



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP



ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MARCELO CAEIRO DE SÁ

**ESTUDO DE ENGENHARIA APLICADO AO DESENVOLVIMENTO DE
UMA PREVISÃO DE DISPONIBILIDADE FÍSICA DA FROTA HME DE UMA
MINA SUBSOLO**

**OURO PRETO - MG
2020**

MARCELO CAEIRO DE SÁ

mararcelo@gmail.com

**ESTUDO DE ENGENHARIA APLICADO AO DESENVOLVIMENTO DE
UMA PREVISÃO DE DISPONIBILIDADE FÍSICA DA FROTA HME DE UMA
MINA SUBSOLO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: MSc. Savio Sade Tayer

OURO PRETO - MG

2020

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D278e De Sá, Marcelo Caeiro.

Estudo de engenharia aplicado ao desenvolvimento de uma previsão de disponibilidade física da frota HME de uma Mina Subsolo. [manuscrito] / Marcelo Caeiro De Sá. - 2020.

34 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Me. Savio Sade Tayer.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Planejamento da produção. 2. Minas e recursos minerais. 3. Engenharia da produção. 4. Veículos a motor - Frotas - Manutenção e reparos . I. Tayer, Savio Sade. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624.13

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB: 1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcelo Caeiro de Sá

Estudo de Engenharia aplicado ao desenvolvimento de uma previsão de Disponibilidade Física da Frota HME de uma mina subsolo.

Membros da banca

Nome - Dsc Washington Luís Vieira da Silva - UFOP

Nome - Dsc Luís Antônio Bortolaia - UFOP

Nome - titulação - Instituição

Versão final

Aprovado em 14 de agosto de 2020.

De acordo

Sávio Sade Tayer



Documento assinado eletronicamente por **Sávio Sade Tayer**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/10/2020, às 12:54, 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 **0096001** e o código CRC **F87F4083**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.008060/2020-10

SEI nº 0096001

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Savio Tade Tayer, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

A toda a minha família, principalmente meus irmãos Roberta e David por todo apoio nessa jornada em busca de mais uma conquista.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por nunca deixarem que duvidássemos de nosso potencial.

A vida republicana de Ouro Preto e todos as amizades que pude fazer durante essa jornada em busca do conhecimento.

A AngloGold Ashanti e todos seus colaboradores, por me possibilitarem a oportunidade me tornar um profissional melhor a cada dia.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.

Martin Luther King

RESUMO

SÁ, Marcelo Caeiro. **Estudo de engenharia aplicado ao desenvolvimento de uma previsão de disponibilidade física da frota HME de uma mina subsolo.** 2020. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

A expansão do mercado em geral traz consigo a necessidade do desenvolvimento de formas mais econômicas e eficientes de se realizar as atividades produtivas, com isso, surge a necessidade que todos os setores da empresa se empenhem em busca de garantir a longevidade do negócio. A manutenção, que já foi considerada uma despesa para as empresas, hoje é vista como um investimento essencial para garantir os resultados da mesma, portanto, se faz necessário que a gerência de manutenção se desafie a todo momento para garantir a disponibilidade dos ativos da empresa, em busca de possibilitar que o planejamento/operação de mina consiga atingir o plano de produção prometido a seus acionistas. Esse estudo tem o intuito de desenvolver uma previsão de disponibilidade física para os equipamentos da frota HME de uma empresa de mineração. Para tal, realizou-se a análise de dados históricos e desenvolvimento de fórmulas apresentadas na bibliografia estudada para o desdobramento de uma forma satisfatória de realizar tal estimativa. O mesmo se baseia no estudo individual dos indicadores apresentados por cada equipamento constituinte das frotas críticas, para estipular uma disponibilidade física média para o ano de 2020. Os resultados obtidos têm como objetivo, viabilizar o plano produtivo da unidade de negócios estudada, além de que, permitir a gerência de manutenção a visualização das principais fragilidades de seu processo, onde será necessário investir maior esforço para garantir a entrega do plano desafio. A utilização das equações propostas para o cálculo da disponibilidade física dos equipamentos HME, se mostraram como uma importante ferramenta de auxílio para o setor de engenharia de manutenção no desenvolvimento de estratégias médio e longo prazo. Os valores encontrados foram considerados satisfatórios e aplicados ao plano vigente da empresa. A ideia de se desenvolver uma ferramenta de fácil aplicação visou a praticidade de utilização do modelo para revisões baseadas nos pontos de atenção levantados pela gerência de manutenção e/ou variações de cenários que podem ser desenvolvidos para o plano de produção, além de que se possa ser utilizado em futuras oportunidades.

Palavras-chave: Engenharia de planejamento e controle de manutenção, Equipamentos móveis, Mineração subsolo, Disponibilidade física.

ABSTRACT

The expansion of the market in general brings with it the need to develop more economical and efficient ways to carry out productive activities, with this, there is a need for all sectors of the company to strive to ensure the longevity of the business. Maintenance, which was once considered an expense for companies, is now seen as an essential investment to guarantee its results, so it is necessary for maintenance management to challenge itself at all times to ensure the availability of company assets, in order to enable the mine planning / operation to achieve the production plan promised to its shareholders. This study aims to develop a availability forecast for the equipment of a mining company's HME fleet. To this end, the analysis of historical data and the development of formulas presented in the bibliography studied were carried out to develop a satisfactory way of making such an estimate. The same is based on the individual study of the indicators presented by each equipment constituting the critical fleets, to stipulate an average availability for the year 2020. The results obtained are aimed at making the productive plan of the studied business unit viable, in addition to, allow maintenance management to visualize the main weaknesses of its process, where it will be necessary to invest greater effort to guarantee the delivery of the challenge plan. The use of the proposed equations to calculate the physical availability of HME equipment, proved to be an important aid tool for the maintenance engineering sector in the development of medium and long term strategies. The values found were considered satisfactory and applied to the company's current plan. The idea of developing an easy-to-use tool aimed at the practicality of using the model for reviews based on the points of attention raised by the maintenance management and / or variations of scenarios that can be developed for the production plan, in addition to being able to be used in future opportunities.

Key-words: Maintenance planning and control engineering, Heavy mobile equipment, Underground mining, Availability

LISTA DE SIMBOLOS

%IPP – Impactos por perda de processo

%IPV – Impacto devido a demandas preventivas

BU – Unidade de negócios

DF – Disponibilidade Física

HC – Horas Indisponíveis Devido a Manutenções Corretivas

HD – Horas Disponíveis do Equipamento para Operação

HH – Homem Hora

HME – Heavy Mobile Equipment

HP – Horas Produtivas

HT – Horas Trabalhadas

HV – Horas Indisponíveis Devido a Manutenções Preventivas

KPI – Indicadores Chave do Processo

MTBF – Tempo Médio Entre Falhas

MTTR – Tempo Médio de Reparo

NC – Número de eventos corretivos

OEE – Eficiência Geral do Equipamento

PCM – Planejamento e Controle de Manutenção

ROM – Run of Mine

TP = Tempo Total de Operação

TR = Tempo Real de Operação

UT = Utilização

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Dimensionamento dos Recursos da Manutenção com Base no Plano de Manutenção	12
Figura 2 Caminhão Volvo modelo A30G.....	15
Figura 3 Materiais e Métodos	17
Figura 4 Organograma geral da Gerência de Manutenção	21
Figura 5 Tipos de manutenção.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Técnica de manutenção preditiva	9
Tabela 2 Indicadores e Variáveis.....	19
Tabela 3 Classificação SAP PM.....	24
Tabela 4 DF mensal para os equipamentos da frota de Carregamento	24
Tabela 5 Exemplo do Lançamento de Horímetros	25
Tabela 6 Pacotes preventivos e HH necessário	26
Tabela 7 Estimativa de Preventivas para o Período	27
Tabela 8 Modelo de simulação de DF	29
Tabela 9 Proposta de DF das frotas críticas	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Manutenção Mecânica.....	5
2.2	Tipos de Manutenção.....	5
2.2.1	Manutenção Corretiva	5
2.2.2	Manutenção Preventiva	6
2.2.3	Manutenção Preditiva.....	7
2.2.4	Manutenção Autônoma.....	10
2.3	PCM: Planejamento e Controle de Manutenção.....	10
2.3.1	Quebra Zero.....	10
2.4	Planos de manutenção	11
2.5	Indicadores de manutenção	13
2.5.1	MTBF	13
2.5.2	MTTR.....	13
2.5.3	Disponibilidade Física	13
2.5.4	Utilização.....	14
2.5.5	Confiabilidade	14
2.5.6	Manutenabilidade	14
2.6	Heavy Mobile Equipments (HME).....	15
3	METODOLOGIA.....	16
3.1	Tipos de pesquisa.....	16
3.2	Materiais e métodos.....	17
3.3	Variáveis e Indicadores	18
3.4	Coleta de dados.....	19
3.5	Tabulações de Dados	19
3.6	Considerações finais	20

4	RESULTADOS.....	21
4.1	Características do setor.....	21
4.2	Estratégia de estudo.....	23
4.3	Compilação de dados.....	27
4.3.1	Impacto preventivo.....	27
4.3.2	Impacto por perdas de processo.....	28
4.3.3	Simulação de DF.....	28
5	CONCLUSÃO.....	31
5.1	Conclusões.....	31
5.2	Recomendações.....	32
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

O desenvolvimento da concorrência e de novas tecnologias torna cada vez mais competitivo e acirrado o mercado, forçando as empresas a se reinventarem e traçarem métodos de redução dos custos de produção, contudo sem deixar que seu produto perca qualidade. Esse cenário torna necessário que todos os setores da empresa estejam alinhados com o objetivo de garantir o sucesso da instituição. Dentro desse contexto, a manutenção desempenha um papel fundamental no aumento da produtividade, disponibilidade de equipamentos e sempre buscando a redução de custos de suas atividades, visto que, atualmente representam um dos maiores custos para as empresas.

Xenos (1998) relata que as atividades de manutenção eram consideradas como um mal necessário por várias pessoas em diferentes empresas. Mais recentemente, esta atitude em relação à manutenção começou a mudar e hoje ela já é reconhecida como uma função estratégica. Os principais agentes e oportunidades que propiciaram esta mudança de imagem foram a maior preocupação com a qualidade e a produtividade, a ênfase cada vez maior nos assuntos relacionados à segurança, as crescentes preocupações ambientais, o envelhecimento dos equipamentos e instalações, a necessidade de reduzir custos e as exigências geradas pela aplicação de normas reguladoras. Esta nova situação promove alguns desafios e exige o desenvolvimento e a aplicação de novos sistemas de gerenciamento da manutenção.

A manutenção como já mencionado, é a combinação de ações técnicas e administrativas, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar sua função requerida, isso significa manter o equipamento em condições de realizar sua função com o desempenho esperado (NBR 5462, 1994). Sendo assim, pode-se perceber o quanto a manutenção passa a ser requisitada e de fundamental importância para garantir a disponibilidade de equipamentos essenciais para a produção.

Para Costa (2013) uma forma que a manutenção pode utilizar para garantir que esse objetivo seja alcançado é garantir a disponibilidade física dos equipamentos, isso quer dizer, garantir que os equipamentos tenham condições de operar pelo tempo necessário

para garantir a produção e evitar gastos com manutenções corretivas, que geralmente são mais custosas. Além de gerar mais segurança para todos os envolvidos no processo.

A presença de equipamentos cada vez mais sofisticados e de alta produtividade fez a exigência de disponibilidade ir às alturas, os custos de inatividade ou de subatividade se tornaram altos, bem altos. Então não basta ter instrumentos de produção, é preciso saber usá-los de forma racional e produtiva (VIANA, 2002).

O estudo a seguir busca desenvolver uma estimativa de disponibilidade física das frotas de HME (Heavy Mobile Equipment) de uma empresa mineradora com atuação em minas subsolo, através de simulações embasadas em dados históricos dos equipamentos constituintes de tais frotas, tempos e métodos empregados pela equipe de manutenção do site (unidade), necessidade de tempo de operação de maquinário, apresentado no plano de produção desenvolvido pela área de Planejamento/Operação de mina.

De acordo com a problemática surge a seguinte pergunta:

De que maneira a engenharia de manutenção HME, pode estimar a DF que seus equipamentos apresentarão em um determinado tempo futuro?

1.2 Justificativa

Miranda Junior (2011) relata que o principal objetivo de uma empresa de mineração é localizar jazidas, visando à extração, beneficiamento e posterior comercialização. Não é uma tarefa fácil, devido à complexidade inerente a empreendimentos mineiros.

A partir do momento em que se descobre uma reserva mineral, são empregados estudos para avaliação do corpo e possível viabilidade econômica para extração do mesmo, comprovando que é possível obter retorno satisfatório do investimento. Miranda Junior (2011) menciona que é evidente que um empreendimento de mineração somente avançará se a atividade proporcionar um retorno aceitável para esta oportunidade; isto exigirá uma substancial produção de minério. Começa-se então o desenvolvimento de diversos trabalhos visando maximizar a vida útil da mina, garantindo o melhor aproveitamento das reservas sem se esquecer da segurança de todos os stakeholders presentes nas operações, após essa etapa, as estratégias são desdobradas em planos de longo, médio e de curto prazo para extração do recurso. Estes planos nortearão todas as áreas na identificação e desenvolvimento de ações para tornar possível que os objetivos sejam alcançados.

A manutenção deve sempre estar atenta e alinhada ao planejamento/operação de mina, visto que os planos estabelecidos apresentam o que se espera da gerência de manutenção, o que será evidenciado pela entrega de disponibilidade física dos equipamentos da mina. Por esse motivo se faz de extrema necessidade uma forma de previsibilidade da DF dos equipamentos, a fim de que seja possível determinar se as condições atuais dos equipamentos é capaz de satisfazer tais necessidades ou se será necessário a adequação de algum equipamento, frota ou ajustes na gerência como uma todo (aumento na mão de obra disponível, aquisição/substituição de algum ativo e etc.). Assim sendo possível avaliar onde se faz necessário maior empenho da equipe de manutenção, ficando sob responsabilidade do corpo de engenharia propor ações/procedimentos para adequação do esperado ao executado.

O presente trabalho apresenta uma proposta de modelo de cálculo para a disponibilidade física futura de equipamentos HME, baseando-se em indicadores apresentados historicamente pelos mesmos na BU (Unidade de negócio) em que foi realizado o estudo. Espera-se que o modelo possa ser aplicado em outras unidades e outros segmentos de mineração, atentando-se para a necessidade de adequação dos *inputs* utilizados para alimentação da base de dados histórica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar por métodos quantitativos a disponibilidade física das frotas HME de uma empresa do ramo de mineração e beneficiamento de ouro, com atividades em mina subsolo, e desenvolver um modelo em que possa ser possível prever a disponibilidades física dos mesmo e, verificar se será necessário a adequação de algum equipamento, frota ou em algum outro ponto da gerência de manutenção como um todo.

1.3.2 Específicos

- Avaliar base histórica de KPI's dos equipamentos HME de uma empresa de mineração;

- Realizar o desenvolvimento uma previsão quantitativa de DF das frotas de equipamentos HME para um determinado período futuro;
- Estruturar o modelo de forma que possa facilitar a revisão das estratégias da gerência de manutenção conforme alterações no plano produtivo.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a formulação do problema juntamente a justificativa, os objetivos gerais e específicos para a formulação deste trabalho. O segundo capítulo trata-se da fundamentação teórica, onde está contida a base teórica para o desenvolvimento de uma solução, aplicação e resolução do problema, envolvendo os conceitos de disponibilidade de física de equipamentos, utilização e PCM. O terceiro capítulo trata-se da metodologia aplicada ao trabalho, a utilização de dados históricos junto as fórmulas matemáticas aplicadas ao software Excel, visando a obtenção de previsões de DF para aplicação no BUP do ano seguinte e os procedimentos utilizados durante o processo. O Capítulo quatro apresenta os resultados do trabalho desenvolvido, viabilizando o atendimento ao plano de produção a partir da aplicação dos modelos matemáticos. O capítulo cinco apresenta as conclusões a respeito da aplicação de modelos matemáticos para a simulação e previsibilidade de indicadores futuros como forma a embasar o dimensionamento das frotas de equipamentos HME.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será abordado as bases teóricas utilizadas para a realização do estudo. Será retratado conceitos de manutenção, conceitos de planejamento de manutenção, KPI's e equipamento HME.

2.1 Manutenção Mecânica

Em termos gerais, manutenção é o conjunto de ações que tem como objetivo manter um ativo ou restaurá-lo de modo que o mesmo possa realizar a função que foi idealizada, ou a função que vinha realizando até o momento em que veio a falhar.

Todos os eventos dentro de um processo podem influenciar os resultados obtidos de forma negativa ou positiva, não seria diferente com a manutenção, a mesma sendo bem aplicada pode ser um fator importante na melhoria da produtividade de uma empresa, portanto os ganhos com o correto dimensionamento das atividades não podem ser simplesmente desprezados (XENOS, 1998).

2.2 Tipos de Manutenção

Muitos autores abordam os vários tipos de manutenção possíveis, que nada mais são do que as formas como são encaminhadas as intervenções nos instrumentos de produção. Observa-se que há um consenso, com algumas variações irrelevantes, em torno da seguinte classificação: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva e Manutenção Autônoma (TPM) (VIANA, 2002).

Segue a explicação do conceito e funcionamento de cada uma delas:

2.2.1 Manutenção Corretiva

De acordo com a NBR 5462 (1994), a manutenção corretiva é definida como uma manutenção efetuada após a ocorrência de uma falha, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Para uma definição mais ampla, temos que a manutenção corretiva é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio

ambiente; se configura em uma intervenção aleatória, sem definições anteriores, sendo mais conhecida como “apagar incêndios” (VIANA, 2002).

Xenos (1998) ao discorrer sobre manutenção corretiva relata que é necessário ter cautela ao analisar as variáveis econômicas de uma manutenção corretiva. Do ponto de vista da manutenção, a manutenção corretiva é mais barata do que prevenir falhas nos equipamentos. Em compensação, também pode causar grandes perdas por interrupção da produção (XENOS, 1998). Entende-se com isso que não é suficiente levar em consideração apenas a viabilidade do custo por conta da manutenção, deve-se analisar o impacto que a indisponibilidade do equipamento trará em perdas de produção e funcionamento do processo (programação).

Kardec e Nascif (2010) ao dissertarem sobre manutenção corretiva enfatizam que esta não é apenas uma ocorrência em que se pode constatar uma falha, mas podem ser também ocorrências em que o equipamento está com desempenho deficiente, abaixo do esperado, apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais. Kardec e Nascif (2010) afirmam ainda que as manutenções podem ser subdivididas em outras duas classes, são elas as manutenções corretivas não planejadas e as manutenções corretivas planejadas.

As corretivas não planejadas é a correção da falha de maneira aleatória, são caracterizadas pela manutenção em um fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. As corretivas planejadas é a correção do desempenho menor do que o esperado ou correção da falha por decisão gerencial, normalmente baseada na modificação de parâmetros de condição observados pela manutenção preditiva e é função da qualidade de informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento. Um trabalho planejado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planejado, e será sempre de melhor qualidade (KARDEC & NASCIF, 2010).

2.2.2 Manutenção Preventiva

Ao contrário da manutenção corretiva, a manutenção preventiva tem como intuito prevenir a ocorrência de falhas. Viana (2002) classifica a manutenção preventiva como todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições operacionais ou em estado de zero defeito.

Kardec e Nascif (2010) ao dissertarem sobre manutenção preventiva são um pouco mais abrangentes e afirmam que manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. Além das condições operacionais e ambientais influírem de modo significativo na expectativa de degradação dos equipamentos, a definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação ou no máximo para condições similares (Kardec & Nascif, 2010). Entende-se com isso que o planejamento de uma manutenção preventiva deve levar em conta não apenas o equipamento fornecido pelo fabricante, mas sim toda a atividade a qual o mesmo está inserido, considerando as variáveis de condição operacional e os riscos envolvidos no processo.

Para Xenos (1998), a manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a atividade principal da manutenção em qualquer empresa, ela envolve algumas tarefas sistemáticas, tais como as inspeções, reformas e trocas de peças, e uma vez estabelecida, a manutenção preventiva deve ter caráter obrigatório.

Por fim, a NBR 5462 (1994) afirma que a manutenção preventiva se destina a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. Ao analisar os conceitos de manutenção preventiva adotados e o conceito de confiabilidade como a probabilidade de um equipamento funcionar de forma adequada durante um determinado período de tempo, pode-se perceber a grandeza da manutenção preventiva para uma manutenção centrada na confiabilidade, visto que a manutenção preventiva proporcionará menor ocorrência de falhas, conseqüente aumento de disponibilidade e também prevenção de paradas inesperadas.

2.2.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva pode ser encontrada na literatura com diferentes nomes, ela também é conhecida como manutenção sensitiva, manutenção controlada, manutenção sobre condição, manutenção com base no estado do equipamento e para alguns autores, até como parte da manutenção preventiva.

A manutenção preditiva, segundo a NBR 5462 (1994), permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-

se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Kardec e Nascif (2010) afirmam que a manutenção preditiva pode ser definida como a atuação com base na modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. E afirmam ainda que através das técnicas preditivas é feito o monitoramento da condição e a ação de correção, quando necessária, é realizada através de uma manutenção corretiva planejada.

Na manutenção preventiva, as peças e componentes dos equipamentos são trocadas ou reformadas antes de atingirem seus limites de vida. A manutenção preditiva permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estão próximos do seu limite de vida (XENOS, 1998).

Contudo, não se pode afirmar que o custo da manutenção preditiva é menor do que o da preventiva, a desvantagem desse método de manutenção é a necessidade de um acompanhamento de inspeções periódicas, por meio de instrumentos específicos, acarretando um aumento dos custos e indispensabilidade de especialização técnica da equipe de manutenção (FILHO, 2009; RAPOSO, 2004). Devido a essas circunstâncias, Marçal (2000) define como critério de seleção para aplicação de técnicas preditivas, a relevância do sistema ou equipamento no processo produtivo, através de parâmetros como criticidade, tempo de operação, componentes sobressalentes, possibilidade de monitoramento, custos e etc.

Para se ter ideia da importância que pode ter a manutenção preditiva para equipamentos, Papic *et al*(2009) observam que grande parte dos componentes ou sistemas apresentam uma espécie de sintoma antes da ocorrência de uma falha e que a leitura desses sintomas podem determinar o estado de operação da máquina ou mesmo a necessidade de manutenção do mesmo.

Viana (2002) enxerga a manutenção preditiva como parte da manutenção preventiva, para ele, a manutenção preditiva são tarefas que visam acompanhar a máquinas ou as peças por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha. Responsável pelo monitoramento da condição dos componentes e equipamentos.

Ainda segundo Viana (2002), o objetivo desse tipo de manutenção é determinar o tempo correto da necessidade de intervenção mantenedora, e para isso, existem quatro técnicas preditivas fortemente usadas na indústria brasileira. Para se ter uma melhor visão dessas técnicas, segue a tabela 1, onde são apresentadas algumas técnicas de manutenção preditiva:

Tabela 1 Técnicas de manutenção preditiva

Método	Tipo	Objetivo	Técnica	Vantagens	Desvantagens
Ensaio por ultrassom	Método não destrutivo	Detectar defeitos e descontinuidades internas em materiais ferrosos e não ferrosos	Passagem de onda ultrassônica pela peça que detecta falhas ou descontinuidades	Alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades internas; dispensa processos intermediários; não requer planos ou acessórios especiais.	Necessidade de conhecimento teórico e experiência; registro de difícil obtenção; dificuldade de aplicação em faixas muito finas; requer prévio preparo de superfície.
Análise de vibração mecânica	Método não destrutivo	Verificação de vibração do sistema para análise de possível desgaste e fadiga	Instalação de acelerômetros em pontos determinados do equipamento que captarão a uma série de dados para posterior análise	Realização de medidas sem contato físico com a instalação; verificação de equipamentos em pleno funcionamento.	O custo inicial para um sistema de monitoramento pode ser alto.
Termografia	Método não destrutivo	Sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio de radiação infravermelha	Detecção de partes aquecidas através da formação de imagens térmica de um componente, equipamento ou processo, a partir da radiação infravermelha.	Realização de medidas sem contato físico com a instalação; verificação de equipamentos em pleno funcionamento; inspeção de grandes superfícies em pouco tempo.	O custo inicial para um sistema de monitoramento pode ser alto.
Análise de óleo lubrificante	Método não destrutivo	Determinar o momento exato da troca do lubrificante e identificar sintomas de desgaste dos componentes	Coleta de óleo com posterior monitoramento quantitativo de partículas sólidas presentes no fluido, além de análise química e física.	Permite verificar o nível de desgaste de componentes e "prever" substituições que precedam as falhas; garante o bom funcionamento do componente.	Necessidade de aparato laboratorial eficiente.

Fonte: Trindade, 2015.

De acordo Tabela 1 pode-se observar as características dessas quatro principais técnicas preditivas no que se diz respeito ao tipo, objetivo, técnicas, vantagens e desvantagens de cada um dos métodos adotados.

Apesar de ser um método oneroso, a manutenção preditiva é uma ferramenta de grande valia para a gerência de manutenção, a mesma pode auxiliar na detecção de anormalidades em componentes/sistemas dos equipamentos, tornando possível atuar antes que a falha venha a acontecer, garantindo que o equipamento esteja disponível para a operação o maior tempo possível e com condições adequadas a natureza das atividades executadas.

Além de evitar gastos com falhas maiores, que podem gerar além de grandes tempos do equipamento parado corretivamente, a manutenção preditiva pode possibilitar substituição

de componentes em estado onde é possível a recuperação dos mesmos, que no caso de equipamentos HME, são de alto valor para a aquisição.

2.2.4 Manutenção Autônoma

Viana (2002) defende que a partir do momento em que há um planejamento e programação para realização de serviços por parte dos operadores, existe então uma atividade mantenedora presente e efetiva no organismo produtivo. Daí sua caracterização como tipo de manutenção, influenciando decisivamente na política de manutenção a ser encaminhada por uma empresa.

Takahashi & Osada (1993) apresentam a manutenção autônoma como uma forma de reduzir os custos com pessoal de manutenção e aumentar a vida útil do equipamento, concentrando-se, basicamente, em limpeza, lubrificação, reapertos e inspeção diária.

Hartmann (1992) coloca a redução de custos e de falhas e a melhora do equipamento como os principais benefícios da manutenção autônoma, enfatizando que a redução de custos é reflexo da eliminação de pequenas paradas e da redução do tempo de reparo, devido ao envolvimento constante do operador.

A manutenção autônoma se traduz como um processo de capacitação dos operador, com o propósito de torna-los aptos a promover em seu ambiente de trabalho mudanças que garantam altos níveis de produtividade, sendo assim a manutenção autônoma significa mudar o conceito de “eu fabrico, você conserta” para “do meu equipamento cuidado eu” (Yamaguchi, 2005).

2.3 PCM: Planejamento e Controle de Manutenção

Para Viana (2002, p.04) “O impacto do Planejamento e Controle de Manutenção para saúde de uma empresa é primordial, pois seria impossível um atleta competir com chances de vitória, se seu organismo estivesse debilitado”. Esse conceito é muito importante se entender que a manutenção não pode ser focada em só corrigir os problemas depois que eles acontecem, e demonstrar a importância de se buscar a excelência nos processos “quebra zero” e na busca pela perfeição através da ideia de melhoria constante.

2.3.1 Quebra Zero

Segundo Kardec e Nassif (2009) as maquinas foram projetadas para atingirem o patamar de zero defeitos, claro lembrando que Zero Defeito não quer dizer que a mesma nunca falhará, mas sim que a mesma nunca falhará no período em que foi projetada para operar.

Segundo o mesmo, algumas medidas são necessárias para obtenção de tal objetivo, são elas:

- Estruturação das condições básicas para operação;
- Obediência das Condições de Uso;
- Regeneração das Condições de Uso;
- Sanar Pontos Falhos Decorrentes de Projeto;
- Incrementar Capacidade Técnica.

Sendo possível assim sanar o principal fator que prejudica o rendimento operacional.

2.4 Planos de manutenção

Segundo Xenos (1998), o principal objetivo da manutenção é evitar a ocorrência de falhas e isto está expresso em sua missão, e uma das formas mais eficazes de se realizar tal função é a partir da prevenção. Se faz então a necessidade da elaboração de planos de manutenção. Os planos devem ser regidos pelas recomendações do fabricante alinhados com a própria experiência acumulada pela empresa na operação de equipamentos similares. Este conhecimento deve ser consolidado nos padrões de manutenção, que são a origem das informações do plano.

Conforme apresentado por Xenos (1998) na figura 1, os planos de manutenção bem dimensionados e adequados as necessidades dos equipamentos e a realidade da gerência de manutenção, possibilitam o planejamento correto da utilização de mão de obra, evitando folgas e sobrecargas; minimizam a necessidade de estoque de peças reservas sem prejuízo da disponibilidade dos equipamentos; além de possibilitar o orçamento da manutenção compatível com as necessidades dos equipamentos.

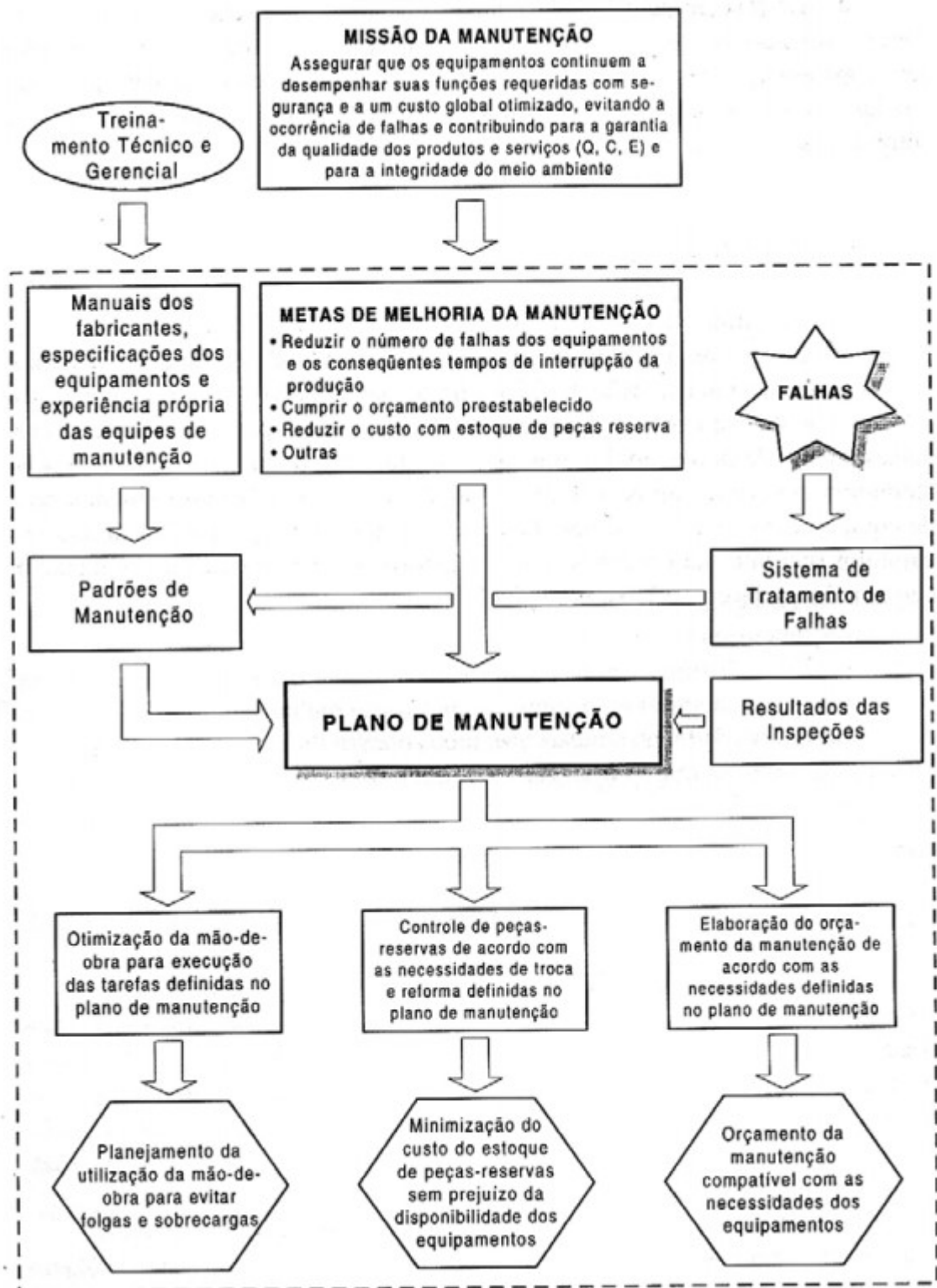


Figura 1 Dimensionamento dos Recursos da Manutenção com Base no Plano de Manutenção

Fonte: Xenos, 1998.

Para Viana (2002) disposição dos planos de manutenção no tempo e a qualidade das instruções descritas nos mesmos, determinam o tratamento dado pelo organismo mantenedor para com sua ação preventiva.

Vale ressaltar que plano de manutenção bom é aquele que se encontra sempre em revisão, pois os mantenedores podem e devem propor alterações nas pautas, à medida que as executam melhorando-as constantemente, de forma a termos o melhor conteúdo possível (Viana, 2002).

2.5 Indicadores de manutenção

2.5.1 MTBF

Para Viana (2002) o tempo médio entre falhas é definido como a divisão de soma das horas disponíveis do equipamento para a operação (HD), pelo número de intervenções corretivas neste equipamento no período (NC).

$$MTBF = \frac{HD}{NC} \quad (1)$$

2.5.2 MTTR

O tempo médio de reparo é dado como sendo a divisão entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção (HC) pelo número de intervenções corretivas no período (NC) (Viana, 2002).

$$MTTR = \frac{HC}{NC} \quad (2)$$

2.5.3 Disponibilidade Física

Segundo Kardec e Nassif através da NBR 5462-1994, disponibilidade é a “Capacidade de um item estar em condições de executar uma determinada função em um dado instante ou determinado período de tempo determinado, considerando os aspectos de confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos sejam assegurados”.

Para Viana (2002) a DF é um dos índices mais importantes, já que este é o principal produto da manutenção. Além disso a Disponibilidade pode ser utilizada para identificar os equipamentos que apresentam maior impacto nos resultados da frota de equipamentos como um todo.

A disponibilidade física pode ser calculada relacionando-se as horas trabalhadas (HD) com o tempo total de operação (TT).

$$DF = \frac{HD}{TT} \times 100\% \quad (3)$$

Kardec e Nascif (2010) afirmam que a disponibilidade pode ser calculada através do MTBF e MTTR através da equação 4.

$$DF = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4)$$

Para Kardec e Nascif (2010) para aumentar a disponibilidade de uma planta, sistema ou equipamento deve-se aumentar o MTBF e reduzir o MTTR simultaneamente.

2.5.4 Utilização

Segundo Xenos (1998), a taxa de utilização é definida como a relação entre o tempo real de operação (TR) e o tempo total de operação (TT).

$$UT = \frac{TR}{TT} \times 100\% \quad (5)$$

2.5.5 Confiabilidade

Segundo (NBR 5462-1994), o conceito de Confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo.

2.5.6 Manutenibilidade

O conceito de Manutenibilidade segundo Kardec e Nassif (2009), é como sendo a característica de um equipamento ou instalação permitir ou não um menor grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção.

2.6 Heavy Mobile Equipments (HME)

Para Duffy *et al.* (2019), o termo equipamento pesado é um termo geral que se refere a uma categoria espetacularmente diversificada de veículos, operados fora de estradas e rodovias, com projetos construídos especificamente para executar uma grande variedade de tarefas industriais. Essa categoria de máquinas também é conhecida por vários outros termos, como: máquina pesada, hidráulica pesada, hidráulica móvel, equipamento de construção ou equipamento de engenharia, e alguns autores também incluem equipamentos ferroviários e marítimos nesta categoria.

Uma definição mais completa é apresentada pelo CFR (Code of Federal Regulations), desenvolvido nos Estados Unidos. Define equipamentos off-road como um veículo com componentes conectados projetado para funcionar em um ambiente off-road ou projetado para operar em baixas velocidades, tornando-os inadequados para operação normal em rodovias. A figura 2 apresenta um modelo de equipamento constituinte da frota de transporte utilizado na unidade de estudo.



Figura 2 Caminhão Volvo modelo A30G

Fonte: Volvo Brochure Articulated Hauler A25G A30G, 2019.

3 METODOLOGIA

Este capítulo objetiva apresentar as características dos procedimentos utilizados para a pesquisa, e mostrar os materiais e as metodologias adotados para coleta e tabulação de dados além das considerações finais.

3.1 Tipos de pesquisa

Segundo Gil (2002), pesquisa é um procedimento com objetivo de encontrar respostas para problemas que são propostos, sendo desenvolvida através da utilização de métodos, técnicas e procedimentos científicos. Gil (2012) classifica as pesquisas em descritivas, explicativas e exploratórias, sendo descritivas as pesquisas voltadas ao estudo de características de um grupo, através de coleta de dados padronizada, questionário e observação sistemática. As explicativas, tem como foco identificar fatores que determinam a ocorrência de fenômenos. Já as pesquisas exploratórias de acordo com Gil (2002) têm como objetivo o estabelecimento de relações entre variáveis, visando tornar os problemas explícitos de forma a possibilitar a construção de hipóteses para resolução de tais problemas. Este tipo de pesquisa envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas com conhecimento prático do problema e análise de exemplos, sendo que a forma final do trabalho se torna usualmente a forma de pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

Silva e Menezes (2005) definem a divisão de pesquisa como sendo um conjunto de ações propostas para encontrar a solução de um problema. Silva e Menezes (2005) também citam diversas divisões entre os tipos de pesquisa, sendo duas delas a pesquisa qualitativa e quantitativa. A pesquisa quantitativa é aquela que utiliza os dados quantificáveis, o que significa qualificar números e opiniões através de classificações e análises. Já a pesquisa qualitativa trata de uma relação entre o real e o sujeito, onde o ambiente natural é a fonte dos dados para a pesquisa, sendo assim uma pesquisa descritiva.

Desta forma tem-se com base nesta metodologia que este estudo se trata de uma pesquisa quantitativa, pois utiliza de dados numéricos, cálculos e processos de análise estatística. Quanto ao objetivo, em uma pesquisa exploratória, já que a partir do histórico de variáveis do processo de manutenção e operação de mina com objetivo de identificação de um indicador futuro para inserção no plano produtivo de uma empresa de mineração e beneficiamento de ouro. O presente trabalho ainda abrange uma pesquisa de caráter

bibliográfico, visto que é fundamentada em uma variedade de livros, teses, dissertações, artigos e internet, com o objetivo de enriquecer teoricamente o estudo.

3.2 Materiais e métodos

Os materiais e métodos utilizados estão dispostos nos passos destacados na figura 3.

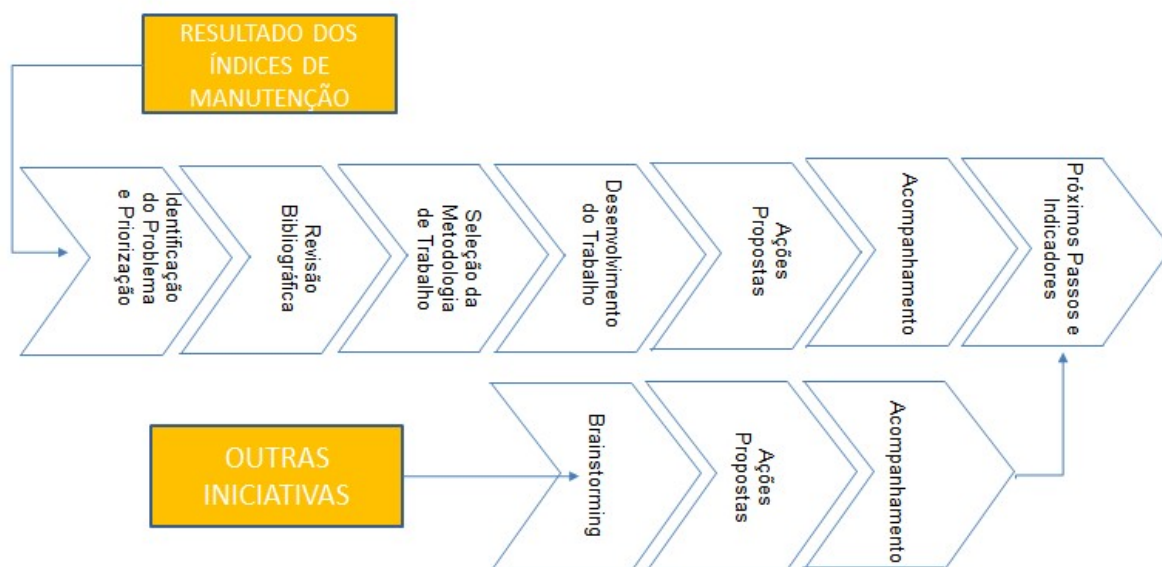


Figura 3 Materiais e Métodos

Fonte: Silveira, 2015.

Como a figura 3 descreve, o estudo tem origem baseada em resultados de indicadores propostos pela empresa, sendo apontada como base a necessidade de horas disponíveis das frotas de equipamentos para atendimento do plano produtivo anual.

Para desenvolvimento do estudo foi feita uma revisão bibliográfica com objetivo de direcionar os procedimentos para solução do desafio. Em seguida foi adotada uma metodologia para o estudo, sendo esta primeiramente a identificação das necessidades de disponibilidade de equipamentos e levantamento de dados históricos dos KPI's dos equipamentos e dos planos preventivos que estão ativos na BU.

As informações sobre os KPI's dos equipamentos utilizadas no estudo foram retiradas do banco de dados da empresa e para informações sobre os planos preventivos foi utilizado o *software SAP*.

Após análise dos dados disponibilizados e problemas que poderão impactar na previsão para os próximos meses (ex: projeção de substituição de equipamento, componente, reforma externa e etc.), será formulado uma metodologia de cálculo para encontrar e propor

a DF para as frotas e verificação se os valores encontrados atendem o plano produtivo da mina, se o mesmo não ocorrer, será necessário o desenvolvimento de uma nova proposta que deverá ser baseada em projetos/ações de melhoria nas frotas, com o intuito de elevar os indicadores para o período de estudo.

3.3 Variáveis e Indicadores

Indicadores são segundo Vianna (2006) índices para acompanhamento da evolução do sistema. Na manutenção estes índices são vistos como meios que possibilitam propor desafios e metas através da análise dos indicadores de manutenção.

Segundo Gil (1999), variável é uma medida ou classificação, uma quantidade que varia, um conceito operacional que apresenta ou contém valores, propriedade, aspecto ou fator, identificado em um objeto de estudo e passível de verificação. As variáveis podem ser classificadas em qualitativa ou quantitativa. As variáveis qualitativas podem ser nominais, onde não existe ordenação nas possíveis respostas, ou então ordinais, que existe determinada ordem nas possíveis respostas. Já as variáveis quantitativas são divididas em discretas ou contínua, sendo a primeira onde os possíveis valores formam um conjunto finito ou enumerável de números, e a segunda onde estes estão dentro de um intervalo, aberto ou fechado, dos números reais.

O conceito variável provém da Matemática que naturalmente é de essência quantitativa, fazendo com que as variáveis usualmente sejam classificadas como contínuas e discretas (GIL, 1999). Este trabalho possuiu a grande maioria das variáveis classificadas como quantitativas, e os indicadores utilizados para defini-las podem ser vistos na Tabela 1.

A demanda que originou a necessidade deste trabalho é a demanda por uma estimativa de quantas horas disponíveis para as frotas dos equipamentos HME seria possível entregar para o ano seguinte, portanto a HT é a principal e única variável que iremos tratar. Quanto aos indicadores, para este estudo foram basicamente os KPI's históricos (MTBF, MTTR, HV, UT e DF) como referenciado na Tabela 2.

Tabela 2 Indicadores e Variáveis

Variáveis	Indicadores
Disponibilidade Física	Taxa de Utilização
	MTBF
	MTTR
	Utilização
	Tempo estimado de preventivas

Fonte: Pesquisa direta, 2020.

3.4 Coleta de dados

Para o desenvolvimento da atividade, que consistia em definir um valor de HT para os próximos doze meses, definiu-se como satisfatório a utilização dos dados dos últimos doze meses, com análise de possíveis *outputs* como reformas externas, substituição de componentes e/ou longos períodos de parada devido a eventos corretivos e/ou falta de materiais. Foram utilizados dados do histórico dos equipamentos, disponibilizados pela empresa em formato compatível com software Excel.

O banco de dados é formado basicamente pelas informações fornecidas pelo sistema de gestão de paradas da empresa, informações concretizadas pelos supervisores na área e descrições das atividades realizadas em campo, descritas nas ordens de trabalho.

Os dados utilizados são baseados em registro de todas as atividades realizadas, formando assim histórico de falhas dos equipamentos e de manutenções corretivas, preventivas e falhas operacionais. Possibilitando análise de recorrência de falhas na área. Os instrumentos para tal coleta de dados são a observação dos acontecimentos em campo, registros de catálogos, manuais e procedimentos de manutenção, sistema interno de gerenciamento de paradas e análise de falhas em campo.

Já as informações sobre os planos preventivos e sobre horímetros dos equipamentos serão extraídas com o auxílio do *software SAP*.

3.5 Tabulações de Dados

A importação dos dados será dada pelo *software SAP* módulo PM e as informações presentes no banco de dados da empresa. O *software* utilizado para tabulação dos dados importados será o Microsoft Excel exclusivamente, o mesmo atenderá as necessidades do

trabalho, visto que, a base da empresa já se encontra em planilhas realizadas no mesmo e os dados exportados do *software* SAP apresentam compatibilidade para o formato .XLSX.

3.6 Considerações finais

Este capítulo apresenta as ferramentas utilizadas durante este estudo como forma de análise dos dados propostos pelo mesmo. O próximo capítulo irá tratar do estudo de caso sendo feita uma apresentação geral das frotas analisadas para o trabalho, análises e ponderações realizadas nos dados obtidos, aplicação praticada da metodologia escolhida e os resultados obtidos com o estudo.

4 RESULTADOS

4.1 Características do setor

A empresa cujas características foram consideradas é de grande porte, e tem como área de atuação principal a extração e beneficiamento de ouro, também está presente no setor de geração de energia (utilizada em suas operações); gestão imobiliária e a produção de ácido sulfúrico. A mesma possui 18 operações que se encontram espalhadas em 9 países. No Brasil é possível encontrar a mesma nos estados de Minas Gerais (3 operações) e Goiás (1 operação), além dos escritórios administrativos, planta de fundição e hidrelétrica, que também se encontram no estado de Minas Gerais.

A unidade onde foi realizado o estudo se encontra de cidade de Santa Bárbara – MG e apresenta um setor de manutenção bem desenvolvido, conforme ilustrado na figura 4. O setor da empresa analisado é a manutenção de equipamentos HME, utilizados em mina subterrânea.

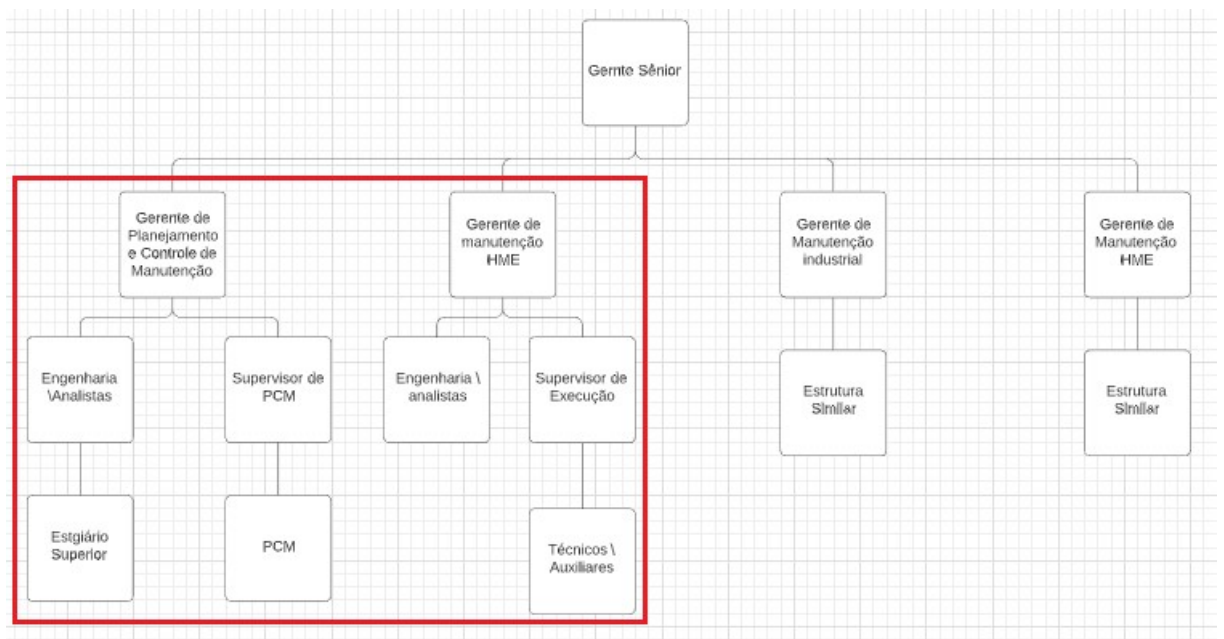


Figura 4 Organograma geral da Gerência de Manutenção

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Para o desenvolvimento das estratégias referentes a frota HME, a gerência de manutenção HME é apoiada pela gerência de planejamento de manutenção, o mesmo se faz necessário pois os dados obtidos em campo são computados e geridos pela equipe de PCM, onde são elaborados os indicadores de manutenção (KPI's).

O alinhamento entre as duas gerências é vital para que o modelo proposto de previsibilidade de disponibilidade física das frotas seja coerente com a realidade dos equipamentos, já que, o modelo se baseia nos indicadores históricos para estimar a resposta futura dos equipamentos.

Para se iniciar a aplicação do modelo, necessitamos que a base de dados e a estratégia de manutenção da unidade estejam condizentes, por isso as responsabilidades de cada gerência são as seguintes:

Gerência de PCM:

- Data enter dos reports enviados pelos colaboradores de campo, registrados por meio de ordens de trabalho (corretivas e preventivas);
- Gestão e divulgação de KPI's;
- Gestão de Planos preventivos e adequação conforme necessidade (necessário alinhamento entre engenharia de PCM e execução).

Gerência de Manutenção HME

- Elaborar planos de manutenção condizentes com recomendações do fabricante e histórico de necessidades específicas da operação da unidade;
- Desenvolver projetos para garantir a confiabilidade dos equipamentos e adequar os planos com soluções que garantam a melhoria dos indicadores dos equipamentos;
- Garantir que as informações que são apresentadas nas ordens corretivas e preventivas seja a mais completa e concordante com a realidade a atividade realizada.

Esse trabalho visa obter uma forma de estimar a disponibilidade física para o período de 2020 dos equipamentos críticos para o plano de produção, tal classificação foi desenhada anteriormente a esse trabalho, não havendo menção sobre critérios utilizados para tal definição, o que não gera prejuízo para o resultado do mesmo. Portanto utilizaremos as frotas de Perfuração, Carregamento, Transporte e Sondagem, totalizando 33 equipamentos, cuja manutenção é de responsabilidade do setor analisado.

A manutenção desses equipamentos é realizada por diferentes métodos, são eles: manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção corretiva. Logo, a manutenção preventiva, por meio do plano de manutenção do equipamento, gera ordens de serviço de

manutenção a cada ciclo determinado. Já a manutenção preditiva faz uso da inspeção e métodos que podem prever a falha e identifica a necessidade de manutenção antes que a falha ocorra, com análise de óleo e acompanhamento de desempenho e vida útil de componentes, gerando ordens de serviço, enquanto que na manutenção corretiva, a ordem é gerada quando a falha do equipamento já ocorreu, tendo o intuito de solicitar urgentemente peças/serviços que visem a recuperar a operabilidade dos ativos, ou após a manutenção ocorrida, informar quais foram as medidas utilizadas para sanar a falha e quais recursos foram utilizados (materiais, mão de obra, serviços externos). A figura 5 exemplifica a estratégia de manutenção adotada pela gerência da unidade.

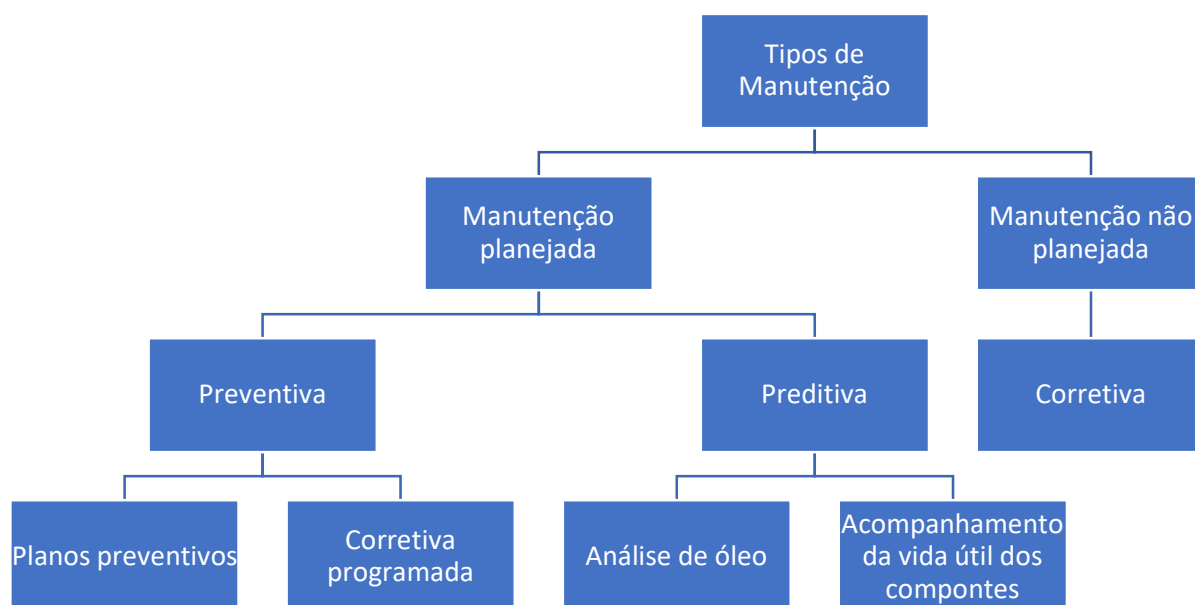


Figura 5 Tipos de manutenção

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

4.2 Estratégia de estudo

A previsão será gerada individualmente a partir de dados históricos praticados por cada equipamentos, após esse momento, os dados serão compilados em uma proposta de entrega média esperada para a frota. Tal modelo se faz possível baseando-se que historicamente os equipamentos de uma mesma frota tem características semelhantes, portanto a disponibilidade de um ou outro equipamento não gera perdas significativas ao processo.

O levantamento dos dados de parada dos equipamentos será baseado no histórico encontrado na base de dados da empresa e nas informações presentes no SAP, para identificação

entre ocorrências corretivas e preventivas no sistema, foi considerado a classificação utilizada pela empresa para a gestão de ocorrências no sistema, apresentada na tabela 3:

Tabela 3 Classificação SAP PM

Tipo de intervenção	Tipo de Ordem gerada
Planos Preventivo	1E01
Inspeção	1E02
Backlog	1E03
Corretiva	1E04

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

O compilado das informações referentes a eventos corretivos e preventivos históricos já é realizado pela empresa e foi disponibilizado no drive da mesma. Nesse compilado é possível obter dados como: DF; UT; MTBF; MTTR; HT; HV; HC; NC, entre outros relacionados a custo de operação e manutenção.

Tabela 4 DF mensal para os equipamentos da frota de Carregamento

▲ Disponibilidade

TAG	2019	2018											
	Acumulado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Meta BUP	66,0%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%	64,4%
Target	67,5%	72,8%	72,8%	72,8%	64,4%	64,4%	64,4%	65,0%	65,0%	65,0%	65,0%	65,0%	65,0%
Meta CRD Desafio	66,1%	71,1%	70,8%	70,7%	62,8%	63,9%	64,8%	64,2%	67,1%	64,2%	65,6%	65,1%	65,2%
Real	65,5%	69,5%	72,6%	76,1%	67,0%	64,3%	69,6%	67,3%	74,3%	67,4%	59,0%	59,5%	62,5%
CG002	56,1%	62,1%	65,1%	74,2%	40,3%	73,6%	70,4%	73,6%	80,0%	75,0%	49,9%	61,0%	56,6%
CG003	69,3%	-	-	-	-	-	65,2%	48,2%	58,2%	49,3%	51,0%	46,2%	50,8%
CG017	61,9%	63,6%	76,3%	80,1%	77,5%	70,3%	70,8%	79,1%	78,7%	59,9%	40,6%	72,6%	82,8%
CG063	66,7%	69,1%	73,6%	86,7%	80,4%	79,7%	80,6%	78,9%	74,0%	61,4%	71,8%	56,3%	58,1%
CG070	64,3%	75,7%	70,4%	78,3%	76,3%	54,3%	63,2%	56,5%	76,2%	68,4%	54,5%	63,5%	67,8%
CG098	75,0%								77,3%	78,5%	85,9%	57,2%	59,0%

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

A tabela 4 apresenta um exemplo do que se foi possível extrair do banco de dados utilizado, onde se é possível acompanhar a DF mensal histórica dos equipamentos, nesse caso para a frota de carregamento, no período de 2018 e o acumulado de 2019.

Já a tabela 5 apresenta os horímetros de um dos equipamentos da frota de carregamentos, esse dado é de suma importância para se alcançar o objetivo desse trabalho, visto que é a partir dos mesmos que se torna possível a projeção de quanto tempo o equipamento levará

para atingir as horas necessárias para a execução dos pacotes presentes nos planos preventivos, dado que foi utilizado para a estimativa de quantos pacotes preventivos seriam realizados por cada equipamento no período de estudo. Esse dado foi exportado do SAP, onde os mesmos são lançados três vezes por semana, através das informações obtidas nas partes de área que são preenchidas todos os turnos pelo o operador antes de iniciar a operação com o equipamento.

Tabela 5 Exemplo do Lançamento de Horímetros

Loc.Instalação	Doc.medição	Ponto medição	Data	ValMed/PosTCont	Posição cont.	Diferença	Criado por
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109318798	1002701	02/05/2019	26.392,33	24.026,00	6,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109318539	1002701	01/05/2019	26.386,33	24.020,00	5,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109318066	1002701	30/04/2019	26.381,33	24.015,00	8,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109295639	1002701	25/04/2019	26.373,33	24.007,00	6,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109285029	1002701	22/04/2019	26.367,33	24.001,00	12,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109284791	1002701	21/04/2019	26.355,33	23.989,00	9,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109284360	1002701	20/04/2019	26.346,33	23.980,00	4,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109284101	1002701	19/04/2019	26.342,33	23.976,00	5,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109283900	1002701	18/04/2019	26.337,33	23.971,00	5,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109269443	1002701	17/04/2019	26.332,33	23.966,00	7,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109266823	1002701	16/04/2019	26.325,33	23.959,00	13,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109262489	1002701	15/04/2019	26.312,33	23.946,00	15,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109252864	1002701	14/04/2019	26.297,33	23.931,00	10,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109252633	1002701	13/04/2019	26.287,33	23.921,00	11,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109252453	1002701	12/04/2019	26.276,33	23.910,00	6,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109239309	1002701	08/04/2019	26.270,33	23.904,00	12,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109228469	1002701	07/04/2019	26.258,33	23.892,00	10,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109228216	1002701	06/04/2019	26.248,33	23.882,00	11,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109227880	1002701	05/04/2019	26.237,33	23.871,00	3,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109224063	1002701	04/04/2019	26.234,33	23.868,00	24,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109215438	1002701	02/04/2019	26.210,33	23.844,00	5,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109210830	1002701	31/03/2019	26.205,33	23.839,00	5,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109209996	1002701	28/03/2019	26.200,33	23.834,00	5,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109192543	1002701	27/03/2019	26.195,33	23.829,00	19,00	30035231
BR04-MOE-LOA-R1600-CG017	109192273	1002701	26/03/2019	26.176,33	23.810,00	10,00	30035231

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Os planos preventivos na empresa estudada são criados a partir de demandas geradas pelo setor de execução e o corpo de engenharia da área de manutenção de equipamentos HME, as atualizações ou modificações desses planos podem ser solicitadas a qualquer momento tanto pela execução, quanto PCM ou engenharia, porém foi definido que apenas o engenheiro de planejamento e controle de manutenção que será responsável por realizar as alterações propostas após definição de que a mesma seja aplicável as frotas afetadas pela mudança. As estratégias aplicadas em cada frota, os tempos de preventiva, os pacotes ativos foram extraídos do SAP e considerados para as projeções futuras, o que pode gerar uma variação futura caso alterações sejam realizadas, necessitando então uma avaliação de impacto e caso necessário reavaliação da proposta de DF obtida. A tabela 6 apresenta um exemplo de estratégias aplicadas nos equipamentos da frota de desenvolvimento da unidade.

Tabela 6 Pacotes preventivos e HH necessário

Txt.breve operação	Qtd de pessoas	Trabalho	Duração (HH)
MP 25HS JUMBO DESENVOLVIMENTO	1	3,0	3,0
MP 50HS JUMBO DESENVOLVIMENTO	2	6,0	12,0
MP 250HS JUMBO DESENVOLVIMENTO	2	20,0	40,0
MP 250HS PERF. INSPEÇÃO DE ENTRADA JUMBO	1	4,0	4,0
MP 250HS PERF. INSPEÇÃO DE SAÍDA JUMBO	1	4,0	4,0
MP 250HS PERF. SCI JUMBO	2	3,0	6,0
MP 250HS PERF. LAVAGEM JUMBO	1	6,0	6,0
MP 250HS PERF. LUBRIFICAÇÃO JUMBO	1	6,0	6,0
MP 250HS PERF. MECÂNICA JUMBO	2	20,0	40,0
MP 250HS PERF. ELÉTRICA JUMBO	1	12,0	12,0
MP 250HS PERF. COMPRESSOR JUMBO	1	2,0	2,0
MP 250HS PERF. AR CONDICIONADO JUMBO	1	6,0	6,0
MP 250HS PERF. SUBST. MANG. JUMBO	2	8,0	16,0
MP 250HS CARRETA MECÂNICA JUMBO	1	12,0	12,0
MP 250HS CARRETA ELÉTRICA JUMBO	1	6,0	6,0
MP 250HS CARRETA BORRACHARIA JUMBO	1	2,0	2,0

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

É possível se observar as atividades planejadas para cada pacote quando alcançado determinado horímetro e a quantidade de HH que se faz necessário para a realização das mesmas. A partir desses dados foram realizadas algumas ponderações para se definir atividades que podem ser realizadas ao mesmo tempo e atividades que demandam que o equipamento fique exclusivamente para a mesma, a fim de que, fosse possível obter uma aproximação do tempo médio de preventiva real. Tal aproximação se faz necessária devido a dinâmica da natureza do negócio, o que interfere a todo momento na rotina de programação da oficina que realiza as manutenções, como por exemplo: Desvio de mão-de-obra para corretiva; Equipamentos disponibilizados antecipadamente ou posteriormente ao previsto na programação semanal; Falta de materiais ou ferramental no momento de início ou necessidade da operação, fica impossível admitir o tempo exato de parada.

Visto que a estratégia da empresa é a execução da carteira de backlogs junto a determinados pacotes de manutenção (Ex: Para a frota de desenvolvimento são utilizados pacotes maiores que duzentos e cinquenta horas para a introdução de alguns itens da carteira do equipamento), foi estimado a partir dos dados históricos os tempos em que os equipamentos de cada frota fica parado quando são solicitadas intervenções preventivas. O compilado é apresentado na Tabela 7, onde junto aos dados de atividade anual (extraído a partir dos horímetros extraídos anteriormente), foi estimado a quantidade de pacotes preventivos e se obteve a estimativa de HV do período de estudo.

Tabela 7 Estimativa de Preventivas para o Período

JE031			
Período	365	Dias	
Utilização	5,1606	Horas/dia	4,23
CICLO	Tipo	Nº de PV	Tempo de PV (horas)
25	Subsolo	38	9,5
50	Subsolo	30	7,5
250	Oficina	4	12
500	Oficina	2	7
1000	Oficina (Múlt. 1000)	1	4
		Total	960

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Essa metodologia foi replicada para todos os equipamentos das frotas de interesse desse estudo.

4.3 Compilação de dados

Com os dados históricos e as estimativas de indisponibilidade por demandas preventivas individuais de cada equipamentos (manutenção preventiva, backlogs e previsão de substituição de componentes), iniciou-se a compilação com dados do plano de produção, de onde veio a utilização prevista para o período. Essa utilização se faz necessária pois ela é baseada na mão-de-obra que a operação mina dimensionou para o período estudado, logo pode ser diferente da apresentada no período em que havia sido apresentada na base de dados da empresa.

Como o objeto de estudo são as horas disponíveis de cada frota, optou-se por desenhar uma fórmula que possibilitasse a avaliação do impacto das solicitações preventivas acrescido dos impactos causados pelas perdas de processo (demandas corretivas e ineficiências do processo e da operação).

4.3.1 Impacto preventivo

Para o impacto causado por demandas preventivas foi utilizado a demanda preventiva que havia sido encontrada anteriormente e chamada de HV, e a relacionou com o tempo total de operação do período em que se desejava estimar a DF.

Considerando que a empresa trabalha em regime de 24h, com turnos se alternando, e que o período desejado é um ano, obtivemos a seguinte equação:

$$\%IPV = \frac{HV}{TP} \quad (6)$$

4.3.2 Impacto por perdas de processo

Para encontrar o impacto de perdas de processo foram utilizados os indicadores de MTBF, MTTR e UT, afim de que fosse possível unir as parcelas de eventos corretivos e ineficiências do processo como um todo, visto que pela base de dados, não era possível expurgar nas paradas quanto tempo o equipamento ficava em manutenção corretiva realmente, quanto tempo o mesmo ficou aguardando operador, e outras falhas de lançamento, com a base de dados disponível somente era possível obter o horário que o mesmo falhou corretivamente e a hora que o mesmo voltou a operar, visto isso, se definiu a seguinte equação:

$$\%IPP = 1 - \frac{\frac{MTBF}{UT}}{\frac{MTBF}{UT} + MTTR} \quad (7)$$

4.3.3 Simulação de DF

Como mencionado anteriormente, optou-se por calcular a DF para cada equipamento, visto que seria mais assertivo considerar os dados apresentados individualmente, porém o valor que interessa a operação de mina não necessitava de diferenciar a disponibilidade individualmente, e sim a disponibilidade da frota o que nos levou a optar pela média das DF's obtidas para cada equipamento em sua respectiva frota. O cálculo da DF foi possível pela equação a seguir:

$$DF = 1 - \%IPV - \%IPP \quad (8)$$

A tabela 8 apresenta o layout que foi escolhido para o simulador, onde a parte a esquerda apresenta os dados históricos, e a parte a direita apresenta o calculo realizado para se obter a disponibilidade física de cada equipamento.

A "UT BUP" é um dado que foi enviado pela gerência de planejamento de mina e é baseado na estratégia de mão de obra que pretendem possuir para utilização de cada frota, por

isso a opção foi considerada a mesma, ao invés da utilização média realizada no período de extração da base.

Tabela 8 Modelo de simulação de DF

MODELO DE SIMULAÇÃO DE DISPONIBILIDADE FÍSICA DO ATIVO					
PERÍODO DE DIAS BASE (DIAS)	365	CG002	Período Sim. (dias) 365		
HORAS CALENDÁRIO	8760				
MÊS DE REFERÊNCIA	12	CONFERÊNCIA DO INDICADOR	Legenda: <input type="checkbox"/> Entrada de Dados <input type="checkbox"/> Calculada		
DF ACUMULADA NO PERÍODO	64,80%			MTBF	10,60
HORAS DISPONÍVEIS NO PERÍODO	5676			MTTR	7,50
NÚMERO DE FALHAS DO PERÍODO	62			TEMPO PV	278,4
TEMPO TOTAL DAS FALHAS	624,7			UTILIZAÇÃO BUP	56,4%
MTTR ACUMULADO ATUAL	7,5			FATOR HORAS	1,0280
MTBF ACUMULADO ATUAL (Calend)	91,6			DISPONIBILIDADE	68,86%
INDISPONIBILIDADE DE CORRETIVA	7,57%			% CORRETIVA	27,96%
UTILIZAÇÃO DO PERÍODO	56,40%			% PREVENTIVA	3,18%
MTBF DO PERÍODO REAL	10,60			SIMULAÇÃO DF	
HORAS TRABALHADAS CALCULADA	3.201,53	MTBF	10,60		
HORAS TRABALHADAS REAL	3114,4	MTTR	6,50		
FATOR HORAS	1,03	TEMPO PV (horas)	1.008,00		
TEMPO TOTAL DE PREVENTIVA	278,4	UTILIZAÇÃO BUP	66,0%		
INDISPONIBILIDADE DE PREVENTIVA	3,18%	FATOR HORAS	1,00		
		DISPONIBILIDADE	59,7%		
		% CORRETIVA	28,81%		
		% PREVENTIVA	11,51%		
		HORAS TRAB.	3.450,57		

Fonte: Pesquisa direta, 2019

Com esses inputs foi possível chegar aos resultados da tabela 9, valores de disponibilidade física por frota que se espera realizar para o período de estudo. Após este momento, foram apresentados para o gerente sênior de manutenção e todo o corpo de engenharia de planejamento e execução de manutenção para realização de avaliação e críticas sobre critérios e ponderações realizadas no processo de elaboração do estudo. Vale ressaltar que os indicadores baseiam-se na ideia de que a manutenção venha a continuar empenhando os mesmos esforços apresentados no histórico dos equipamentos, por isso se faz necessário que toda a gerência de manutenção tenha a chance de avaliar e criticar o trabalho, visto que, podem existir mapeados alguns acontecimentos que iram alterar os resultados futuros, como substituição de equipamentos, reformas programadas.

Após a compilação de todos os dados, a simulação foi apresentada para o corpo de engenharia e para o gerente sênior de manutenção, afim de que, fossem avaliados os resultados e discutidos ações e ponderações que seriam necessárias para a adequação do trabalho a realidade da gerencia. Os valores finais são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 9 Proposta de DF das frotas críticas

BUP2020				
Frota	Qtd. de equipamentos	DF	UT BUP	HP mensal (horas)
CW	11	76,83%	72,0%	4441,74
JE Desenv.	4	73,19%	45,0%	961,68
JE Sanea.	3	59,59%	45,0%	587,24
Fandrill	4	70,08%	48,0%	982,26
Fandrill*	5	63,82%	48,0%	1118,10
LHD	6	62,45%	66,0%	1805,30
Sondas	5	77,11%	42,5%	1196,10
PW	3	88,97%	11,0%	214,33

Fonte: Pesquisa direta, 2019

Como mencionado anteriormente, o valor de utilização, foi um input enviado pela gerência de planejamento de mina, e em posse desse valor e da disponibilidade física simulada, foi possível obter o valor médio de horas de produção que se espera ser alcançado no ano de 2020. O valor médio é apresentado pois o plano produtivo se desdobra em uma visão macro dos meses do ano, portanto com o valor médio será possível visualizar os meses onde a DF é superior a necessidade e onde será necessária uma estratégia mais adequada para atender a demanda produtiva.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusões

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a elaboração de uma proposta de disponibilidade física para ser utilizada no plano de produção do ano de 2020 de uma mineradora e beneficiadora de ouro. Para o desenvolvimento de tal proposta, foi realizada análise de KPI's apresentados pelos equipamentos que formam as frotas críticas para o processo produtivo, observando-se as necessidades da manutenção dos mesmos e as perdas produtivas que estão presentes na natureza do negócio, e a partir desses dados foi elaborado o modelo utilizado na previsão das entregas da área de manutenção de equipamentos HME.

Os valores previstos de disponibilidade física, em conjunto com os valores de utilização informados pela operação para cada frota, possibilitaram a elaboração da proposta de horas produtivas mensais disponíveis para a elaboração do plano produtivo anual, que foi apresentado para a gerência geral e, após a aprovação, foi repassado para a diretoria e para os acionistas da empresa.

Devido à natureza dinâmica do setor, onde se tem variações nas metas produtivas mensalmente, se faz necessário a revisão mensal dos valores históricos e para a projeção dos valores para os meses seguintes. Conforme as diretrizes da unidade, a projeção anual é destrinchada em um plano de médio prazo 1+3 meses, onde o primeiro mês posterior a projeção se tem um detalhamento maior das atividades a serem realizadas, e os três meses posteriores, se tem uma visão macro das atividades e expectativas produtivas.

A ideia de fazer um modelo no *software Excel* vem da possível demanda de se rodar vários planos de produção, com alteração de estratégias de manutenção, alteração de quantidade e modelo de equipamentos, o que seria facilitado, já que as projeções são feitas individualmente e compiladas para um valor comum entre os mesmos. Além de que possibilita utilizar a mesma esquemática desenvolvida para o plano anual, para o planejamento quadrimestral (1+3), fazendo os ajustes necessários para adequação da base histórica e outros inputs utilizados no simulador.

Acredita-se que a utilização das equações propostas para o cálculo da disponibilidade física dos equipamentos HME, se mostraram como uma importante ferramenta no auxílio do desenvolvimento de estratégias de médio e longo prazo para manutenção dos ativos da frota, além de que se mostraram capazes de a partir de dados históricos prever a

disponibilidade dos ativos para um tempo futuro determinado, neste caso, para o ano de 2020.

Observa-se que dado a importância do assunto vê-se necessário uma avaliação aprofundada para aplicação em outras unidades e outros setores, visto que, o mesmo utiliza de conceitos e estratégias de manutenção que podem mudar de acordo com a gerência e executantes.

5.2 Recomendações

A partir do estudo realizado tem-se para trabalhos futuros as seguintes recomendações:

- Impactos da capacitação profissional nos indicadores de manutenção;
- Avaliação do impacto de adequação dos planos preventivos sobre a quantidade de eventos corretivos;
- Avaliação de desempenho previsto para equipamentos pós-reforma / grande reparo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 5462: 1994. **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

DUFFY, Owen C. *et al.* **Fundamentals of Mobile Heavy Equipment**. Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2019. 1406 p.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Editora atlas, 2002. 175 p

HARTMANN, E.H. **Successfully installing TPM in a Non-Japanese plant**. Pittsburgh, EUA: TPM Press, 1992.

KARDEC, A.; NASCIF, N. – **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualymark Ed., 2010.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª edição. São Paulo: Editora atlas, 2003. 311 p.

MIRANDA JUNIOR, Ivan Silva. **Diretrizes fundamentais para um estudo de avaliação econômica de empreendimento de mineração: um estudo bibliográfico**. 2011. 275 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

PAPIC, Ljubisa; ARONOV, Joseph & PANTELIC, Milorad. Safety Based Maintenance Concept. **International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering**, New Jersey (USA), v. 16, n. 6, p. 533–549, dez. 2009.

TAKAHASHI, Y & OSADA, T. **Manutenção produtiva total**. 5 ed. São Paulo: Instituto IMAM, 1993.

VIANA, H. R. G. **PCM - Planejamento e controle de manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2002. 167 p.

XENOS, G. H. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora DG; 1998. 302 p.

YAMAGUCHI, Carlos Toshio. **TPM - manutenção produtiva total**. 2005. 37 f. Curso de Aperfeiçoamento Profissional em Engenharia de Manutenção, ICAP Del-rei, São João del Rei, 2005