, adaptando-a à cultura da empresa. A abordagem da Vale S.A para o PCM compreende quatro níveis de maturidade, que avaliam o modelo de gestão da manutenção da empresa, ou seja, o quanto o PCM está integrado à organização. Esses níveis variam de 0 a 4 da seguinte forma:

- Nível 0: Inexistência do processo de PCM;
- Nível 1: Fraco;
- Nível 2: Em implantação;
- Nível 3: Implantado;
- Nível 4: Excelência.

Segundo Filho (2008), é necessário o envolvimento de toda a empresa direcionada de acordo com o criticidade desejada no processo. Por esse motivo, vale ressaltar que a área de Tecnologia de Operação de Aprendizagem (TOA), responsável pela gestão dos simuladores de capacitação não é obrigada a implementar o PCM na gestão de seus ativos. Isso se deve ao fato de os simuladores terem uma baixa prioridade na empresa, uma vez que não impactam diretamente o processo produtivo.

2.2 ATIVOS GEOGRAFICAMENTE DISTRIBUÍDOS (GDA)

No atual contexto da indústria, à medida que as empresas expandem suas operações para diversas localidades geograficamente dispersas, a manutenção de ativos geograficamente distribuídos (GDA) se torna de importância crítica. A existência de várias filiais e instalações cria um cenário onde a eficiência e a confiabilidade são fatores vitais. Para lidar com essa complexidade, conceitos como terceirização, logística e otimização desempenham um papel fundamental na configuração da manutenção moderna.

É relevante destacar que, quando se trata de ativos geograficamente distribuídos, não é garantido que cada localidade possua seu próprio sistema de manutenção. É nesse contexto que as empresas se veem diante da escolha de terceirizar a manutenção ou otimizar seus próprios processos. A terceirização oferece vantagens econômicas tanto para a empresa contratante, que pode acessar mão de obra especializada, quanto para a contratada, que garante a qualidade do trabalho realizado e pode cobrar por isso (Si, *et al.*, 2022).

Entretanto, empresas que realizam manutenção em ativos GDA podem enfrentar desafios consideráveis na gestão e no planejamento da manutenção (Nguyen *et al.*, 2019). Erros na programação das atividades de manutenção, como manutenções preventivas excessivas, podem resultar em custos elevados, incluindo o tempo de deslocamento das equipes de manutenção (Si, *et al.*, 2022)

De acordo com Si *et al.* (2022) historicamente, a gestão da manutenção de ativos GDA costumava ser tratada de maneira isolada em cada localidade. No entanto, recentemente, a otimização dos processos de manutenção passou a ser abordada de forma mais abrangente, considerando toda a rede de ativos. Isso

envolve a criação de interdependências entre esses equipamento e/ou máquinas, para uma avaliação mais completa e eficaz.

Dentre essas dependências, destaca-se, em particular, a dependência geográfica de ativos paralelos, onde a falha de um ativo não afeta o funcionamento de outros. Além disso, fatores econômicos e logísticos desempenham um papel crucial. Além desses aspectos, o planejamento das rotas das equipes de manutenção é fundamental na gestão eficaz da manutenção (Nguyen *et al.*, 2019). Sendo este um tema amplamente abordado em estudos relacionados à manutenção de ativos GDA.

Além de determinar a melhor rota, em sistemas onde um centro de manutenção atende a várias localidades, é importante definir como a equipe de técnicos será formada. Questões como, quantas equipes serão necessárias e qual será a composição ideal de cada equipe, são fundamentais.

Na literatura, são encontradas combinações de equipes homogêneas, onde todos os mantenedores possuem as mesmas habilidades, e equipes heterogêneas, onde cada membro possui habilidades distinta dos demais. No último caso, a estratégia de manutenção desempenha um papel fundamental na determinação das prioridades de manutenção e na alocação do funcionário mais adequado para cada atividade.

Nesse contexto, a consideração das dependências entre máquinas e equipamentos é crucial para otimizar as atividades dos técnicos e o roteamento eficiente das equipes (Si, *et al.*, 2022). Isso permite às empresas reduzir custos de viagem e lidar com questões contratuais, como o cumprimento dos prazos, que podem afetar significativamente as empresas terceirizadas, resultando em sérias consequências financeiras.

Integrar a gestão individualizada da degradação das máquinas com oportunidades complexas de manutenção e otimização logística para redução do custo total é um desafio (Si, *et al.*, 2022). De acordo com (Si, *et al.*, 2022), as empresas precisam considerar não apenas o tempo de manutenção mais adequado para cada equipamento, mas também os arranjos econômicos da equipe.

Apesar da complexidade desse tipo de sistema, a Indústria 4.0, com a Internet das Coisas (IoT), se apresenta como um grande aliado para os setores e empresas de manutenção. Através de sensores, é possível avaliar a degradação das máquinas e intervir no momento ideal, economizando tempo que anteriormente

era gasto em diagnósticos. Além disso, em alguns casos, a manutenção remota é uma possibilidade (Si, *et al.*, 2022)

Em resumo, diante do cenário de ativos geograficamente distribuídos, a definição clara da estratégia de manutenção desempenha um papel crucial. Isso permite às empresas realizar atualizações e otimizações nos processos, garantir pontualidade nas demandas e alcançar economias a longo prazo (Si, *et al.*, 2022). O próximo tópico abordará alguns trabalhos de otimização de processos de manutenção com foco na estratégia de manutenção de ativos geograficamente distribuídos.

2.2.1 Trabalhos realizados

Os autores, (Si, *et al.*, 2022), propuseram uma política chamada de "TCOM" (Técnico Colaborativo e Otimização de Roteamento) para otimizar o agendamento de manutenção em uma rede de serviços com centros geograficamente distribuídos. Eles integraram degradações individuais de máquinas, oportunidades de manutenção complexas e otimização logística para estabelecer um esquema global de manutenção.

A política proposta, melhorou a aplicabilidade na modelagem e resolução do problema de agrupamento de manutenção preventivas e oportunistas e o roteamento de técnicos para redes de múltiplos centro. Além disso, eles otimizaram o compartilhamento colaborativo de equipes de técnicos de diferentes centros de manutenção para obter cronogramas entre as regiões.

Eles também incorporaram funções de custo de manutenção atualizadas, tempo de inatividade do sistema e capacidade de manutenção das equipes de técnicos em um modelo de otimização. O esquema de manutenção global foi obtido em tempo real, buscando o mínimo custo total de manutenção. Os resultados dos experimentos numéricos mostraram a eficácia da política TCOM em comparação com outras abordagens.

Ainda com foco em agendamento de manutenção, (Si, *et al.*, 2022) em outro trabalho, abordam o agendamento de manutenção com uma equipe heterogênea. Deste modo cada atividade de manutenção deve ser realizada por um técnico especialista. Através de manutenções preventivas e com o objetivo de aumentar a

confiabilidade dos ativos, a metodologia proposta apresentava o esquema de manutenção com o menor custo global (Çakırgil; Yücel; Kuyzu, 2020)

Já o trabalho realizado por (Nguyen *et al.*, 2019), propõe uma abordagem de agrupamento e roteamento de técnicos para otimização da manutenção de um sistema de produção geograficamente distribuído, que permite a atualização do planejamento da manutenção e do roteamento de técnicos levando em consideração aspectos econômicos e geográficos.

O agrupamento de ativos era realizado para o planejamento de manutenção preventiva em relação aos componentes críticos dos sistemas de ativos GDA, onde os custos de transporte e preparação são mais elevados. Os resultados obtidos evidenciam os benefícios substanciais dessa abordagem, tanto em termos de economia de custos como em termos de flexibilidade operacional.

O objetivo do artigo elaborado por Jia e Zhang (2020) é desenvolver um plano de manutenção prático para uma rede de ativos distribuído geograficamente, que maximize a confiabilidade do ativo e minimize o custo da manutenção e deslocamento. Os algoritmos e métodos aplicados no artigo melhoram a estratégia de manutenção através da otimização conjunta do planejamento de manutenção e do roteamento da equipe de trabalho.

Em relação aos tipos de manutenção propostos, o artigo considera que as manutenções corretivas e por oportunidade podem ocorrer de três maneiras: manutenção perfeita, manutenção imperfeita e reparo mínimo. A manutenção perfeita tem o objetivo de trazer um componente para a condição "tão bom quanto novo". O reparo mínimo busca restaurar um componente falho para a condição "tão ruim quanto antes da falha". A manutenção imperfeita visa trazer um componente para uma condição intermediária entre "tão bom quanto novo" e "tão ruim quanto antes da falha".

Em uma abordagem diferente das citadas anteriormente, Si *et al.* (2022) tem como objetivo apresentar uma estratégia para resolver o agrupamento de manutenção e roteamento de técnicos em sistemas de ativos geograficamente distribuído. O artigo propõe integrar a degradações individuais das máquinas, as oportunidades de manutenção complexas e a logística da rede de ativos de forma global.

O autor empregou uma abordagem para uma empresa que aluga a máquina e assume a responsabilidade pela sua manutenção, capaz de estabelecer funções

de custo de manutenção variáveis no tempo, gerando cronogramas de manutenção globais em tempo real. Deste modo a metodologia utilizada é capaz de resolver eficientemente o problema de agrupamento de manutenção e roteamento de técnicos visando minimizar o custo total.

Os tipos de manutenção propostos são ações corretivas mínimas (CM) e manutenção preventiva imperfeita (PM). A ação CM é realizada quando uma máquina alugada falha e precisa ser reparada o mais rápido possível para trazer o sistema de produção correspondente de volta ao estado operacional. A manutenção preventiva imperfeita é uma ação que visa manter o estado operacional dos sistemas de produção.

Diferentemente das abordagens dos outros autores mais focados nas rotas e calendários de manutenção, Manco *et al.* (2022) propõe uma abordagem focada na criticidade dos ativos, de modo que são propostos um conjunto de etapas para identificar os itens críticos e determinar quais componentes devem ser substituídos de forma preventiva. Além disso, o algoritmo utilizado, faz os agendamentos das manutenções diariamente.

Com a proposta de combinar a manutenção oportunista e preventiva, o algoritmo compara diferentes níveis de confiabilidade para os ativos e os custos associados, e compara ao método atual de manutenção que consiste apenas em manutenção corretiva e inspeções anuais. A metodologia proposta pelos autores permitiu a empresa melhorar a sua estratégia de manutenção, considerando de forma dinâmica a criticidade e a as rotas das equipes de manutenção.

Os autores propuseram, em grande maioria, estratégias de otimização para agendamento de manutenção e a rota de manutenção em redes com centros geograficamente distribuídos. Algumas estratégias também consideram a criticidade dos ativos e aspectos econômicos e geográficos na programação de técnicos. Esses trabalhos abordam três tipos principais de manutenção: preventiva, corretiva e por oportunidade em busca de maximizar a eficiência e minimizar custos.

2.3 SIMULADORES PARA CAPACITAÇÃO

O treinamento de operadores com base em simulação tem sido comprovadamente bem-sucedido em diversos setores onde a gestão de alto risco e custos elevados é uma preocupação diária que demanda soluções inteligentes. Seja

pilotando uma aeronave ou conduzindo um ônibus espacial, a eficácia do treinamento por simulação tem demonstrado uma significativa redução nos riscos, custos, manutenção não programada, ao mesmo tempo em que amplia a eficiência do treinamento e maximiza a produtividade (Immersive, 2022).

Os simuladores proporcionam um ambiente seguro para os operadores aprenderem e aprimorarem suas habilidades. Alguns simuladores possibilitam que os operadores pratiquem uma variedade de emergências. Empresas que desenvolvem simuladores apresentam estudos que comprovam melhorias nas operações diárias que vão desde o aumento na vida útil dos pneus até a melhoria do consumo de combustível (Oniria,2021).

Já as intervenções de manutenção devem garantir que os simuladores funcionem de forma precisa e eficiente. De forma que os dispositivos eletrônicos, mecânicos ou de software simulem situações complexas sem riscos ou custos associados à operação real. As atividades de manutenção de simuladores incluem a verificação de componentes de hardware, softwares, sensores, telas, controles, bases de movimento, calibração e atualização de parâmetros de simulação, além de reparo e substituição de componentes defeituosos.

A Vale S.A. utiliza simuladores para abranger diversas áreas de operação, incluindo mineração, usinas, portos, ferrovias e manutenção em geral. Os aproximadamente 60 simuladores da Vale empregam diferentes tecnologias, sendo caracterizados por:

- Simulador de Alta Fidelidade: Um sistema que replica com precisão as características e comportamentos essenciais de um sistema, ambiente ou equipamento real. Ele incorpora detalhes complexos e oferece uma representação altamente precisa, permitindo a reprodução fiel de interações com o equipamento e cenários específicos. Este grupo de simuladores deve possuir sistema de representação de movimentos e projeção visual de no mínimo 120° do campo de visão do operador.
- Simulador de Média Fidelidade: Um sistema que oferece uma representação intermediária da realidade. Ele incorpora algumas características e comportamentos essenciais do sistema real, mas pode simplificar certos aspectos para tornar a simulação mais prática. Este grupo de simuladores pode possuir sistema de representação de

movimentos com limitação de graus de liberdade e deve possuir projeção visual semelhante ao equipamento ou sistema real no mínimo de 60° do campo de visão do operador.

- Realidade Virtual (RV): Caracteriza simuladores que utilizam a representação visual através de óculos de RV, cuja o posicionamento do usuário é tridimensional com rastreamento de movimentos corporais (no mínimo cabeça e mãos) e pode simular interações como ambiente virtual em tempo real. Neste tipo de simulação busca-se a maior fidelidade possível na modelagem de cenários e equipamentos para garantir a maior imersão possível durante o treinamento.
- Console: Refere-se a um conjunto de hardware e/ou acessórios de utilização essencial para um simulador. Este equipamento, também conhecido como kit console pode incluir controles, volantes, câmbios, telas, cabos e outros itens desde que consigam ser definidos em um único agrupamento ao qual um simulador que o utiliza, não poderá realizar uma simulação sem o uso dele. Durante uma simulação, os simuladores podem utilizar apenas um kit consoles.

Cabe ressaltar que os kits de consoles são considerados componentes dos simuladores, no entanto, eles devem possuir planos de manutenção associados a esse tipo de equipamento para garantir a confiabilidade durante as simulações

A Vale S.A. possui operações em diversas cidades e estados no Brasil e por esse motivo divide a suas operações em três corredores para controle das operações. Os corredores são: Corredor Norte abrangendo os estados do Pará e Maranhão, Corredor Sudeste abrangendo cidades do Espírito Santo e Corredor Sul com cidades de Minas Gerais. O corredor Sul possui apenas 6 simuladores enquanto os corredores Norte e Sudeste apresentam 24 e 17 respectivamente.

2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção visa assegurar a disponibilidade contínua das funções de equipamentos e instalações, garantindo a confiabilidade, a segurança dos processos de produção e a preservação do meio ambiente (Kardec; Nascif, 2009). As intervenções da manutenção no ambiente assumem formas diversas. Assim, este

tópico apresenta quatro tipos de manutenção: corretiva planejada e não planejada, manutenção preventiva e manutenção por oportunidade.

É importante ressaltar que esses tipos de manutenção são discutidos com base nos artigos abordados anteriormente e são direcionados pelo objetivo central deste trabalho, que consiste em definir uma estratégia de manutenção adequada para ativos distribuídos geograficamente. A compreensão desses tipos de manutenção desempenha um papel fundamental na busca por uma estratégia eficaz de manutenção.

2.4.1 Manutenção corretiva (MC)

A manutenção corretiva (MC) é a forma mais antiga de manutenção. Neste tipo de abordagem a máquina ou equipamento opera até que a falha do mesmo ocorra (Slack, 2002). Segundo Costa (2013), as manutenções corretivas podem ter custos altíssimos associados desde estoque sobressalente, custo de ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção. Esse tipo de manutenção pode acontecer de duas formas: a planejada e a não planejada.

Manutenção corretiva não planejada: ocorre após a ocorrência e sem o acompanhamento prévio. Segundo Otani e Machado (2008) esse tipo de intervenção implica em alto custo e baixa confiabilidade de produção.

Manutenção corretiva planejada: ocorre, geralmente, através de uma decisão gerencial, visado a estratégia, de permitir que a máquina opere até que a falha ocorra (Otani; Machado, 2008).

2.4.2 Manutenção preventiva (MP)

A manutenção preventiva (MP) é a manutenção voltada para evitar que a falha ocorra, através de manutenções em intervalos de tempo pré-definidos. Esse tipo de intervenção visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falha durante a operação (Slack, 2002). Porém, segundo Costa (2013) os reparos, na grande maioria são feitos por através de estatísticas e recomendações do fabricante utilizando a curva média para falha (CTMF).

Porém esse tipo de abordagem pode ocasionar em reparos antecipados e falhas inesperadas, visto que o mesmo equipamento sobe diferentes condições de trabalho terão seu tempo médio entre falhas (MTBF) diferentes, levando a manutenções corretivas não planejadas, gerando custo adicional a empresa. Neste caso, mensuras as variáveis de cada planta podem afetar positivamente a vida operacionais da máquina (Costa, 2013).

2.4.3 Manutenção por oportunidade (MO)

A Manutenção Oportuna (MO) está relacionada à estratégia de executar ações de manutenção preventiva em um determinado equipamento devido a uma oportunidade gerada por uma falha ou pela substituição preventiva em outro equipamento que faz parte do mesmo sistema (Marsaro, 2019). Além disso, a manutenção oportunista pode combinar ações de manutenção preventiva e corretiva, agrupando tarefas de e realizando ações de manutenção durante os períodos de inatividade do sistema.

Conforme Thomas Levrat e lung (2008), a MO pode surgir devido a paralisações causadas por falhas imprevistas ou interrupções programadas no sistema, sendo realizada quando as condições técnicas e econômicas são propícias para alcançar os melhores resultados. A oportunidade pode ser considerada como uma variável aleatória que ocorre de forma imprevisível e tem uma duração limitada. À medida que o tempo de inatividade do ativo aumenta, os custos de manutenção são mais elevados.

A Manutenção Oportunista envolve a capacidade de tomar decisões estratégicas informadas, levando em consideração as circunstâncias específicas do momento. Essa abordagem visa encontrar um equilíbrio entre a disponibilidade dos ativos e os custos associados à manutenção. Em outras palavras, permite que as organizações ajustem suas estratégias de manutenção com flexibilidade, aproveitando as oportunidades para realizar manutenções preventivas ou corretivas de maneira eficiente, minimizando o impacto negativo na disponibilidade dos ativos (Jia; Zhang, 2020).

2.5 INDICADORES

As organizações desenvolvem seu planejamento estratégico baseado em seus objetivos, metas e resultados. Uma forma eficiente de demonstrar que os resultados foram alcançados conforme o planejamento é através de indicadores. Que por sua vez ajudam na tomada de decisão, na melhoria dos processos e a otimização das operações de manutenção da equipe. Indicadores de produtividade, qualidade e custo direcionam os esforços da equipe a atingirem as metas estipuladas, reduzindo as atividades de menor importância.

Indicadores de qualidade na manutenção são usados para avaliar o desempenho e a eficácia das intervenções de manutenção. Permitindo o monitoramento e a melhoria contínua dos processos de manutenção. Os indicadores de qualidade que serão mensurados são: tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio para reparo (MTTR), índice de manutenção corretiva (IMC) e índice de manutenção preventiva (IMP).

Os indicadores de produtividade avaliam a eficiência e a eficácia na utilização de recursos como tempo, mão de obra entre outros para produção. Os indicadores de qualidade que serão mensurados são: disponibilidade física (DF), utilidade física (UF), relação do HH da manutenção corretiva (RMC) e relação do HH da manutenção preventiva (RMP).

Os indicadores de custo de manutenção são métricas utilizadas para avaliar os gastos associados as atividades de manutenção. Esses indicadores são essenciais para monitorar os custos, identificar melhorias para otimizar os recursos financeiros e realizar defesas de investimento a empresa. São eles: gasto absoluto de manutenção preventiva, gasto absoluto de manutenção corretiva e gasto absoluto de manutenção emergencial.

2.5.1 Tempo médio entre falhas – MTBF

O Tempo Médio entre Falhas conhecido como MTBF (Mean Time Between Failures), consiste no tempo de bom funcionamento do equipamento. Neste contexto o MTBF é medido através da razão entre o tempo de operação pelo número de intervenções corretivas. Visto que o MTBF é um indicador de qualidade e indica o

quanto a máquina opera sem nenhum tipo de parada por falha, é desejável que o MTBF seja o maior o possível.

Segundo Neto, (2019), caso ocorra a necessidade de aumentar esse indicador, é preciso que ocorra a diminuição das falhas. Por isso uma alternativa para alcançar esse objetivo, por exemplo, seria melhorando a qualidades das manutenções preventivas possibilitando um maior tempo de operação do equipamento. O MTBF pode ser calculado a partir da Equação 1 (Viana,2016).

$$MTBF = \frac{\sum HT}{NIC} \quad (1)$$

Onde:

- MTBF – Tempo Médio entre Falhas (Horas);
- HT – Horas Trabalhas (Horas);
- NIC – Número de intervenções corretivas.

2.5.2 Tempo médio para reparo – MTTR

O indicador Tempo Médio para Reparo conhecido como, Mean Time to Repair (MTTR) indica o tempo médio em que o ativo leva para ser reparado e fica indisponível para operação. Ele é medido através da razão do somatório do tempo em que o ativo ficou indisponível para operação pelo número de manutenções corretivas emergenciais. Desta forma é desejável que o MTTR seja o menor possível e desta forma o ativo possui maior disponibilidade para operar.

Caso exista a necessidade de reduzir o MTTR, fatores como controle de estoque pode exemplo, podem ter impacto, uma vez que uma peça necessária para substituição não esteja disponível no momento da manutenção, o tempo de reparo aumenta assim como a indisponibilidade do equipamento (Belhot; Campos, 1995). O MTTR pode ser calculado a partir da Equação 2 (Viana,2016).

$$MTTR = \frac{\sum HMNP}{NIC} \quad (2)$$

Onde:

- MTTR – Tempo Médio para Reparo (Horas);

- HMNP – Horas de Manutenção Corretiva (Horas);
- NIC – Número de intervenções corretivas.

2.5.3 Índice de manutenção corretiva - IMC

O Índice de manutenção Corretiva (IMC) indica o percentual de intervenções de manutenção que são designadas às manutenções corretivas. O caso ideal seria que esse indicador fosse zero, no entanto, sabe-se que é impossível não ter manutenções corretivas (Viana,2016). Deste modo é ideal que os índices de manutenção corretiva sejam inferiores ao índice de manutenção preventiva. O IMC pode ser calculado a partir da Equação 3 (Viana,2016).

$$IMC = \frac{NIC}{NI} \quad (3)$$

Onde:

- IMC – Índice de manutenção corretiva (%);
- NIC – Número de intervenções corretivas;
- NI – Número total de intervenções.

2.5.4 Índice de manutenção preventiva – IMP

Análogo ao IMC, o Índice Manutenção Preventiva (IMP) indica o percentual de intervenções de manutenção que são designadas às manutenções preventivas. Do mesmo modo em que não é possível que as manutenções corretivas sejam zero, não é possível que as preventivas sejam 100%. Segundo Viana (2016), espera se que as organizações trabalhem com esse índice acima dos 75%. O IMP pode ser calculado a partir da Equação 4 (Viana,2016).

$$IMP = \frac{NIP}{NI} \quad (4)$$

Onde:

- IMP – Índice de manutenção preventivas (%);
- NIP – Número de intervenções preventivas;

- NI – Número total de intervenções.

2.5.5 Disponibilidade física – DF

A disponibilidade física (DF) é um dos indicadores considerado mais importantes da manutenção. Ele indica a probabilidade de um equipamento estar disponível para a operação. A DF pode ser calculado a partir da Equação 5 (Viana,2016).

$$DF = \frac{HC - \sum HM}{HC} \quad (5)$$

Onde:

- DF – Disponibilidade Física (%);
- HC – Horas Administrativo (Horas);
- HM – Horas em Manutenção (Horas).

2.5.6 Utilização física – UF

A Utilização Física (UF) indica o quando o equipamento realmente está sendo utilizado para produção. Embora a DF indique o tempo em que o ativo está disponível para produção, não significa que em todo esse tempo ele realmente esteja sendo utilizado em treinamentos. Esse indicar é necessário caso haja necessidade de reavaliar, por exemplo, a criticidade dos ativos. Simuladores que possuem uma UF maior dever tem um DF maior. A pode ser calculado a partir da Equação 6 (Viana,2016).

$$DF = \frac{HT}{HC - HM} \quad (6)$$

Onde:

- UF – Utilidade Física (%);
- HC – Horas Calendário (Horas administrativas anuais);
- HM – Horas em Manutenção (Horas).

2.5.7 Relação da manutenção corretiva/manutenções total – RMC

Esse indicador se refere ao quanto do Homem Hora Trabalhado (HHT) total é dedicado a manutenção corretiva, ou seja, a porcentagem das horas trabalhadas da equipe em manutenções corretivas. Esse indicador complementa os indicadores de distribuição da manutenção – IMC e IMP. Quanto menor o valor do RMC menor é o impacto na disponibilidade do ativo e o MTTR também é menor. O RMC pode ser calculado a partir da Equação 7 (Viana,2016).

$$RMC = \frac{\sum HHC}{HHT} \quad (7)$$

Onde:

- RMC – Relação da Manutenção Corretiva (%);
- HHC – Horas Homem de Manutenção Corretiva (Horas);
- HHT – Horas Homem total em Manutenção (Horas).

2.5.8 Relação da manutenção preventiva/manutenções total – RMP

Similar ao RCM, o RMS se concentra na proporção do tempo total de Homem Hora (HH) alocado para manutenção preventiva. Este indicador complementa os índices de distribuição da manutenção IMP e IMC, bem como o RMC. Quanto maior for o valor do RMP, melhor, indicando um planejamento mais eficiente em relação aos tipos de intervenção. O cálculo do RMS pode ser calculado a partir da Equação 8 (Viana,2016).

$$RMP = \frac{\sum HHP}{HHT} \quad (8)$$

Onde:

- RMC – Relação da Manutenção Preventiva (%);
- HHP – Horas Homem de Manutenção Preventiva (Horas);
- HHT – Horas Homem total em Manutenção (Horas).

2.5.9 Gasto absoluto de manutenção preventiva - GAMP

Indicador que apresenta todos os gastos utilizados com manutenções preventivas e é calculado através da soma de todos os gastos para realizar este tipo de manutenção (PGS Indicadores da Vale S.A, 20).

2.5.10 Gasto absoluto de manutenção corretiva - GAMC

Indicador que apresenta todos os gastos utilizados com manutenções corretivas é calculado através da soma de todos os gastos para realizar este tipo de manutenção (Manual de Indicadores da Vale S.A).

2.5.11 Gasto absoluto de manutenção emergencial - GAME

Indicador que apresenta todos os gastos utilizados com manutenções corretivas emergenciais e é calculado através da soma de todos os gastos para realizar esse tipo de manutenção (Manual de Indicadores da Vale S.A).

Em resumo ao capítulo 2.5, o Quadro 1 apresenta os indicadores, a orientação desejada, a dimensão e a unidade de medida em que o indicador dever ser avaliado de acordo com o documento normativo da Vale S.A., Manual de Indicadores.

Quadro 1 - Resumo dos indicadores apresentados na seção 2.4

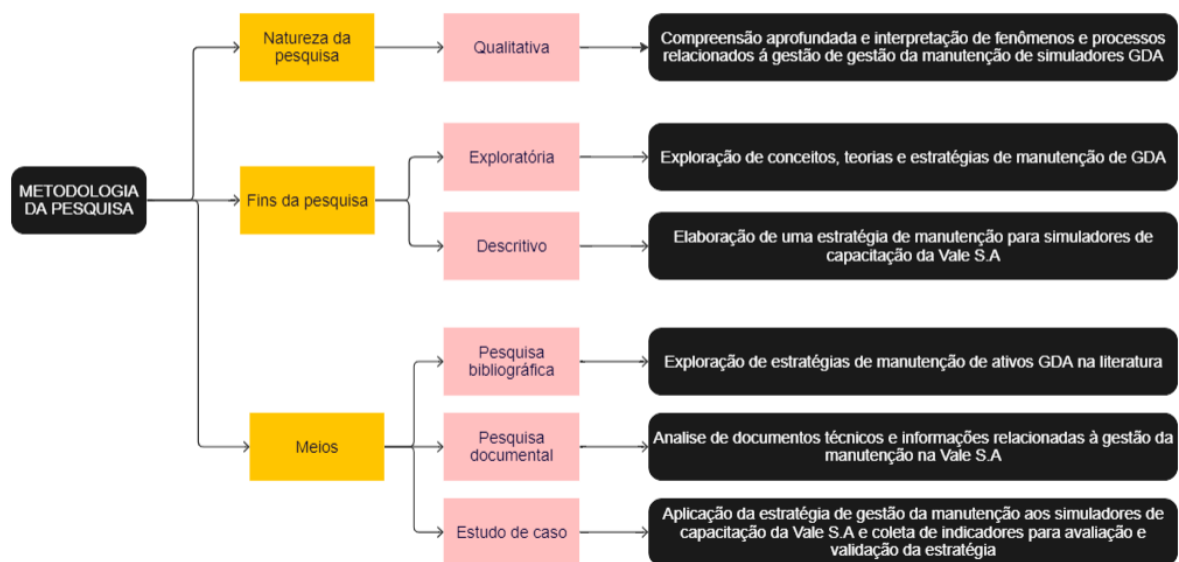
EQUAÇÃO	INDICADOR	ORIENTAÇÃO	DIMENSÃO	UNIDADE
1	MTBF	Maior melhor	Qualidade	Horas
2	MTTR	Menor melhor	Qualidade	Horas
3	IMC	Menor melhor	Qualidade	%
4	IMP	Maior melhor	Qualidade	%
5	DF	Maior melhor	Produtividade	%
6	UF	Maior melhor	Produtividade	%
7	RMC	Menor melhor	Produtividade	%
8	RMP	Maior melhor	Produtividade	%
-	GFAMS	Negativo	Custo	R\$
-	GFAME	Negativo	Custo	R\$
-	GFAMNS	Negativo	Custo	R\$

Fonte: PGS – Manual de Indicadores – adaptado

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia adotada para a realização da pesquisa que visa à definição de uma estratégia de gestão da manutenção para simuladores geograficamente distribuídos, utilizados em capacitações na Vale S.A. A pesquisa e o desenvolvimento desse trabalho ocorreram durante o período de estágio na concedente Vale S.A na área de Tecnologia de Operações de Aprendizagem no período de dezembro de 2022 com data prevista para conclusão em dezembro de 2023 e é ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia de pesquisa



Fonte: elaborado pela autora

A natureza da pesquisa adotada é qualitativa. Isso implica que o foco recai sobre a compreensão aprofundada e interpretação de fenômenos e processos relacionados à gestão da manutenção de simuladores geograficamente distribuídos com equipes heterogêneas e geograficamente distribuídas. Essa abordagem permite uma análise mais detalhada e contextual dos aspectos relevantes para a pesquisa.

Os fins da pesquisa são exploratórios e descritivos. A pesquisa exploratória permitirá a exploração de conceitos, teorias e estratégias de manutenção de ativos geograficamente distribuídos, enquanto a pesquisa descritiva se concentrará na

elaboração de uma estratégia de gestão de manutenção para simuladores da Vale S.A.

O principal enfoque para atingir os objetivos da pesquisa envolveu a utilização do método de estudo de caso, no qual a estratégia de gestão da manutenção foi aplicada especificamente aos simuladores de capacitação da Vale S.A. Além desse método, diversos outros meios foram empregados, incluindo: pesquisa documental que consistiu na análise de documentos técnicos, relatórios e informações relacionadas à gestão da manutenção na Vale S.A e à manutenção de ativos distribuídos geograficamente; e a pesquisa bibliográfica que foi conduzida para embasar teoricamente a pesquisa, explorando estratégias de manutenção de ativos geograficamente distribuídos.

Esses métodos combinados permitiram uma abordagem abrangente e aprofundada para a pesquisa, fornecendo uma sólida base para a definição da estratégia de gestão de manutenção dos simuladores utilizados pela Vale S.A. Além da análise qualitativa, a pesquisa também apresentará indicadores que serão usados para avaliar e validar a estratégia de gestão de manutenção proposta.

4 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUTENÇÃO

Esse capítulo tem como objetivo apresentar o planejamento estratégico da manutenção para os ativos de tecnologia, simuladores e consoles, utilizado em capacitações na Vale S.A. Para o melhor entendimento das decisões tomadas é preciso entender qual a estrutura organizacional da área de Tecnologia de Operações de Aprendizagem (TOA) responsável pela gestão dos simuladores. Deste modo este capítulo é dividido em dois tópicos principais: o primeiro apresentado a estrutura da área e o segundo apresenta a estratégia definida.

4.1 ESTRUTURA DA ORGANIZAÇÃO

A Vale S.A possui uma política de manutenção baseada no processo no Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) e como apresentado no Capítulo 2.1.2. área da Tecnologia de Operação de Aprendizagem (TOA), não é obrigada a implementá-lo devido não criticidades dos seus ativos para sistema produtivo da empresa. Desse modo, a equipe da TOA não utiliza de nenhum método de gestão de manutenção, não havendo nenhum planejamento das quais manutenções devem ser executadas ou o registro das intervenções já executadas.

Nesse sentido, devido ao grande número de simuladores ao qual a área era responsável, a percepção de simuladores indisponíveis para treinamentos devido a ausência de manutenção e a necessidade de melhorar a gestão das atividades de manutenção e outras atividades da equipe, à TOA decidiu por implementar a política de PCM de para a gestão dos simuladores bem como definir uma estratégia de manutenção devido as características da geográficas dos simuladores e da equipe.

Embora a Vale S.A. seja uma empresa do setor de mineração, ela mantém diversas operações voltadas para a extração, beneficiamento e transporte do minério. Estas operações, voltadas as áreas de mina, usina, ferrovia e porto, estão localizadas em diferentes regiões do Brasil. Para atender a essa diversidade de atividades, cada complexo oferece programas de treinamento e capacitação específicos relacionados às operações daquela área geográfica.

Atualmente são aproximadamente 60 simuladores distribuídos em 11 complexos situados em cidades de Minas Gerais, Espírito Santo, Maranhão e Pará.

Os complexos são divididos em três regiões chamadas de corredores, sendo eles: Sul, Sudeste e Norte. Cada corredor possui uma equipe responsável por gerir as operações que são executadas nos complexos daquele corredor. No entanto, a equipe da TOA atende os simuladores de todos os corredores.

Por exemplo, há uma demanda por mais operadores de mina na cidade de Marina, em Minas Gerais, que está sob a gestão do corredor Sudeste. Nesse contexto, é responsabilidade do gerente do Corredor Sudeste conduzir a capacitação dos colaboradores, coordenando todo o processo, desde a elaboração dos programas de aulas até a disponibilização de sala e infraestrutura para a capacitação. Entretanto, cabe à TOA assegurar que os simuladores estejam prontos para operação no dia planejado para o treinamento.

Em relação a equipe da TOA, ela é composta por três membros efetivos e um estagiário, quem assumem a responsabilidade pela manutenção dos simuladores em todos os complexos. É importante observar que a equipe apresenta outra particularidade, já que também está geograficamente dispersa e é heterogênea. Em outras palavras, as habilidades dos colaboradores variam entre si. A Tabela 1 apresenta as distâncias entre os complexos e os membros da equipe de manutenção de simuladores.

Tabela 1 – Distancias entre os complexos e os colaboradores

<i>Complexo</i>	<i>Corredor</i>	<i>Colaborador A + Estagiário (Vitória - ES) (km)</i>	<i>Colaborador B (São Luís – MA) (km)</i>	<i>Colaborador C (Nova Lima - MG) (km)</i>
<i>Brucutu</i>	SUDESTE	460	2700	128
<i>Carajás</i>	NORTE	2600	987	2139
<i>EFC</i>	NORTE	2500	-	2251
<i>EFVM</i>	SUDESTE	450	2450	245
<i>Itabira</i>	SUDESTE	460	2600	137
<i>Mariana</i>	SUDESTE	450	2600	98
<i>Paraopeba</i>	SUL	630	2400	118
<i>Ponta da Madeira</i>	NORTE	2500	-	1873
<i>Serra Sul</i>	NORTE	2600	1000	2200
<i>Tubarão</i>	SUDESTE	-	2500	548
<i>Vargem Grande</i>	SUL	550	2500	-

Fonte: elaborado pela autora

O Quadro 2 apresenta a matriz de habilidades dos colaboradores efetivos da equipe da TOA. As habilidades inseridas na matriz estão relacionadas as atividades de manutenções rotineiras (preventivas) e manutenções corretivas. Elas envolvem as manutenções em simuladores de mina, porto e de manutenção em geral, e práticas ligadas a atividades de montagem, manutenção, configuração e arquitetura de software, sistemas operacionais, servidores, redes e máquinas virtuais.

Vale destacar que a equipe exerce outras atividades além da manutenção dos simuladores, no entanto não serão abordadas aqui as demais atividades visto que se distanciam do foco do trabalho em manutenção de simuladores.

A tabela de habilidades foi disponibilizada pelo RH e a equipe, em conjunto, fez a avaliação. Ainda no Quadro 2, os valores variam de 0 até 4 e indicam as seguintes características:

- 0 – Inapto a realizar a atividade;
- 1 – Aprendendo a desenvolver as atividades;
- 2 – Não habilitado a realizar a atividade sem acompanhamento;
- 3 – Habilitado a realizar a atividade;
- 4 – Habilitado a realizar e capacitar novos empregados.

Quadro 2 - Matriz de habilidades dos colaboradores da TOA

MANUTENÇÃO DE ROTINA	ATIVIDADE	COLABORADOR		
		A	B	C
MANUTENÇÃO DE ROTINA	Man. simulador de operação em Mina	1	0	4
	Man. simulador de operação de Porto	4	2	1
	Man. simulador em manutenção	4	2	1
MANUTENÇÃO CORRETIVA E ATUALIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURA OBSOLETA	Montagem e manutenção de servidores	4	2	2
	Montagem e manutenção de computadores	3	4	1
	Banco de dados	0	0	3
	Configuração de máquina virtual	2	1	1
	Gerenciamento e arquitetura de redes	1	2	1
	Configuração e arquitetura de servidores	1	1	1
	Arquitetura de Software	2	4	2
	Arquitetura de sistemas gerenciais	2	2	2

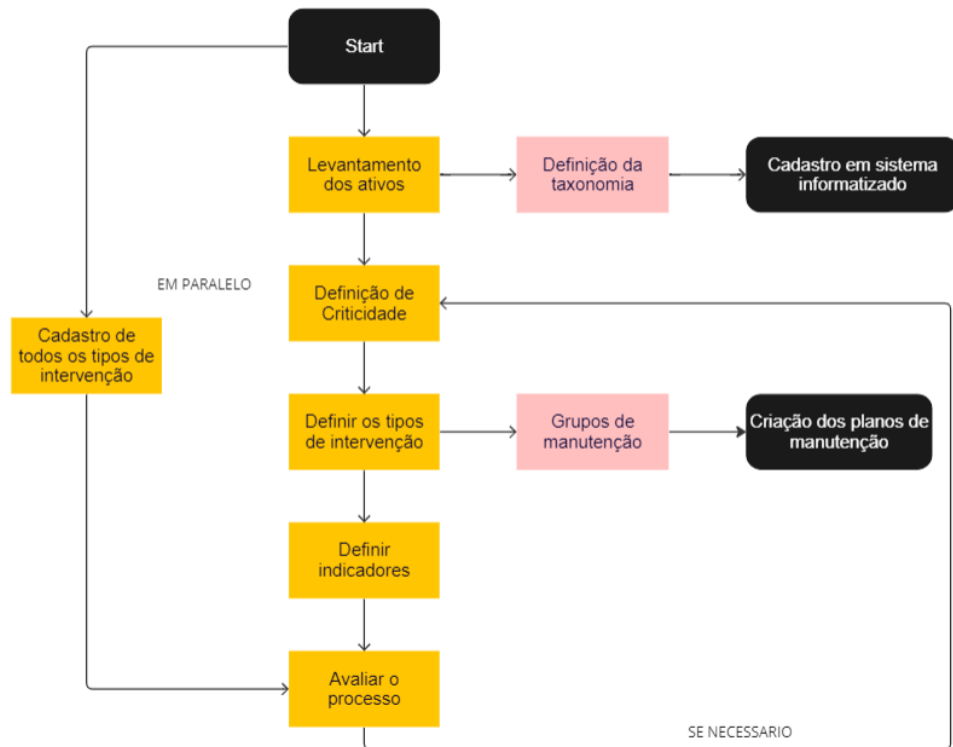
Fonte: Tecnologia de Operações de Aprendizagem

4.2 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO DOS SIMULADORES

O planejamento estratégico para a manutenção dos simuladores foi elaborado pelos membros da equipe da TOA, incluindo a presente autora, com o objetivo principal de assegurar que esses equipamentos tenham uma alta disponibilidade física e confiabilidade, otimizar a eficiência operacional da organização e minimizar os custos de manutenção com o auxílio do PCM adaptado a cultura da empresa. Vale destacar que todo o processo de tomada de decisão e definições que ainda serão abordadas nesse capítulo, se deram em reuniões semanais ao longo do primeiro semestre de 2023.

A metodologia do PCM, adaptado a cultura da Vale S.A, desempenha um papel fundamental como uma ferramenta indispensável para traduzir o planejamento estratégico em ações práticas e para uma gestão eficiente dos recursos necessários para atingir tais metas. Essa metodologia envolve etapas identificação de todos os ativos, determinação da criticidade, criação dos planos de manutenção, a determinação e avaliação de indicadores. Essas etapas são mostradas através do fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 1 - Fluxograma da definição da estratégia de manutenção



Fonte: elaborada pela autora

A Figura 2 indica a sequência das etapas da definição das estratégias. Primeiramente ao iniciar o planejamento estratégico da manutenção, foi necessário realizar e registrar todo o levantamento dos ativos seguindo para definição de critérios de criticidade para estes indicadores. Após essa etapa foi definido quais seriam as intervenções de manutenção que seriam realizadas pela equipe bem com a frequência e as condições em que elas iram ocorrerem.

Essa etapa foi precedida da definição dos indicadores que serão utilizados para avaliar e validar a estratégia de manutenção definidas nos passos anteriores. Após a avaliação da estratégia é possível que ocorra a necessidade de reavaliar e/ou adaptar algumas das decisões tomadas, desde a criticidade dos ativos até a inclusão ou exclusão de alguns indicadores. Em paralelo todas as manutenções realizadas pela equipe foram registradas em um aplicativo de gestão de ativos.

Ao registrar a manutenção no sistema é preciso informar o tipo de manutenção, a descrição da ocorrência e apropriar a mão de obra necessária, bem como o tempo necessário para execução da intervenção. Essas informações permitiram medir os indicadores para avaliar o processo. Os próximos tópicos apresentaram de forma mais completa as atividades ilustradas na Figura 2.

4.2.1 Levantamento dos ativos

Foi realizado um levantamento de todos os simuladores e consoles da área da Operação de Aprendizagem e identificado o estado em que ele se encontrava, ou seja, se estava ativo ou inativo. Para este último caso foi avaliado a possibilidade de ativas novamente o simulador ou desmobilizá-lo do parque de simuladores da Vale S.A. Todos esses dados alimentam uma planilha em Excel, assim como outras informações, tais como: corredor, complexo, tag de identificação, responsável técnico, tipo de tecnologia, modelo, fabricante etc.

4.2.2 Definição de criticidade

Como dito anteriormente todos os ativos de capacitação da TOA são de baixa prioridade e criticidade para o sistema da Vale S.A, porém para melhorar o gerenciamento e a priorização das atividades manutenção dos simuladores, a área optou por criar níveis de prioridade para os simuladores, validos apenas para ter

critérios para priorizar as ordens de manutenção. Esses critérios incluem o custo, o número de treinamentos obrigatórios e o número de colaboradores que utilizam o simulador além das condições de aquisição das peças .

Cada um dos critérios possui três parâmetros e cada parâmetro possui um peso, como mostra a Quadro 3. A faixa de valores para cada um dos critérios foi avaliado considerando o espectro completo de valores, desde os valores máximo até o mínimo. Posteriormente, esse intervalo foi subdividido em três faixas distintas, cada uma atribuída a um peso correspondente.

Cada simulador atende a apenas um parâmetro de cada critério e ao final são somados os pesos que determinam a prioridade do ativo como mostra a Figura 3. Ativos com prioridade A são críticos e devem sempre ser priorizados. Ativos B e C não são considerados críticos, mas ativos com prioridade B devem ser atendidos antes de ativos com prioridade C, sendo C o mais baixo nível de prioridade.

Quadro 3 – Critérios para determinar a criticidade dos simuladores
PESOS DE AVALIAÇÃO

<i>Fatores de Avaliação</i>	1	3	5
<i>Custo (R\$)</i>	Até 200 mil	De 200 mil até 1 milhão	Acima de 1 milhão
<i>Público-alvo</i>	Até 1250	De 1250 até 2500	Acima de 2500
<i>Condição de Aquisição</i>	Fácil – Peças nacionais, de mercado, com ou sem contrato de fornecimento	Média – Peças importadas e de mercado ou peças nacionais e dedicadas (com ou sem contrato para ambos os casos)	Difícil – Peças importadas, dedicadas, com ou sem contrato de fornecimento.
<i>Treinamento Obrigatórios</i>	Nenhum	1	2 ou mais

Fonte: PGS de Gestão de ativos de tecnologia aplicados à capacitação – Vale S.A

Figura 2 - Criticidade e prioridade dos simuladores para à TOA

	ATIVO CRITICO	ATIVO NÃO CRITICO	
PRIORIDADE GC	A	B	C
SOMA DOS PESOS	<10	10 até 15	>15

Fonte: PGS de Gestão de ativos de tecnologia aplicados à capacitação – Vale S.A

4.2.3 Definir os tipos de intervenção

As características geográficas dos ativos e da equipe desempenham um papel crucial na elaboração do planejamento estratégico da manutenção. Com base nos referenciais teóricos de ativos distribuídos geograficamente, foi definido pela equipe da TOA que para os simuladores e consoles utilizados para a capacitação as intervenções de manutenção são as ações corretivas, ações preventivas e manutenção por oportunidade.

Para determinar a periodicidade de manutenção preventiva dos simuladores, eles foram separados em grupos onde os equipamentos possuíam similaridades construtivas e/ou modelo do ativo. Por exemplo os simuladores do Grupo A, PRO3-B e IM360, são simuladores de operação em mina, de alta fidelidade e fabricados pela empresa Immersive Technologies. Cada um dos modelos possui 4 e 1 simuladores respectivamente.

O Quadro 4, mostra o tipo de ativo, a característica construtiva do simulador, o modelo e a periodicidade de manutenção de cada grupo. Além disso, cada grupo de ativo possui um plano de manutenção contendo as listas de tarefas e recursos necessários para executar a manutenção, sendo um requisito mínimo do PCM e ação necessária para nesta etapa do planejamento estratégico da manutenção, visto que são eles que determinaram a qualidade da manutenção.

Quadro 4 - Grupos de simuladores para a associação de plano de manutenção

<i>Grupo</i>	<i>Tipo de Ativo</i>	<i>Característica construtiva</i>	<i>Modelo</i>	<i>Periodicidade</i>
A	Simulador de Operação em Mina	Fidelidade	PRO3-B e IM360	Semestral
B	Simulador de Operação em Mina	Fidelidade	LX6	Semestral
C	Simulador de Operação em Mina	Fidelidade	AES2-B	Semestral
D	Simulador de Operação em Mina	Fidelidade	G4-CB-UM-V2 CAT	Semestral
E	Simulador de Operação em Mina	Fidelidade	SIMMENTOR	Semestral
F	Kits Consoles	Console	T44; EF144; E37; G266; D134; G4-LTTT-CONV4; T3; E157; G4-HEX-CONV3-NS; WL20; WL223; 5DT; T145	Semestral

G	Simulador de Operação Ferroviária	Fidelidade	VTS3D; EGP-EFVM; EGP-EFC	Anual
H	Simulador de CCO	Fidelidade	Painel EFVM	Anual
I	Simulador de Processos de Soldagem	Realidade Virtual	HyperReal SIM; K4601-1; WeldTrainer	Anual
J	Simulador de Realidade Virtual	Realidade Virtual	HTC VIVE	Anual
K	Simulador de Operação Portuária		-	Anual
L	Simulador de Operação Remota	Realidade Virtual	OR03	Anual

Fonte: PGS de Gestão de ativos de tecnologia aplicados à capacitação – Vale S.A

A periodicidade das manutenções preventivas foi definida conforme as recomendações dos fabricantes ou orientações técnicas. As manutenções periódicas incluem a verificação de componentes de hardware, softwares, sensores, telas, controles, calibração e atualização de parâmetros de simulação, além da lubrificação das bases de movimento se necessário ou se aplicável ao grupo de simulador.

Enquanto as manutenções preventivas ocorrem de maneira planejada e com antecedência a manutenção corretiva ocorre sempre que houver a percepção de um defeito ou falha, seja durante uma inspeção ou durante o uso do simulador para o treinamento. Para este último caso, na ocorrência de falha, a manutenção será do tipo corretiva emergencial, ou seja, o reparo deve ser imediato. Devido ao tipo de equipamento e a estrutura geográfica da organização, as manutenções desse tipo podem ocorrer de forma remota.

Nesse caso, o instrutor do treinamento é a mão de obra que será executara a manutenção, porém isso só ocorre sob a orientação de um ou mais membros da equipe da TOA, através de vídeo chamadas. Nesse momento serão realizados apenas os reparos mínimos para que o equipamento volte a operar e possa ocorrer a continuidade do treinamento. Para os demais casos a manutenção será do tipo manutenção corretiva não emergencial, podendo ser planejada para o momento com o menor impacto nos treinamentos e capacitações.

As manutenções por oportunidade ocorreram de duas maneiras. Cabe aqui um adendo em relação a situação das ordens de manutenção (OM). Sempre que for

necessário qualquer tipo de intervenção de manutenção, ela deverá ser aberta no aplicativo e terá seus status como *aberta*. Quando a OM ter data definida para ser executada, ela passa a ter o status de *programada*. Após a execução da manutenção, a OM terá status de *encerrada*.

A primeira situação será quando identificado um equipamento com defeito e a manutenção preventiva ainda não ocorreu ou está próxima de acontecer, assim os dois serão planejados para ocorrer no mesmo momento assim que as peças de reparo, se necessário, estejam disponíveis, diminuindo o tempo de indisponibilidade do equipamento e com menor impacto na utilização em treinamentos e capacitações.

Outra situação para a ocorrência da manutenção por oportunidade é no caso de um equipamento apresente um defeito e a manutenção preventiva já esteja programada. Caso a peça para reposição já esteja disponível no estoque, a manutenção corretiva irá acontecer juntamente com a manutenção preventiva na data em que estava programada para acontecer.

4.2.4 Definir indicadores

Uma etapa crucial e de extrema relevância no planejamento estratégico de manutenção envolve a avaliação contínua da eficácia da estratégia inicial na aplicada para o alcance dos objetivos estabelecidos. Esse processo de avaliação se apoia em indicadores, abrangendo aspectos como qualidade, produtividade e custo. Esses indicadores desempenham um papel fundamental na medição do desempenho da manutenção e na identificação melhorias.

Os indicadores definidos pela área da TOA para a avaliação da estratégia de manutenção dos simuladores de capacitação da Vale S.A são apresentados na tabela x são:

- Tempo Médio entre Falhas – MTBF;
- Tempo Médio para Reparo – MTTR;
- Índice de Manutenção Corretiva – IMC;
- Índice de Manutenção Preventiva – IMP;
- Disponibilidade Física – DF;
- Utilização Física – UF;

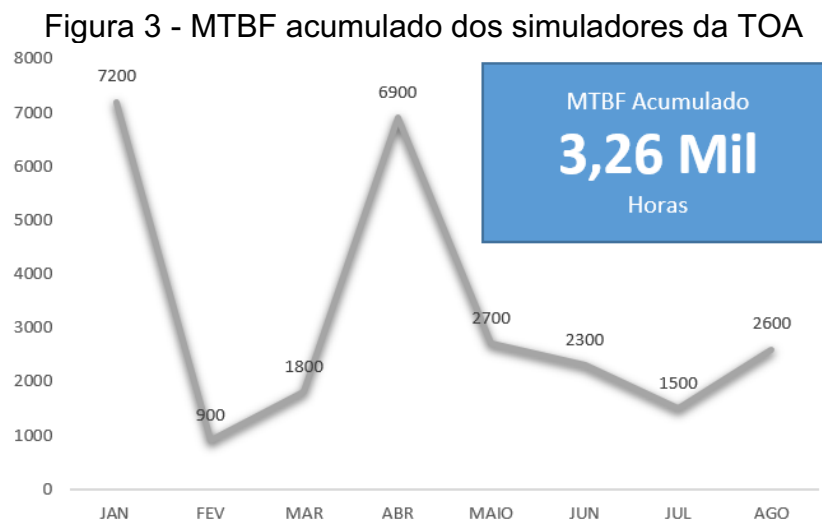
- Relação da manutenção corretiva/manutenções total – RMC;
- Relação da manutenção preventiva/manutenções total – RMP;
- Gasto absoluto de manutenção preventiva – GAMP;
- Gasto absoluto de manutenção corretiva – GAMC;
- Gasto absoluto de manutenção corretiva emergencial – GAME.

5 ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem o objetivo de apresentar e analisar os dados mesurados no período de janeiro a agosto de 2023. De modo a avaliar a gestão atual da manutenção dos simuladores de acordo com a estratégia de manutenção desenvolvida no capítulo anterior, mesmo que nesse período o planejamento estratégico ainda estava em desenvolvimento assim como a implementação do PCM. A equipe da TOA registrou no aplicativo de gestão de ativos o tipo de intervenção, HHT e o tempo de indisponibilidade do ativo.

Cabe aqui destacar que como abordado no Tópico 3.1, os consoles são utilizados apenas se estiverem conectados a um simulador. Desse modo, os consoles são considerados ativos filhos, e necessitam de um ativo pai, neste caso um simulador para poder operar. Por esse motivo, será considerado para a avaliação dos indicadores apenas os simuladores de alta fidelidade, média fidelidade e realidade virtual.

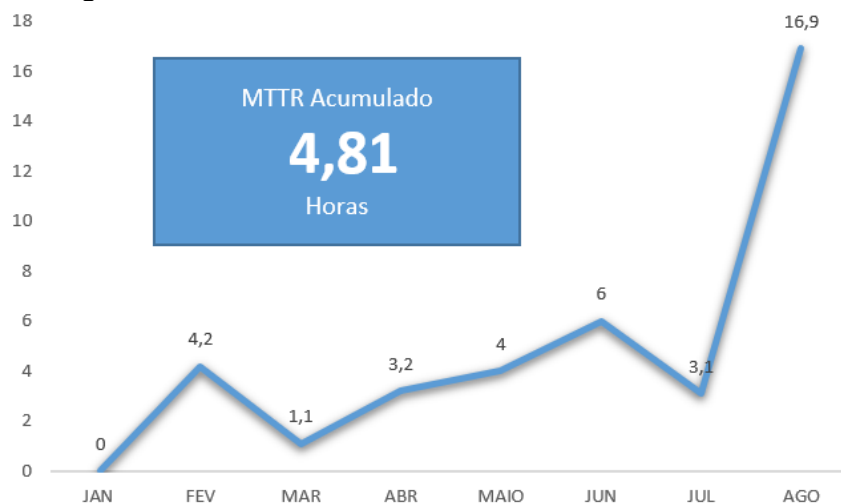
Entre os indicadores de qualidade de manutenção, conforme o indicador de MTBF apresentado na Figura 4, o tempo médio em que os simuladores ficam disponíveis para operação sem interrupção por falha é em torno de 3,26 mil horas. Tal valor sugere uma boa confiabilidade dos ativos, visto que o MTBF é bem superior ao valor médio de 1,98 mil horas anuais em que os simuladores podem operar tendo ao menos uma manutenção preventiva anual.



Fonte: BI ativos de tecnologia - adaptado

Já o indicador de MTTR, conforme mostra a Figura 5, o tempo médio que o ativo leva para voltar a operar após a falha é de 4,81 horas. Esse dado enfatiza a eficácia das manutenções remotas como uma alternativa vantajosa para restaurar o funcionamento dos simuladores rapidamente, sem a necessidade de custos e atrasos associados a deslocamentos entre os complexos. Além disso, esse tipo de abordagem proporciona uma maior flexibilidade nas intervenções de manutenções corretivas emergenciais.

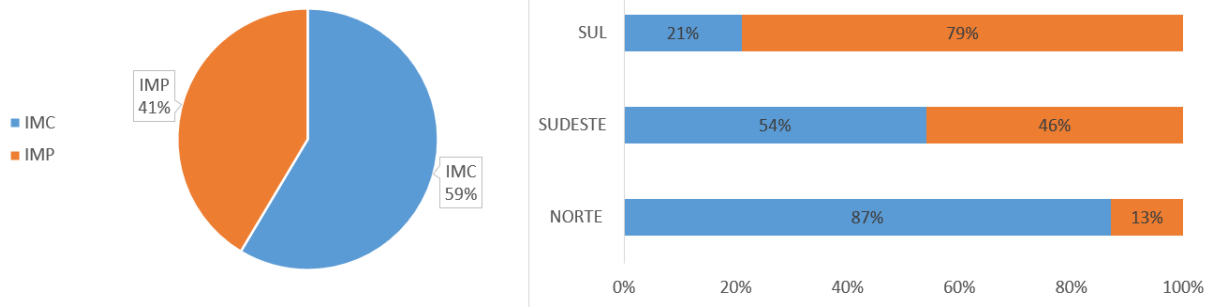
Figura 4 - MTTR acumulado dos simuladores da TOA



Fonte: BI ativos de tecnologia – adaptado

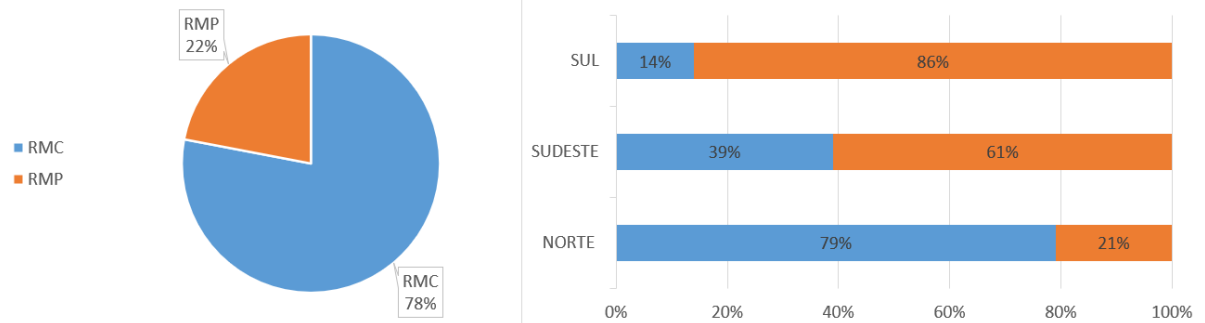
Os indicadores de índice de manutenção por tipo de intervenção IMC e IMP são apresentados na Figura 6. Conforme o gráfico indica um IMC de aproximadamente 58% das manutenções são do tipo corretiva, enquanto o restante, cerca de 41% representam o índice de manutenção preventiva, IMP, um número maior de intervenções corretivas do que preventivas. Os indicadores de relação de HH dedicado a cada tipo de manutenção, na Figura 7, segue a linha dos indicadores de IMP e IMC, sendo que o RMC apresenta cerca de 77% enquanto o RMP é aproximadamente 22%.

Figura 5- Índice de intervenções por tipo de manutenção



Fonte: BI ativos de tecnologia – adaptado

Figura 6 – Relação HHT distribuído por tipo de manutenção



Fonte: BI ativos de tecnologia – adaptado

A Figuras 6 ainda mostram que o corredor Sul já executou aproximadamente 79% das manutenções preventivas em contrapartida o corredor Norte executou apenas 12% das manutenções preventivas. Esses valores se dão pelo fato de como mostrado na Figura 8, 24 dos 47 simuladores (51%), se encontram no corredor Norte, em contrapartida apenas 6 simuladores estão localizados no corredor Sul. A menor quantidade de simuladores permite que a gestão das manutenções ocorra mais facilmente.

Figura 7 - Distribuição dos simuladores por corredor



Fonte: BI ativos de tecnologia

Ainda utilizando os indicadores RMP e RMC é possível realizar um comparativo quanto ao custo de cada um dos tipos de manutenções em relação a mão de obra. A Tabela 2 apresenta o número de funcionários por cargo, a carga horária diária e o salário referente de acordo com o CREA-MT em 2021. Dessa forma, o valor médio do Homem Hora de Trabalho (HHT), ou seja, o custo médio da hora de trabalho por pessoa da equipe é de R\$112,5.

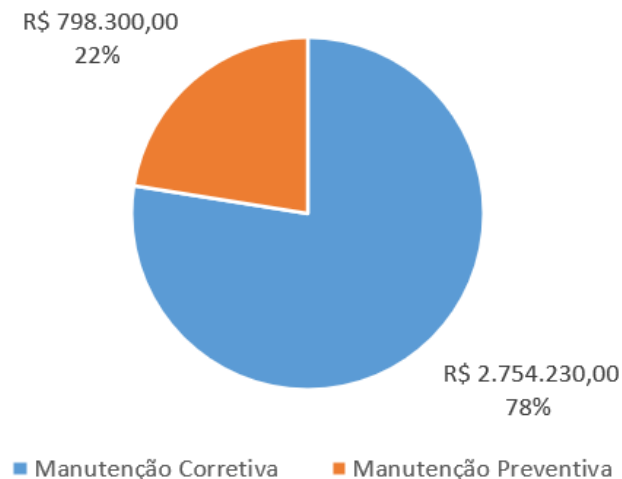
Durante o período avaliado, foram 32 mil horas de manutenção realizadas, das quais 24,8 mil horas foram dedicados a manutenção corretiva. Levando a custo 2,7 milhões de reais gastos com manutenções corretivas, aproximadamente 3,45 vezes maior que o custo da manutenção preventiva que foi de R\$ 798.000,00 como mostra a Figura 9. Vale destacar que esses valores são apenas relacionados ao custos relacionados a mão de obra da manutenção, não levando em consideração demais custos, visto que o processo de estruturação do PCM ainda não foi capaz de calcular todos os custos absolutos de cada tipo de manutenção.

Tabela 2 - Carga horária e custo do HH da equipe da TOA

<i>Membro</i>	<i>Número de funcionários</i>	<i>Carga horária diária (h/dia)</i>	<i>Salário (R\$)</i>
<i>Engenheiro Sênior</i>	3	8	22000
<i>Estagiário</i>	1	6	1500
TOTAL	4	30	67500

Fonte: elaborada pela autora

Figura 8 - Custo da manutenção



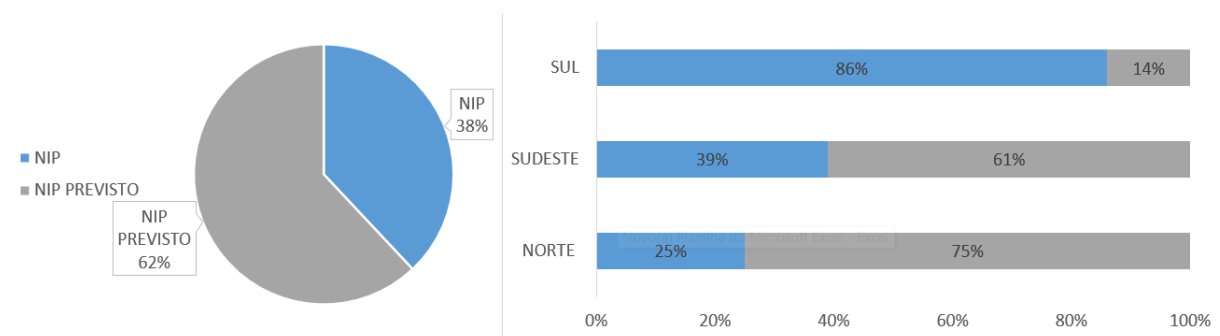
Fonte: BI ativos de tecnologia – adaptado

Além do HHT utilizado em manutenções corretivas ser em torno de 3,4 vezes maior que o HHT dedicado as manutenções preventivas, outro fator que pode contribuir para o custo maior das manutenções corretiva é que geralmente elas envolvem dois funcionários. Esses indicadores mostram o quanto a manutenção corretiva torna-se mais cara comparado a manutenção preventiva, comprovando o que é afirmado nos referenciais teóricos pelos autores Otani e Machado (2008) e Costa (2013).

No entanto, a Figura 10 apresenta a comparação dos números de MP que já foram ou não executada. E apenas 38% das intervenções de manutenção preventiva planejadas para serem realizadas durante o ano de 2023 já foram executadas. Isso ocorre, pois as manutenções preventivas foram ocorrendo a medida em que os planos de manutenção foram sendo finalizados.

Além disso ocorre uma maior demanda de manutenção preventivas no segundo semestre de 2023, como mostra o Mapa de 52 semanas no Anexo 1, pois foi estipulado que até o mês de julho todos os grupos de ativos teriam um plano de manutenção associado a ele. O mapa de 52 semanas para manutenção é um plano anual que detalha qual a semana em que existe a intenção em realizar as atividades de manutenção.

Figura 9 - Relação de manutenções preventivas/planejadas



Fonte: BI ativos de tecnologia – adaptado

A análise desses indicadores ressalta dois pontos: o primeiro relacionado à decisão da equipe em implementar o PCM a área da Tecnologia de Operações da Aprendizagem. Os resultados dos indicadores de distribuição de índice de manutenção e HH envolvido reafirma o fato de que maior parte do tempo dedicado a manutenção não foi planejado, implicando na não disponibilidade de ativos no

momento necessário, a incerteza para priorizar as outras demandas e o alto custo da manutenção levando em consideração apenas a mão de obra.

Outro ponto relevante está relacionado à importância dos indicadores, pois eles direcionam o foco da estratégia atual não apenas na tarefa a ser realizada, mas também na qualidade da manutenção. No cenário atual, é crucial que as manutenções corretivas sejam reduzidas, visando a diminuição dos custos de manutenção, ao mesmo tempo em que se assegura que a disponibilidade física do ativo não diminua.

No início da estratégia de manutenção o objetivo é garantir que as manutenções preventivas sejam implementadas e que exista pelo menos uma aderência de 80% aos planos de manutenção. Os indicadores desempenharão um papel fundamental ao final de um ano, revelando se as ações adotadas estão progredindo em direção ao alcance do objetivo, e servirão para determinar se é necessário reavaliar e ajustar as ações de acordo com as necessidades da equipe.

Além disso, em dezembro de 2022 apenas 70% dos simuladores estavam ativos, e a final de agosto de 2023 após a estratégia de manutenção definida 80% dos simuladores estão disponíveis para operar.

Embora todo o processo de implementação da estratégia e desenvolvimento do PCM estejam em fase inicial a maturidade ainda esteja inferior a um, algumas melhorias nas operações da equipe da TOA já foram percebidas, como por exemplo, o planejamento de todas as intervenções de manutenção bem como o registro delas, permitindo avaliar através de indicadores a aderências aos planos de manutenção e ao planejamento estratégico da manutenção.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho tinha como principal objetivo definir a melhor estratégia de manutenção para os simuladores em rede geograficamente distribuída que são utilizados nas capacitações da Vale S.A. Além disso, esse trabalho buscou também apresentar alguns estudos sobre as estratégias de manutenção utilizadas para este tipo de rede de equipamentos e apresentar e analisar indicadores que irão validar a estratégia de manutenção definida pela equipe.

O planejamento estratégico de manutenção para simuladores e consoles usados nas capacitações foi desenvolvido pela equipe da área de Tecnologia de Operações de Aprendizagem (TOA) responsável pela gestão dos ativos de tecnologia. À TOA gerencia aproximadamente 47 simuladores distribuídos em 11 complexos além disso, a equipe da TOA é composta por 4 membros com habilidades variadas e estão geograficamente dispersos.

A estratégia de manutenção é definida com o objetivo de garantir alta disponibilidade e confiabilidade dos ativos, otimizar a eficiência operacional e minimizar os custos de manutenção. A metodologia utilizada foi a de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) adaptado à cultura da empresa para atingir esses objetivos e envolve a identificação de ativos, determinação de criticidade, criação de planos de manutenção e avaliação de indicadores.

Para priorizar as ordens de manutenção, à TOA criou níveis de prioridade com base em critérios como custo, número de treinamentos obrigatórios e número de colaboradores que utilizam o simulador. E definiu os que as intervenções de manutenção incluem ações corretivas, preventivas e manutenção por oportunidade. A periodicidade das manutenções preventivas é definida com base nas recomendações dos fabricantes ou orientações técnicas.

Foram definidos também os indicadores MTBF, MTTR, índice de distribuição e relação do HH de cada tipo de manutenção, disponibilidade e utilidade física, além de indicadores de custo para cada um dos tipos de intervenção. A avaliação contínua dos indicadores desempenha um papel fundamental na avaliação e melhoria do planejamento estratégico de manutenção dos simuladores da Vale S.A.

Já o capítulo 4 apresenta os valores dos indicadores definidos no capítulo 3 utilizando como base os dados coletados de janeiro a agosto de 2023 em paralelo

ao período de desenvolvimento do planejamento estratégico da manutenção. A equipe da TOA registrou todas as manutenções realizadas, incluindo tipo de intervenção, Homem Hora (HH) dedicado à manutenção e tempo de indisponibilidade do ativo.

Os indicadores de qualidade de manutenção, como MTBF (Tempo Médio entre Falhas) e MTTR (Tempo Médio para Reparar), sugerem uma boa confiabilidade dos ativos. No entanto os indicadores IMC, IMP, RMC e RMP mostram uma proporção maior ações e de horas dedicadas a manutenções corretivas em comparação com as manutenções preventivas. Esses valores reforçam que a manutenção corretiva é consideravelmente mais cara do que as manutenções preventivas.

No entanto, apenas 38% das intervenções de manutenção preventiva planejadas para 2023 foram realizadas até o momento. A análise destes indicadores destaca a necessidade de implementar o PCM para o melhor planejamento das manutenções, reduzir custos e garantir a disponibilidade dos ativos, além de direcionar a estratégia de manutenção para a redução das ações corretivas.

Esse estudo ofereceu percepções sobre a importância do planejamento estratégico da manutenção de simuladores e da gestão eficaz de ativos geograficamente distribuídos que pode ser visto com a passagem de 70% em dezembro de 2022 para 80,85% de simuladores ativos em agosto de 2023. No entanto, esses temas oferecem oportunidades para estudos futuros que possam aprimorar ainda mais a eficácia da estratégia de manutenção e otimização de processos. Algumas sugestões para trabalhos futuros incluem a análise de indicadores para avaliação da aderência à estratégia de manutenção que meçam a eficácia da estratégia em atingir os objetivos estabelecidos.

Outra área de pesquisa envolve o desenvolvimento de algoritmos capazes de criar cronogramas de manutenção eficientes, considerando tanto as manutenções corretivas não emergenciais quanto as preventivas. Integrando a confiabilidade e a criticidade dos ativos como parâmetros na elaboração dos calendários de manutenção e avaliar o impacto desses algoritmos na redução de custos, aumento da disponibilidade de ativos e prolongamento da vida útil dos equipamentos. É ainda possível integrar técnicas de Aprendizado de Máquina (ML), levando em consideração dados históricos e condições que possam identificar padrões de falhas e aprimorar continuamente os processos de manutenção.

REFERÊNCIAS

BELHOT, Ricardo Vairo; CAMPOS, Fernando Celso de. Relações entre manutenção e engenharia de produção: uma reflexão. **Production**, v. 5, n. 2, p. 125–134, Dez. 1995.

ÇAKIRGIL, Seray *et al.* An integrated solution approach for multi-objective, multi-skill workforce scheduling and routing problems. **Computers and Operations Research**, v. 118, 2020.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

CREA – MT. Tabela de Honorários: profissional básico, 2021. Disponível em: <https://www.crea-mt.org.br/portal/wp-content/uploads/2021/07/A-TABELA-DE-HONORARIOS-BASICOS-PROFISSIONAIS-DA-ABENC.pdf>

JIA, Chuanzhou; ZHANG, Chi. Joint optimization of maintenance planning and workforce routing for a geographically distributed networked infrastructure. **IIE Transactions**, v. 52, n. 7, 2020.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. *Manutenção: função estratégica*. E. ed. Rio de Janeiro: Quality mark, 2009. V.1

MANCO, Pasquale *et al.* Maintenance management for geographically distributed assets: a criticality-based approach. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 218, 2022.

MARSARO, Mônica Frank. **Modelos de manutenção baseados em oportunidade considerando inspeção imperfeita e múltiplos critérios**. 2019. Tese de Doutorado (Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

NETO, Emanuel Macedo. **Indicadores de manutenção: um estudo de caso em uma indústria de carcinicultura do estado do Rio Grande do Norte**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia Mecânica) – departamento de Engenharia Mecânica, Universidade federal do Rio Grande do Norte, 2019.

NGUYEN, Ho Si Hung *et al.* Dynamic maintenance grouping and routing for geographically dispersed production systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 185, 2019.

OTANI, Mario; MACHADO, Walter Vieira A PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL NA BUSCA DA EXCELÊNCIA OU CLASSE MUNDIAL. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 2, 1 nov. 2008.

RODRIGUES, Claudio Leão *et al.* **Estratégia de implementação do plano estratégico.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2011.

SI, Goujin *et al.* Technician Collaboration and Routing Optimization in Global Maintenance Scheduling for Multi-Center Service Networks. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 19, n. 3, 2022.

SI, Goujin *et al.* Service-oriented global optimization integrating maintenance grouping and technician routing for multi-location multi-unit production systems. **IIE Transactions**, v. 54, n. 9, 2022.

SI, Goujin *et al.* A reliability-and-cost-based framework to optimize maintenance planning and diverse-skilled technician routing for geographically distributed systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 226, 2022.

STONER, James; FREEMAN, Edward. **Administração.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1994. v. 1

VALE. PGS de Gestão de ativos de tecnologia para capacitação. Sis pav, Vitoria, ES, v.00 dia 11 de outubro de 2023.

VALE. PGS Manual de Indicadores. Sis pav, Vitoria, ES, v.00 maio de 2023.

VALE. Plano de manutenção de ativos de tecnologia para capacitação. 2023.

VIANA, H. R. G. Fatores de sucesso para a gestão da manutenção de ativos. 1. ed. Rio de Janeiro: Bookstart.2016.A.

THOMAS, Édouard; LEVRAT, Éric; IUNG, Benoit. Overview on opportunistic maintenance. Workshop on Intelligent Manufacturing Systems,2018, Poland.

