UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

VICTOR DE ANDRADE SOUSA

APLICAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO EM UNIDADES GERADORAS DE USINAS TERMOELÉTRICAS, USANDO MOTORES ICO

JOÃO PESSOA – PB
2019

VICTOR DE ANDRADE SOUSA

APLICAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO EM UNIDADES GERADORAS DE USINAS TERMOELÉTRICAS, USANDO MOTORES ICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Carlos Antônio Cabral dos Santos.

JOÃO PESSOA – PB

2019

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S725a Sousa, Victor de Andrade.
Aplicação de Indicadores de Desempenho de Manutenção em Unidades Geradoras de Usina Termoelétricas, Usando Motores ICO. / Victor de Andrade Sousa. - João Pessoa, 2019.
75 f. : il.

Orientação: Carlos Antônio Cabral Santos.
TCC (Especialização) - UFPB/Tecnologia.

1. MTBF. 2. MTTR. 3. Termoelétrica. 4. Indicadores. I. Santos, Carlos Antônio Cabral. II. Título.

UFPB/BC

VICTOR DE ANDRADE SOUSA

APLICAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO EM UNIDADES GERADORAS DE USINAS TERMOELÉTRICAS, USANDO MOTORES ICO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, apresentado à banca examinadora do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, tendo obtido o conceito_____, conforme a apreciação da banca examinadora:

Aprovado em: 29 de Julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Carlos Antônio Cabral dos Santos

Departamento de Engenharia Mecânica / Centro de Tecnologia / UFPB

_____

Me. Márcio Andrade Rocha

Departamento de Engenharia Mecânica / Centro de Tecnologia / UFPB

_____

Eng. Jackson Ferreira Fonteles

Supervisor / EPASA – Centrais elétricas da Paraíba S.A

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à pessoa mais importante da minha vida, a minha mãe Iara. Uma mulher guerreira, que sempre me deu amor e carinho.

Aos meus irmãos: Fafito, Paloma, Misaly, Jamile e Clarisse, que está chegando ao mundo. E, em especial, aos meus irmãos Thulhyo e Pedro Ivo, que sempre me apoiaram, incentivaram e aconselharam em meus estudos e vida.

À Ana Gabriela, a mulher que quero viver para o resto da minha vida, que me ajudou neste trabalho, e que sempre acreditou em mim.

Aos meus amigos de infância, Anderson, Tomás, Yan, Gabriel e Arnesen; amigos que convivo até hoje. Agradeço pelos momentos de felicidade e descontração durante a minha vida.

Aos meus chefes da EPASA, Jackson Fonteles, Erasmo Narciso e Wilton Sousa, que foram verdadeiros professores de profissão, sempre pacientes e compreensivos.

Agradeço imensamente ao Professor Cabral, pela assistência e conhecimento passado para a realização deste trabalho e durante o curso.

RESUMO

Neste trabalho, é realizada uma abordagem conceitual a respeito da manutenção de equipamentos, bem como de sua gestão através da implantação de indicadores de desempenho em uma Usina Termoéletrica – UTE. A gestão de manutenção vem, a cada ano, se adequando a novos métodos, focando principalmente na diminuição de perda de produtividade e na redução de custos. Através do aperfeiçoamento dos processos, é possível antever-se a falhas e quebras dos equipamentos, reduzindo paradas produtivas e tempo de funcionamento deficitário, consequentemente melhorando a qualidade dos produtos. Para a análise deste trabalho, foram utilizados alguns dos dados monitorados pelo sistema de informações da empresa, são eles: tempo de produção, quantidade de falhas que causaram intervenções e tempo de reparo das máquinas. Os dados foram aplicados nos cálculos de MTBF (*Mean Time Between Failures* ou tempo médio entre falhas), MTTR (*Mean Time to Repair* ou tempo médio para reparo), Disponibilidade e Confiabilidade. Verificou-se que o acompanhamento dos indicadores de desempenho dos equipamentos possibilita melhores condições para a tomada de decisão, munindo gestores de informações vitais para o controle efetivo dos processos. Além disso, traz um *feedback* dos resultados obtidos com manutenção corretiva, preventiva e preditiva. É notável que se houver maior ênfase nas análises de falhas de máquinas, é possível obter um aumento de disponibilidade. Os resultados obtidos nesse estudo apontam quais equipamentos apresentaram maiores e menores índices de acordo com a meta prevista.

Palavras-chave: MTBF, MTTR, Confiabilidade, Disponibilidade, Indicadores.

ABSTRACT

This paper develops a conceptual approach regarding equipment maintenance, as well as its management through the implementation of performance indicators in a Thermoelectric Power Plant. The maintenance management has been, year after year, adapting to new methods, focusing mainly on decreasing productivity losses and reducing costs. Improving processes makes it possible to anticipate failures and breakdowns of equipment, reducing pauses in production and poor operating time, consequently improving product quality. For this analysis, some of the data monitored by the information system of the company were used, which are: production time, number of failures that caused interventions and machine repair time. The data were applied to calculate MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time to Repair), Availability and Reliability. It was verified that monitoring of equipment performance indicators allows better conditions for decision making, providing managers vital information for effective process control. In addition, it provides a feedback of the results obtained with corrective, preventive and predictive maintenance. It is notable that if greater emphasis is placed on analyzing machine failures, an increase in availability can be achieved. The results obtained in this study indicate which equipment presented higher and lower indices according to the predicted goal.

Key-words: MTBF; MTTR; Reliability; Availability; Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo diesel em 4 tempos 23
Figura 2 – Fluxograma da Metodologia do Trabalho..... 43
Figura 3 – Vista aérea da Centrais Elétricas Da Paraíba S.A. – EPASA 45
Figura 4 – Foto interna por dentro da casa de máquinas, parte superior dos motores ... 45
Figura 5 – Imagem inferior dos motores MAN. 46
Figura 6 – Motor 32/40 MAN 46
Figura 7 – Dataspy do Infor. 48
Figura 8 – Tela de filtro de AES..... 48
Figura 9 – Dados de AES convertidos para Excel. 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Dados sobre indicadores de desempenho. 33
Tabela 2 – Índice MTBF da TERMOPARAÍBA. 51
Tabela 3 – Índice MTBF da TERMONORDESTE. 52
Tabela 4 – Índice MTTR da TERMOPARAÍBA. 54
Tabela 5 – Índice MTTR da TERMONORDESTE. 55
Tabela 6 – Índice DISP da TERMOPARAÍBA. 57
Tabela 7 – Índice DISP da TERMONORDESTE. 58
Tabela 8- Índice de Confiabilidade em relação ao acumulado de Junho de 2019..... 60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – O Pior MTBF durante o ano de 2018 foi a UGD22 62
Gráfico 2 – O melhor MTBF durante o ano de 2018 foi a UGD39. 62
Gráfico 3 – O Pior MTTR durante o ano de 2018 foi a UGD07. 63
Gráfico 4 – O melhor MTTR durante o ano de 2018 foi a UGD35 64
Gráfico 5 – A pior Disponibilidade durante o ano de 2018 foi a UGD22..... 64
Gráfico 6 – A melhor Disponibilidade durante o ano de 2018 foi a UGD36..... 65
Gráfico 7 – O Pior MTBF durante o ano de 2019 até Junho é a UGD35..... 66
Gráfico 8 – O melhor MTBF durante o ano de 2019 até Junho é a UGD09..... 66
Gráfico 9 – O pior MTTR durante o ano de 2019 até Junho é a UGD27..... 67
Gráfico 10 – O melhor MTTR durante o ano de 2019 até atual é a UGD32. 67
Gráfico 11 – A pior disponibilidade durante o ano de 2019 até Junho é a UGD27. 68
Gráfico 12 – A melhor disponibilidade durante o ano de 2019 até Junho é a UGD11. . 69
Gráfico 13 – Índice de confiabilidade em relação ao acumulado de Junho de 2019. 70

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Característica óleo combustível OC 1B ou HFO.....45

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 – MTBF 33
EQUAÇÃO 2 – MTTR 34
EQUAÇÃO 3 – Disponibilidade 35
EQUAÇÃO 4 – Taxa de Falha 37
EQUAÇÃO 5 – Confiabilidade 37

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção

AES – Autorização de Execução de Serviço

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CC – Corrente Contínua.

CEP – Controle Estatístico de Processo

CONF – Confiabilidade.

DISP – Disponibilidade

EAM – *Enterprise Asset Management*

EPASA – Centrais Elétricas da Paraíba S.A

FOT – *Forced Outage Time*

HFO – *Heavy Fuel Oil*

IC – Ignição por Centelha

ICO – Ignição por Compressão

MAN – *Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg*

MCI – Motores de Combustão Interna

MME – Ministério de Minas e Energia

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean Time to Repair*

NBR – Normas Técnicas

OC 1B – Óleo Combustível

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

OS – Ordem de Serviço

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

RDO – Rotina Diária Operacional

SIN – Sistema Interligado Nacional

TMEF - Tempo Médio Entre Falhas

TMPF – Tempo Médio Para Falha

TMPR – Tempo Médio Para Reparo

TMR – Tempo Médio de Reparo

UGD – Unidade Geradora

UTE – Usina Termoelétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
1.1 OBJETIVO GERAL 18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
2 REFERENCIAL TEÓRICO 19
2.1 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE POR USINA TERMOELÉTRICA 19
2.1.1 HISTÓRIA DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE 19
2.1.2 ESTRUTURA INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO 20
2.1.3 FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS 21
2.1.4 USINAS TERMOELÉTRICAS 21
2.1.5 FUNDAMENTOS DO MOTOR ICO USADO EM TERMELÉTRICAS 22
2.2 MANUTENÇÃO 23
2.2.1 DESENVOLVIMENTO DA MANUTENÇÃO 24
2.2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO 26
2.2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA 26
2.2.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA 27
2.2.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA 29
2.2.2.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA 30
2.2.2.5 MANUTENÇÃO DE ENGENHARIA 30
2.2.3 INDICADORES DA MANUTENÇÃO 31
2.2.3.1 MTBF - MEAN TIME BETWEEN FAILURES 34
2.2.3.2 MTTR - MEAN TIME TO REPAIR 34
2.2.3.3 DISPONIBILIDADE 35
2.2.3.4 CONFIABILIDADE 37
3. METODOLOGIA 39
4. APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO 44
4.1 LOCAL DO ESTUDO 44
4.2 EQUIPAMENTOS DE ESTUDO 45
4.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 47
4.4 LEVANTAMENTO DE DADOS 47
4.5 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES E META 49
5. RESULTADOS E ANÁLISE 61

6. CONCLUSÃO 71
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 72
8. BIBLIOGRAFIA 73

1 INTRODUÇÃO

No mundo existem várias maneiras de se obter energia elétrica, das quais a principais são: utilizando fontes de energias não renováveis em usinas termoelétricas (carvão, petróleo e gás natural) e nucleares; e fontes de energias renováveis em usinas hidrelétrica e parques eólicos e solares. Devido aos problemas ambientais decorrentes ou agravados pela exploração dos recursos não renováveis, especialmente os combustíveis fósseis, a prioridade de geração de eletricidade atualmente é através daqueles que são renováveis, considerados também mais "limpos". Estes, no entanto, por dependerem de condições naturais, muitas vezes encontram limitações, justificando assim o amplo uso das usinas termoelétricas.

No Brasil, a demanda de geração de energia em usinas termoelétricas depende das exigências estabelecidas pelos órgãos reguladores, uma vez que a ONS remunera e estabelece as regras de faturamento utilizando dados operacionais das usinas. O acompanhamento dos índices das taxas de falhas, avarias, disponibilidade e confiabilidade, entre outros, subsidiam as decisões de despacho e o planejamento da manutenção da usina.

Para que se possa atender a necessidade de despacho, é preciso manter a disponibilidade dos equipamentos em maiores índices possíveis. Logo, uma forma de garantir esse resultado é através da utilização dos conceitos e métodos de gestão de manutenção.

Em um cenário globalizado e competitivo, a manutenção tem se mostrado cada vez mais fundamental como questão estratégica da organização. Sua principal função é garantir a disponibilidade dos equipamentos. Usando, assim, a filosofia de manutenção corretiva, preventiva e preditiva no departamento de manutenção.

Uma forma de analisar e controlar a disponibilidade dos equipamentos é através dos Indicadores de Desempenho, aplicando em cálculos de MTBF (*Mean Time Between Failures* ou tempo médio entre falhas), MTTR *(Mean Time to Repair* ou tempo médio para reparo), Disponibilidade e Confiabilidade. Os indicadores de desempenho devem ser posicionados num contexto estratégico, demonstrando como ele influencia o resultado corporativo ou o trabalho da equipe.

Assim sendo, o presente estudo tem como finalidade a aplicação de indicadores de desempenho em uma usina termoelétrica, distinguindo quais equipamentos não apresentaram índices de disponibilidade de acordo com a meta e expondo as possíveis soluções para o melhoramento desse problema.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma metodologia para a aplicação de indicadores de desempenho de manutenção em Unidades Geradoras de Usinas Termoelétricas (UTE), através do emprego do Índice de Tempo Médio Entre Falha – TMEF (*Mean Time Between Failure* – MTBF), do índice de Tempo Médio Para Reparo – TMPR (*Mean Time To Repair* – MTTR), e dos indicadores de Disponibilidades e de Confiabilidade.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema;

b) Levantar dados de ocorrências nos equipamentos no intervalo entre janeiro de 2018 e junho de 2019;

c) Aplicar a metodologia de MTBF, MTTR, Disponibilidade e Confiabilidade em relação às falhas das UGDs, que acarretam na intervenção de máquina para manutenção;

d) Estabelecer meta para análise de resultados;

e) Analisar quais das UGDs obtiveram maior e menor índice de MTBF, MTTR e Disponibilidade e Confiabilidade;

f) Verificar medidas a se realizar com os resultados obtidos de MTBF, MTTR, Disponibilidade;

g) Elaborar o relatório final.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE POR USINA TERMOELÉTRICA

Nesta seção, serão abordados os fundamentos que envolvem as termoelétricas, passando pelos principais pontos históricos, estrutura institucional do setor elétrico brasileiro, tipos de fontes de energia, tipos de usinas termelétricas e princípios de uma termelétrica com motores a diesel.

2.1.1 HISTÓRIA DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

A comercialização da iluminação a arco voltaico se iniciou nos anos 70 do século XIX, a princípio na iluminação residencial e, posteriormente, na iluminação pública e em outras instalações externas. Como era previsível, a iluminação a arco voltaico produziu o estímulo necessário ao desenvolvimento de melhores e mais eficientes geradores elétricos. Em 1882, o primeiro sistema instalado para vender energia elétrica para iluminação incandescente nos EUA começou a operar em Nova Iorque. Esse sistema funcionava em corrente contínua (CC) a três condutores, com tensões de 220 V/110 V, e alimentava uma carga de 30 kW, constituída por lâmpadas incandescentes. Esse e outros sistemas contemporâneos a ele deram início ao que viria a se tornar uma das maiores indústrias do mundo. As companhias de energia elétrica daquela época autodenominavam-se companhias de iluminação, uma vez que esse era o único serviço que forneciam (ABREU, OLIVEIRA, GUERRA, 2010).

No ano de 1879, inaugura-se na cidade do Rio de Janeiro, na Estação da Corte da Estrada de Ferro D. Pedro II (hoje conhecida como Estrada de Ferro Central do Brasil), o primeiro serviço permanente de iluminação elétrica (MÉMORIA DA ELETRICIDADE, 2019).

Em 1883, na cidade de Campos (RJ), entrou em operação a primeira central termelétrica, movida a vapor. Também nesse ano é finalizada a construção da primeira usina hidrelétrica do Brasil, A Usina Hidrelétrica Ribeirão do Inferno, localizada na cidade de Diamantina, em Minas Gerais (MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 2019).

2.1.2 ESTRUTURA INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em 2004, com a implantação do Novo Modelo do Setor Elétrico, o Governo Federal manteve a formulação de políticas para o setor de energia elétrica como atribuição do Poder Executivo federal, por meio do Ministério de Minas e Energia (MME). O Novo Modelo do Setor Elétrico preservou a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), órgão regulador, e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), segundo o Atlas da Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008).

A ANEEL iniciou suas atividades em dezembro de 1997, tendo como principais atribuições:

- **Regular** a geração (produção), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- **Fiscalizar**, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica;
- Implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos;
- Estabelecer **tarifas**;
- **Dirimir as divergências**, na esfera administrativa, entre os agentes e entre eles e os consumidores; e
- Promover as atividades de outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica, por delegação do Governo Federal.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação de instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). Ele é também encarregado de planejar a operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Aneel (ONS, 2019).

De acordo com o MME (2018), a maior parte da energia elétrica gerada no mundo é produzida a partir de usinas termelétricas, com um total de 75,1%, incluindo as usinas nucleares. Já no Brasil, esse percentual é de 19,6%, tendo como base ano de 2017.

2.1.3 FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS

Fontes de energias renováveis são aquelas em que os recursos naturais utilizados são capazes de se regenerar, ou seja, são considerados inesgotáveis. Tais fontes utilizam recursos naturais, como, por exemplo, o sol (energia solar), o vento (energia eólica), os mares e oceanos (energia maremotriz e energia das ondas), os rios e correntes de água doce (energia hidráulica), matérias orgânicas (biomassa), o calor da Terra (energia geotérmica), etc. (FINDER COMPONENTES LTDA, 2011).

As fontes de energia não renováveis são aquelas que se encontram na natureza em quantidades limitadas e se extinguem ao serem amplamente utilizadas, ou seja, como o próprio nome já diz, uma vez esgotadas, as reservas não podem ser regeneradas. Como exemplo dessas fontes, podem ser citados o petróleo, o carvão mineral, o gás natural e a energia nuclear (AGENEAL, 2015).

2.1.4 USINAS TERMOELÉTRICAS

A geração termelétrica tem como processo fundamental a conversão da energia térmica em energia mecânica, e esta em energia elétrica. A conversão da energia térmica em mecânica é realizada a partir de um fluido que, ao expandir-se, produz trabalho nas turbinas térmicas. Estas, por sua vez, transmitem o movimento a um gerador elétrico acoplado a seu eixo, convertendo energia mecânica em elétrica.

A produção de energia mecânica pode ser obtida por dois processos de transformação (UMBRIA, 2006):

1. Transformação da energia química dos combustíveis, por combustão;

2. Transformação da energia nuclear dos combustíveis radioativos, por fissão nuclear.

As principais usinas termelétricas, de acordo com o combustível utilizado, são: a gás, a carvão e a óleo. Uma central nuclear também pode ser considerada uma central termelétrica, onde o combustível é um material radioativo que, em sua fissão, gera a energia necessária para seu funcionamento (MELLO, 2006).

Uma usina termelétrica é mais ou menos poluente de acordo com o combustível e a tecnologia utilizada. Por exemplo, usinas termelétricas a gás natural são menos poluentes do que usinas termelétricas a óleo ou carvão (MELLO, 2006).

2.1.5 FUNDAMENTOS DO MOTOR ICO USADO EM TERMELÉTRICAS

Motores são máquinas que tem como finalidade a conversão de energia elétrica, térmica, química e outras em energia mecânica. Os motores de combustão realizam, inicialmente, a transformação da energia química do combustível em energia térmica, para, posteriormente, transformar em energia mecânica, sempre respeitando os conceitos e princípios da termodinâmica (HEYWOOD, 1988).

Os motores de combustão nos quais a combustão ocorre no interior de uma câmara onde há a combinação ar-combustível, são denominados como motores de combustão interna (MCI). Na classificação de motores MCI, podemos destacar dois tipos: Motor por Ignição por Centelha (IC) – Ciclo Otto e Motor de Ignição por Compressão (ICO) – Ciclo Diesel.

Ambos os motores apresentam características peculiares, como:

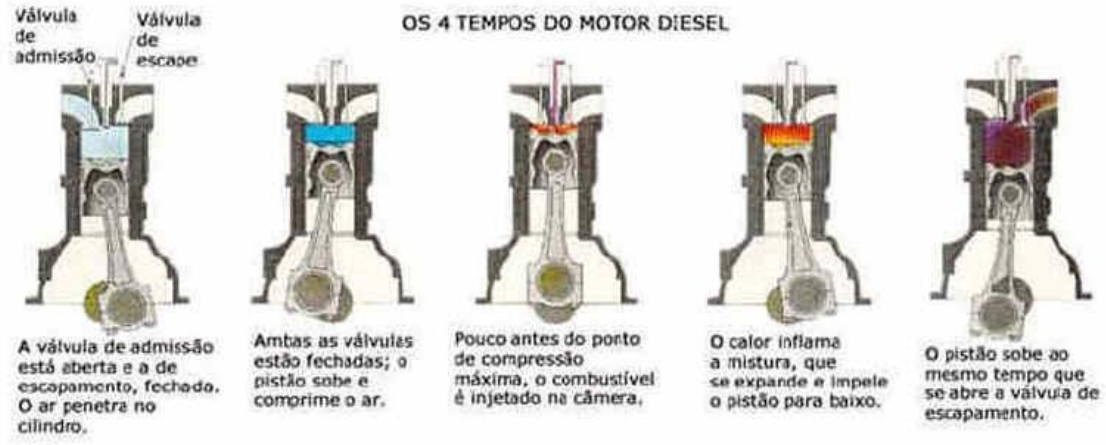
- **Motor de ciclo Otto:** aplicado a veículos leves de passeio, veículos de competição e veículos de médio porte utilizados no transporte de pequenas cargas. Este tipo de motor possibilita o alcance de altas rotações, desenvolvidas pela queima do combustível na câmara de combustão, juntamente com o ar coletado na admissão, através do centelhamento produzido pelas velas de ignição. A nomenclatura característica deste tipo de motor é IC, isto é, Ignição por Centelha (VAN WYLEN e SONNTAG, 1995).

- **Motor de ciclo Diesel:** aplicado, na sua maioria, em veículos de grande porte, principalmente os de transporte de cargas pesadas. Também aplicável em alguns veículos de passeio, mas, devido aos altos índices de poluição atmosférica, responsabilidade atribuída ao combustível diesel por sua alta taxa de concentração de enxofre, seu uso tornou-se definido e direcionado para o mercado rodoviário. Este tipo de motor caracteriza-se pela baixa manutenção, se comparado com os motores de ciclo Otto, devido à dispensa de subsistemas eletroeletrônicos para provocar o centelhamento. Uma vez que seu

> funcionamento se baseia na compressão do diesel juntamente com o ar, torna-se desnecessária a utilização de velas para provocar a centelha, o que é justificado pela característica físico/química do diesel, que se inflama apenas pela compressão (BOULANGER, 1990)

No motor Diesel, o gasóleo é introduzido finamente pulverizado no interior da câmara de combustão, onde encontra ar quente previamente comprimido pelo êmbolo, o qual se desloca no interior de um cilindro. A combustão do gasóleo, produzindo calor, e a subsequente expansão dos gases da combustão, cria pressão que promove a deslocação do êmbolo. O movimento linear do êmbolo é transformado em movimento de rotação de um veio (cambota), através de uma biela que liga aqueles órgãos. (SANTOS, 2019).

Figura 1- Ciclo diesel em 4 tempos.



Fonte: Hi7.com

2.2 MANUTENÇÃO

Esta seção discorre sobre o desenvolvimento e evolução da manutenção, sua classificação e os conceitos envolvidos. Será mostrada toda a caracterização dos tipos de manutenções, que são: manutenção corretiva planejada e não-planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção.

2.2.1 DESENVOLVIMENTO DA MANUTENÇÃO

Nas empresas vencedoras, o homem de manutenção tem reagido rápido às mudanças no setor; esta nova postura inclui uma crescente conscientização de quanto uma falha de equipamento afeta a segurança e o meio ambiente, maior conscientização da relação entre manutenção e qualidade do produto, maior pressão para se conseguir alta disponibilidae e confiabilidade da instalação, ao mesmo tempo que se busca a redução de custos. Estas alterações estão exigindo novas atitudes e habilidades das pessoas da manutenção, desde gerentes, passando pelos engenheiros e supervisores, até chegar executantes. (KARDEC e NASCIF, 2009)

Segundo Kardec e Nascif (2009) a evolução da manutenção pode ser dividida em quatro gerações:

- **Primeira geração:** corresponde ao período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era simples, superdimensionada e a produtividade não era a prioridade. Nesse momento, a manutenção se limitava a apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após quebras, ou seja, uma manutenção corretiva não planejada.

- **Segunda geração:** ocorre entre as décadas e 50 a 70 do século passado, após Segunda Guerra Mundial. As pressões do período da guerra aumentaram a demanda por todo tipo de produto, como consequência, houve um aumento da mecanização e complexidade das instalações industriais. Começou-se, então, a evidenciar a necessidade de maior confiabilidade, disponibilidade e, consequentemente, maior produtividade. Isso levou à ideia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, resultando no conceito de manutenção preventiva.

- **Terceira geração:** após os anos de 1970, o processo de mudança da indústria se acelerou, aumentando ainda mais a preocupação generalizada com a paralização das máquinas, visto que diminuía a produção e aumentava o custo. Cada vez mais, as falhas provocavam sérias consequências na segurança e no meio ambiente, em um momento em que os padrões de exigências nessas áreas começaram a elevar rapidamente. Caso os padrões estabelecidos não fossem atendidos, as plantas eram impedidas de funcionar. Com o crescimento da

automação e o avanço da informática e da mecanização, a confiabilidade e a disponibilidade se tornaram pontos chaves em setores distintos. Foi, então, reforçado o conceito e a utilização da manutenção preditiva.

- **Quarta geração:** após os anos 2000, o objetivo passou a ser o de intervir cada vez menos na planta, enquanto as práticas de manutenção preditiva e de monitoramento de condição de equipamento e do processo se fortalecem. Em consequência, há uma tendência de redução na aplicação da manutenção preventiva ou programada, visto que ela provoca a paralização dos equipamentos e sistemas, impactando negativamente a produção. O mesmo acontece em relação à manutenção corretiva não planejada, que se torna um indicador da ineficácia da manutenção. Em contrapartida, a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação, se torna um fator de garantia de cumprimento de metas. Uma outra grande mudança dessa geração foi o aprimoramento da terceirização, buscando uma relação de parceria de longo prazo.

Podemos também destacar alguns conceitos de manutenção com passar do tempo, como:

"Uma combinação, entre outras, de práticas de gestão, de finanças e de engenharia aplicadas a ativos físicos para reduzir os custos ao longo do ciclo de vida econômica; trata da especificação e projeto dirigidos para a confiabilidade e manutenibilidade da planta industrial, de equipamentos, edifícios e estruturas, levando em conta sua instalação, comissionamento, manutenção, modificação e substituição, e o retorno de informação sobre o projeto, o desempenho e custos" (CORDER, 1976).

"Manutenção é a função empresarial que tem como encargo o controle constante das instalações, assim como o conjunto de trabalhos de reparação e revisão necessários para garantir o funcionamento regular e o bom estado de conservação das instalações produtivas, serviços e instrumentação das empresas" (BALDIN, 1982).

Já Monchy (1989) diz que a manutenção é a medicina dos equipamentos, que a missão da manutenção é a gestão otimizada do parque de equipamentos do complexo de produção.

“A função manutenção é definida como uma função estratégica que busca a maior disponibilidade e confiabilidade das instalações através da diminuição de quebras e falhas nos equipamentos e sistemas, otimizando o uso dos recursos disponíveis. O objetivo básico da manutenção é garantir a continuidade operacional da planta, maximizando a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos e das instalações industriais, ao menor custo possível e preservando a integridade do homem e do meio ambiente. Esta definição genérica tem sido detalhada segundo diferentes enfoques, conforme se trate de uma abordagem mais centrada na questão técnica, gerencial ou econômica da manutenção” (CAVALCANTE, 1998).

Kardec e Nascif (2009) define o ato de manter ou a manutenção industrial como “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”.

Escolha da melhor estratégia de manutenção envolve, além da identificação do comportamento da taxa de falhas do componente no decorrer do tempo, a verificação das atividades de manutenção aplicáveis e a criticidade da falha, considerando aspectos associados à economia, segurança e meio ambiente. (MENDEZ e RIBEIRO, 2014).

2.2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Existem diferentes tipos de manutenção, podendo ser caracterizadas tanto pelas distintas formas de intervenções, quanto por diferentes momentos de paradas em equipamentos, máquinas, instalações ou sistemas que façam parte da planta. De acordo com teóricos e estudiosos do tema, os principais tipos de manutenção podem ser classificados em: corretiva (não-planejada e planejada), preventiva, preditiva, detectiva e engenharia de manutenção.

2.2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Segundo a NBR 5462-1994, manutenção corretiva é aquela efetuada após a ocorrência de uma pane, objetivando recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Este tipo é considerado o mais simples e mais primitivo de manutenção. Na visão de Slack (2002), significa deixar as instalações continuarem a

operar até que quebrem, já que o trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento.

Manutenção corretiva não-planejada é a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado, sendo realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, quase aleatoriamente. Ela implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, por gerar ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis (OTANI e MACHADO, 2008).

Quando a maior parte da manutenção da empresa se baseia na corretiva não-planejada, o departamento de manutenção é refém dos equipamentos. Ele acaba sendo comandado por eles, e não o contrário, como deveria acontecer, e o desempenho empresarial da organização perde muita competitividade (KARDEC e NASCIF, 2009).

A manutenção corretiva planejada se diferencia da não-planejada por ser uma decisão gerencial. Ela também é um reparo de uma falha ou de um desempenho menor que o esperado, porém se baseia na modificação dos parâmetros de condição observados pela manutenção preditiva (KARDEC e NASCIF, 2009).

De acordo com Sousa (2004), podemos caracterizar a manutenção corretiva planejada como uma correção das condições de equipamento por desempenho, falha ou por decisão gerencial. Esse tipo necessita de menos recursos e é mais rápida, segura e de melhor qualidade do que um trabalho não planejado.

Xenos (1998) ressalva que mesmo que a manutenção corretiva tenha sido escolhida por decisão gerencial, não se pode simplesmente se conformar com a ocorrência de defeitos como um evento já esperado e natural. Para o autor, é essencial o esforço para identificar precisamente as causas fundamentais das falhas e bloqueá-las, evitando sua reincidência.

2.2.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Conforme definição da NBR 5462-1994, manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Sua intenção é evitar que a falha ocorra, através de manutenções em intervalos de tempo pré-definidos. Segundo Slack (2002), visa ainda eliminar ou reduzir a probabilidade de falhas por ausência de manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações.

Adotando-se esse tipo, a frequência de falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e também reduzem as interrupções inesperadas da produção. Considerando o custo total, em várias situações a manutenção preventiva torna-se mais barata que a manutenção corretiva, pelo fato de se ter domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de ficar sujeito às paradas inesperadas (XENOS, 1998).

Viana (2002) a descreve com a manutenção realizada em máquinas em condições operacionais ou estado zero de defeito. Ela seria, então, um conjunto de serviços efetuados em intervalos previamente estabelecidos, utilizando critérios particulares seja pelo fabricante, seja por experiência operacional prévia em relação aos períodos de falha.

Kardec e Nascif (2009) ponderam que, se por um lado a manutenção preventiva permite um bom gerenciamento das atividades, nivelamento dos recursos, além de previsibilidade do consumo de materiais e sobressalentes, por outro, promove a retirada do equipamento ou sistema de operação para a execução das atividades programadas. Assim, deve-se pesar os fatores para que o uso dessa política seja adequado à realidade do maquinário, sistemas ou plantas.

Almeida (2000) atenta também para problemas mais comuns ao se adotar a manutenção preventiva, como: reparos desnecessários ou bastante antecipados e falhas inesperadas. Além disso, Kardec e Nascif (2009) alertam que nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos para a adoção nos planos de manutenção preventiva. Deve-se considerar que condições ambientais e operacionais influem significativamente na degradação dos equipamentos, logo, a definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação.

Há negligência das empresas com o cumprimento dos itens de manutenção preventiva, e o tempo que seria despendido com ela acaba sendo gasto para trabalhar em falhas que surgem no dia-a-dia da produção. Isso se dá porque sem uma boa manutenção preventiva, as falhas tendem a aumentar, ocupando todo o tempo do pessoal de manutenção (XENOS, 1998).

2.2.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A NBR 5462-1994 define a manutenção preditiva como a que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise. Nela utiliza-se meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Seu objetivo maior é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Assim sendo, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade, à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

Xenos (1998) destaca que a manutenção preditiva otimiza a utilização das peças, aproveitando sua vida útil e estendendo os intervalos de manutenção. O acompanhamento técnico do componente permite trocas próximas ao limite da vida de uso, podendo ser monitoradas algumas condições como: variação de vibração, lubrificação e desgaste da estrutura dos elementos mecânicos.

Manutenção Preditiva visa acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico, tentando predizer a proximidade da ocorrência da falha. O objetivo de tal tipo de manutenção é determinar o tempo correto da necessidade da intervenção mantenedora, desse modo evitando desmontagens para inspeção e utilizando o componente até o máximo de sua vida útil (SLACK et al. 2008).

O termo associado a esse tipo de manutenção é predizer. Ou seja, sempre analisar as variantes que possam influenciar ou evidenciar uma possível falha ou queda acelerada do desempenho do equipamento para, então, intervir. Logo, diz-se que essa intervenção é uma manutenção corretiva planejada (KARDEC e NASCIF, 2009).

A adoção desse tipo de política requer um eficaz sistema de informação sobre o estado dos equipamentos. A validade do processo se baseia fundamentalmente na validade da informação, na frequência de inspeções que devem ter caráter sistemático e num elevado grau de confiabilidade dos diagnósticos (BALDIN, 1982).

De acordo (KARDEC e NASCIF, 2009), as condições básicas para adotar a Manutenção Preditiva são:

- O equipamento/sistema permita algum tipo de monitoramento/medição;
- O equipamento, sistema ou instalação mereça essa política de manutenção em função dos custos envolvidos;
- As falhas sejam oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua evolução acompanhada;
- Seja estabelecido um programa sistematizado de acompanhamento, análise e diagnóstico.

2.2.2.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA

Manutenção Detectiva (*Detective Maintenance*) corresponde a verificações funcionais, frequentemente de sistemas de proteção, para averiguar se eles encontram-se efetivamente ativos (HIPKIN e DE COCK, 2000). Inclui, por exemplo, tarefas que envolvem testes com lâmpadas de sinalização e alarmes detectados por sensores (AHUJA e KHAMBA, 2008).

Em sistemas automatizados, a identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Nesses sistemas complexos, essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal devidamente treinado e habilitado, da área de manutenção em conjunto com o pessoal da operação. Especialistas fazem verificações no sistema sem tirá-lo de operação, detectando essas falhas ocultas e, preferencialmente, corrigindo a situação, mantendo o sistema em atividade (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2.2.5 MANUTENÇÃO DE ENGENHARIA

Para KARDEC e NASCIF (2009), a Engenharia de Manutenção significa "perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo". Para tanto, visa, dentre outros fatores, aumentar a confiabilidade, disponibilidade, segurança e manutenibilidade; eliminar problemas crônicos e solucionar problemas tecnológicos; melhorar gestão de pessoal, materiais e

sobressalentes; participar de novos projetos e dar suporte à execução; fazer análise de falhas e estudos; elaborar planos de manutenção, fazer análise crítica e acompanhar indicadores, zelando sempre pela documentação técnica.

Yamaguchi (2005) cita algumas características da manutenção de engenharia, que são:

- Procura causas básicas de falhas, modificações e situações permanentes de mau desempenho;
- Previne problemas crônicos;
- Busca aprimorar técnicas e dar feedback aos gestores;
- Interfere tecnicamente nas compras perseguido *benchmarking*;
- Aplica técnicas modernas.

2.2.3 INDICADORES DA MANUTENÇÃO

Pinto (2002), relata que para um sistema de controle da manutenção ser eficiente e eficaz, tornam-se necessárias informações de desempenho do mesmo sob a forma de relações ou índices. Tais indicadores deverão ser utilizados para apontar os pontos fracos e também para identificar os possíveis problemas que estão causando resultados indesejáveis. Dessa forma, os indicadores de manutenção servem como tradução do comportamento dos equipamentos e sistemas de produção frente às ações de manutenção. Alguns desses indicadores são apresentados a seguir, especificamente os que relacionam os tempos de máquina funcionando entre intervenções, o número de intervenções e também o tempo para reparo.

O desenvolvimento do departamento de manutenção tem relação direta com análises estatísticas e o levantamento de índices que traduzem em números a situação operacional e a qualidade do processo de manutenção. É uma análise direta e dinâmica que acompanha a evolução, e permite previsões de alcance de metas e controle (MELO, 2017).

De acordo com Viana (2002) e Teles (2019), os Indicadores de Manutenção estão divididos em duas categorias principais:

- Indicadores que evidenciam o efeito da manutenção no desempenho dos negócios;

- Indicadores que estão ligados diretamente à Confiabilidade e Disponibilidade dos ativos.

Os principais Indicadores de Manutenção são:

- MTBF – *Mean Time Between Failures*, também conhecido pelo termo em português: Tempo médio entre falhas – TMEF;
- MTTR – *Mean Time To Repair*, ou TMR – Tempo médio de reparo;
- TMPF – Tempo médio para falha;
- Disponibilidade Inerente;
- Confiabilidade;
- Custo de Manutenção / Faturamento;
- Custo de Manutenção / ERV;
- Custo de Manutenção / Unidade Produzida;
- *Backlog*;
- HH empregado por Tipo de Manutenção;
- Fator de Produtividade da Mão de Obra;
- Diagrama de Pareto;
- Índice de preventiva:
- Índice de corretiva:
- Taxa de frequência de acidentes;
- Gráfico de CEP.

Segundo Viana (2002), os indicadores de manutenção não só acompanham os desafios da manutenção, como também sua rotina diária. O autor ainda explica que eles devem retratar aspectos importantes no processo da planta, e o PCM deve avaliar a melhor forma de monitoramento do processo, acompanhando aquilo que agrega valor.

A Tabela 1 abaixo, retirada do Documento Nacional da Manutenção no Brasil, realizado pelo ABRAMAN, mostra os indicadores de desempenho de manutenção mais utilizados no Brasil.

Tabela 1– Dados sobre indicadores de desempenho.

Principais indicadores de Desempenho Utilizados (Grau de Importância – G1)										G1 2011
Tipos	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	
Custos	26,21	26,49	26,32	25,91	21,45	21,96	20,33	18,98	21,56	1
Frequência de falhas	17,54	12,20	14,24	16,22	11,66	12,17	9,75	9,81	10,47	5
Satisfação do cliente	13,91	11,01	11,76	11,86	8,62	8,11	8,93	9,38	6,37	7
Disponibilidade operacional	25,20	24,70	22,60	23,24	19,58	19,81	18,51	20,68	20,74	2
Retrabalho	9,07	5,65	8,36	8,96	6,06	6,68	3,97	5,33	4,72	8
Backlog	8,07	6,55	8,98	10,41	9,32	6,92	11,57	10,02	9,86	6
Não utilizam	-	2,09	2,79	1,22	1,63	0,72	0,33	1,07	0,82	9
TMPF (MTTF)	-	-	-	-	11,89	11,69	14,21	12,79	13,35	3
TMPR (MTTR)	-	-	-	-	9,56	11,46	11,74	11,94	12,11	4
Outros indicadores	-	11,31	4,95	2,18	0,23	0,48	0,66	0,00	0,00	10

Fonte: Abraman (2011). Tabela adaptada pelo autor.

De acordo com a Tabela 1, o indicador Disponibilidade Operacional está representando uma variável inversa, ou seja, a Indisponibilidade Operacional. Um dos maiores objetivos das empresas é aumentar a disponibilidade dos recursos de máquinas e equipamentos, e valores hoje no patamar de 80% apresentam uma evolução. No indicador Custos, observa-se uma tendência de queda para o custo anual em relação ao valor dos ativos, essa tendência colabora para o esforço que as empresas brasileiras têm feito para a redução dos custos de manutenção e na gestão de ativos.

O indicador TMPF ou MTBF (Tempo Médio para Falhar) apresenta uma tendência de crescimento, indicando que cada vez mais a manutenção deixa de ser função de apoio para os processos produtivos e passa a cumprir papel estratégico, garantindo Disponibilidade e Confiabilidade, otimizando assim o TMPF. Entretanto, ainda é preciso reduzir o TMPR ou MTTR (Tempo Médio para Reparo), que apresenta uma tendência de aumento, comprometendo a Disponibilidade Operacional (OLIVEIRA, 2013).

Neste trabalho, serão analisados somente os seguintes indicadores de desempenho dos equipamentos: MTBF, MTTR, Disponibilidade, Confiabilidade.

2.2.3.1 MTBF - MEAN TIME BETWEEN FAILURES

O Tempo Médio Entre Falhas (*Mean Time Between Failures* – MTBF) reflete a frequência de intervenções no equipamento durante determinado tempo específico (MARTINS, 2012). Ele é representado pela seguinte equação:

$$MTBF = \frac{\sum tempo\ total\ trablhada\ pela\ máquina}{\sum quantidade\ de\ intervenções} \qquad (1)$$

De maneira mais clara, este indicador permite avaliar qual o tempo médio que um Processo/Equipamento/Componente pode operar sem interrupção. Ele se configura como uma medida básica da confiabilidade de um sistema, sendo em geral medido em unidades de horas. Quanto mais alto o valor de MTBF, mais confiável será o produto (MATOS JUNIOR E CAIXÊTA, 2017).

Na tese de Freitas (2012), ele define o MTBF como uma métrica de confiabilidade que avalia o tempo médio entre duas avarias consecutivas, não necessariamente avarias do mesmo tipo. A unidade de tempo utilizada neste estudo é horas, visto que o cálculo do tempo de reação, do tempo de reparação e do MTTR está também em horas.

Este parâmetro é de suma importância porque faz relação com a disponibilidade das máquinas em operação. É um sinal positivo para o departamento de manutenção, visto que o aumento do índice reflete uma melhoria da manutenção, indicando que as corretivas estão diminuindo. (VIANA, 2002)

2.2.3.2 MTTR - MEAN TIME TO REPAIR

MTTR – "*Mean Time To Repair*" (Tempo Médio Para Reparo) é o indicador que permite avaliar qual tempo médio para reparar um Processo, Equipamento ou Componente para um determinado intervalo de tempo após uma falha, o MTTR é medido em unidades de horas (MATOS JUNIOR E CAIXÊTA, 2017).

Este índice é capaz de demonstrar o impacto da falha e o tempo gasto para a correção, sendo desejado baixos índices de MTTR (VIANA, 2002). A equação que o define é a seguinte:

$$MTTR = \frac{\sum tempo\ total\ de\ reparo\ da\ máquina}{\sum quantidade\ de\ intervenções} \qquad (2)$$

Em alguns estudos, o MTTR foi calculado com os tempos de *Downtime* em conjunto com a execução de manutenção de reparo, como realizada na pesquisa de Freitas (2012). Já no trabalho de Lima (2014), só é considerado o tempo de execução do reparo do equipamento, ou seja, o intervalo em que a equipe de manutenção está trabalhando para atender a ordem de serviço, sendo, portanto, desconsiderados os períodos de espera e demais tempos que possam ser demandados.

O *Downtime*, também conhecido como FOT (*Forced Outage Time*), é o tempo total de uma paragem devido a uma falha, ou seja, é o período entre a detecção de uma falha e o reinício da operação do equipamento em questão (FIGUEIREDO, 2017).

MTTR corresponde, assim, ao tempo requerido para executar uma ação corretiva, de modo que o equipamento volte a funcionar nas condições normais. Nesta métrica, podem estar inseridos o tempo de reparação, o tempo de reação, o tempo logístico (no caso de ser necessário a encomenda de alguma peça) e tempo de diagnóstico. Neste caso concreto, o MTTR inclui o tempo de reação e o tempo de reparação (FREITAS, 2012).

O cálculo do tempo de reação é efetuado mensurando-se a diferença do intervalo entre o início da avaria e o início da intervenção. Este é o período de tempo que decorre desde que o técnico de manutenção é informado da existência da avaria até que se desloca ao equipamento para iniciar a intervenção. (FREITAS, 2012)

O tempo de reparação é dado pela diferença entre início de intervenção e o fim da avaria. Como o MTTR é definido como o tempo necessário para recuperar um equipamento ao seu estado normal de funcionamento, é assumido que uma vez reparado o equipamento, este está em condições de voltar a trabalhar, e, portanto, usa-se como limite o fim da avaria (FREITAS, 2012).

2.2.3.3 DISPONIBILIDADE

A NBR 5462-1994 diz que Disponibilidade significa a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante, ou durante um

intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, mantenabilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. Disponibilidade pode ser entendida também como a fração de tempo na qual o equipamento ou sistema está desempenhando a função para o qual o mesmo foi proposto (MONCHY, 1989).

Este indicador é o mais importante para a manutenção. As perdas devido a falhas em equipamentos são enormes, de forma que o objetivo da manutenção deve ser propiciar a máxima continuidade operacional através de uma grande disponibilidade (VERRI, 2012).

O indicador da disponibilidade (DISP) reflete, então, a probabilidade de um determinado equipamento estar disponível para operar quando necessário (MARTINS, 2012). Dessa forma, o tempo indisponível retrata o tempo total que a manutenção impediu que houvesse produção em determinado período.

O DISP representa, em termos percentuais, a entrega de um equipamento para o processo de operação em relação às horas totais de um determinado período. Ele é de grande importância para a estratégia de funcionamento dos departamentos de manutenção e para atender necessidades do processo produtivo, sendo um fator que varia de acordo com a organização, a empresa, ou até mesmo os departamentos internos.

A disponibilidade é calculada a partir do MTTR e do MTBF, o tempo em que um equipamento não apresenta avarias e o tempo que demora a recuperar o equipamento para as suas condições de funcionamento. O cálculo é efetuado recorrendo à equação seguinte, considerando um estado estacionário no período de análise (FREITAS, 2012).

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}\ x\ 100 \qquad (3)$$

Freitas e Ferreira (2009) e Teles (2019) julgam que 95% é um bom valor para a disponibilidade, condizendo com os padrões denominados “Classe Mundial”, que determinam valores ideais da Disponibilidade Global dos equipamentos e instalações maiores ou iguais a 90%. Pode-se, todavia, considerar que números acima de 80% já são bons padrões, porém, com capacidade de melhora.

2.2.3.4 CONFIABILIDADE

Historicamente, o conceito de confiabilidade vem sendo desenvolvido há pouco mais de 50 anos. Como outras grandes evoluções, o conceito evoluiu de forma expressiva após a Primeira Guerra Mundial, com o estudo em aviões e mísseis. Na década de 1970, este indicador era utilizado para a análise de usinas nucleares, contribuindo para seu fortalecimento e ampla aceitação como algo de grande valia para as análises. (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Segundo a NBR 5462-1994, confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Ela pode então ser entendida como uma probabilidade; esse fato faz com que os axiomas clássicos de probabilidade possam ser usados no cálculo da confiabilidade (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Dessa forma, a confiabilidade é a probabilidade de que um item ou uma máquina funcione corretamente em condições esperadas durante um determinado período de tempo, ou de ainda estar em condições de trabalho após um certo período de funcionamento. É, portanto, a capacidade que um sistema ou componente tem de desempenhar as funções exigidas nas condições estabelecidas por um intervalo definido. (MATOS JUNIOR e CAIXÊTA, 2017)

Como dito, a confiabilidade é um cálculo probabilístico. Com base no histórico de falhas de um determinado equipamento, iremos projetar um cenário futuro. De acordo com Teles (2019), para medi-la é preciso levantar as seguintes informações:

- MTBF – Tempo Médio entre Falhas dos Equipamentos;
- Taxa de Falhas dos equipamentos;
- Saber previamente qual é o período que queremos projetar o cenário para o cálculo de confiabilidade.

Taxa de Falhas:

Se chamarmos a taxa de falhas de *lambda*, podemos ver que ela é o inverso do MTBF, conforme equação a seguir:

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF} \qquad (4)$$

“Fórmula” para Cálculo da Confiabilidade:

A confiabilidade é uma Função do Tempo, não é um número definido. A “fórmula” para seu cálculo é:

$$R(t) = e^{-t\lambda} \qquad (5)$$

3. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida nesse trabalho foi dividida em etapas, de modo sequencial:

Etapa 1: *Revisão Bibliográfica*

Etapa 2: *Estudo de Caso*

Etapa 3: *Levantamento de Dados*

Etapa 4: *Aplicação MTBF*

Etapa 5: *Aplicação MTTR*

Etapa 6: *Aplicação DISPONIBILIDADE*

Etapa 7: *Aplicação CONFIABILIDADE*

Etapa 8: *Determinação de METAS*

Etapa 9: *Análise dos Resultados*

Etapa 10: *Sugestão de possíveis Soluções*

É possível também visualizar essas etapas em forma de fluxograma, mostrando de forma esquemática o modelo a ser aplicado (Fig. 2).

Foi realizada primeiramente toda a *Revisão Bibliográfica*, que deu suporte à introdução, evolução histórica e conceituações, dando ainda suporte para a aplicação do método.

Para o *Estudo de Caso,* foi definido uma metodologia para facilitar o processo de controle da manutenção através da utilização dos indicadores, apresentando parâmetros para análise de desempenho e, por seguinte, verificando possíveis problemas, propondo assim melhorias. O local de estudo foi a EPASA - Centrais de Elétrica da Paraíba S.A, uma Usina termelétrica que utiliza motores a diesel. Os equipamentos estudados para a pesquisa foram as 38 Unidades Geradoras (UGDs), motores diesel modelo 18V 32/40, da fabricante MAN.

Após a escolha dos equipamentos, realizou-se o *Levantamento de Dados*, utilizando o programa *infor EAM*, que contém as informações necessárias para o trabalho, registradas nas Ordem de Serviço – OS. Dados esses que são: quantidade de falhas intervencionistas da máquina, tempo realizado na manutenção e horas trabalhadas pela máquina.

Após levantamento de dados, foi realizado o objetivo principal do estudo, que é a aplicação da metodologia de *MTBF, MTTR, Disponibilidade e, Confiabilidade*. Estes cálculos foram realizados através do auxílio do programa *Microsoft Office Excel.*

O MTBF é um dos indicadores mais importantes para o setor de manutenção mecânica, através do qual conseguimos analisar de forma geral como a manutenção vem sendo realizada. Ele é medido nos equipamentos de formas individual, consistindo em medir o tempo entre uma falha e outra, como foi visto no referencial teórico, e aplicar na equação (1):

$$MTBF = \frac{\sum tempo\ total\ trablhada\ pela\ máquina}{\sum quantidade\ de\ intervenções}$$

Por exemplo. Um equipamento operou 100 horas e teve 2 intervenções em Janeiro; depois 150 horas e 3 intervenções Fevereiro; e 50 horas e 5 intervenções em Março. Logo, o Acumulado em Março total são 30 horas entre cada falha no equipamento, conforme demonstração a seguir:

$$MTBF = \frac{100 + 150 + 50}{2 + 3 + 5} = \frac{300}{10} = 30\ horas$$

O *MTTR* é um indicador que serve para mostrar o tempo gasto nas manutenções dos equipamentos e analisar a performance da equipe de manutenção em atividades corretivas. É definido pela seguinte equação (2):

$$MTTR = \frac{\sum tempo\ total\ de\ reparo\ da\ máquina}{\sum quantidade\ de\ intervenções}$$

Por exemplo. A manutenção do equipamento durou 10 horas e teve 2 intervenções em Janeiro; depois 15 horas e 3 intervenções Fevereiro; e 25 horas e 5

intervenções em Março. Logo, o Acumulado em Março total são 5 horas em tempo médio de cada manutenção. Aplicando na fórmula, temos:

$$MTTR = \frac{10 + 15 + 25}{2 + 3 + 5} = \frac{50}{10} = 5\ horas$$

O tempo de *Disponibilidade* reflete a eficiência e a velocidade do pessoal de manutenção, bem como sua experiência, nível de treinamento e manutenibilidade do equipamento ou sistema. A disponibilidade está, portanto, ligada diretamente ao MTBF e ao MTTR. Logo, é possível fazer o cálculo de disponibilidade com os resultados dos exemplos anteriores, utilizando a equação (3):

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}\ x\ 100$$

No exemplo, para MTBF = 30 horas e MTTR = 5 horas, teremos uma disponibilidade de 85,7% do equipamento, conforme aplicação a seguir:

$$Disponibilidade = \frac{30}{30 + 5}\ x\ 100 = 85{,}7\%$$

Confiabilidade, por sua vez, é um indicador probabilístico de um equipamento para operar de acordo com sua especificação de projetos em um tempo futuro.

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF}$$

$$R(t) = e^{-t\lambda}$$

Por exemplo. Para as próximas t = 30 horas, o equipamento do exemplo obteve uma confiabilidade de 37,1%, ou seja, essa é sua chance de operar de em perfeito estado. Utilizando as taxas de falha da equação (4) e de confiabilidade (5):

$$\lambda(t) = \frac{1}{30} = 0{,}033$$

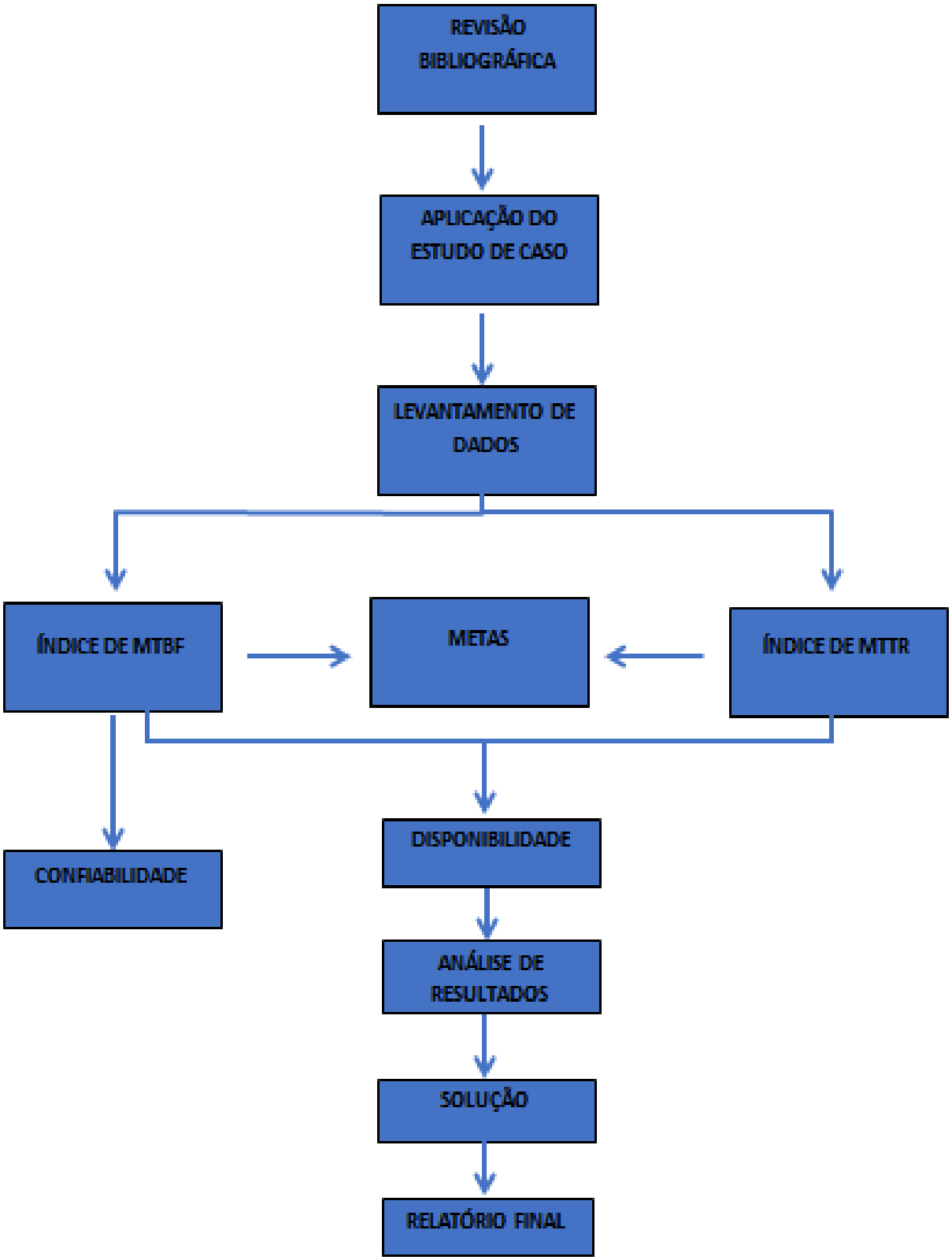
$$R(30) = e^{-30\ x\ 0{,}033} = 37{,}1\%$$

De acordo com os índices obtidos, é possível, com o consenso da gerência de manutenção da empresa e seguindo metas globais já estabelecidas, definir *Metas* em relação aos parâmetros dos melhores valores encontrados.

Após os cálculos, foi realizada a *Análise dos Resultados* e verificado quais UGDs não atingiram as metas estabelecidas e quais delas obtiveram o pior e melhor índice de MTBF, MTTR, Disponibilidade e Confiabilidade. Essa análise se deu através de Gráficos que mostram a linearidade dos índices aplicados.

E, por fim, é abordado na unidade de conclusão as medidas e *Soluções* a serem tomadas para as UGDs que apresentaram os piores resultados de indicadores. Medidas essas caracterizadas por tipos de manutenção e diminuição de tempo de manutenção.

Figura 2 - Fluxograma da Metodologia do Trabalho.



Fonte: Autor.

4. APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Nesta seção, será realizado um estudo de caso aplicando-se a metodologia pesquisada em uma situação real. Esta metodologia assistirá na prevenção de falhas de equipamentos de uma usina termelétricas, através de dados coletados.

4.1 LOCAL DO ESTUDO

O método de indicadores foi aplicado na Centrais Elétricas Da Paraíba S.A. – EPASA, empresa do ramo da eletricidade localizada no Distrito Industrial de João Pessoa, Estado do Paraíba. Considerada umas das maiores termelétricas por motores a óleo combustível do mundo, é uma empresa de capital privado fundada no ano de 2007, porém com início da operação em 2010.

A EPASA foi concebida e implantada em estrita obediência aos objetivos de produzir energia elétrica condicionada à recomposição do quadro de valores ambientais encontrado no local, de modo a recuperar, enriquecer e valorizar o entorno de suas instalações. Ela é constituída por duas UTEs: UTE TERMOPARAÍBA e UTE TERMONORDESTE.

As UTEs foram implantadas em um terreno localizado no distrito industrial, totalizando aproximadamente 792.000 m², dos quais cerca de 11.200m² representam a área construída (Fig. 3). Cada Usina possui potência instalada de 171,35 MW, sendo compostas por 19 grupos geradores MAN modelo 18V32/40, com Potência Unitária de 8.788 Kw, e um grupo gerador MAN modelo 9L32/40, com Potência Unitária de 4.365 Kw, vista pela figura 4. As duas Usinas totalizam potência instalada de 342,7 MW.

Figura 3 – Vista aérea da Centrais Elétricas Da Paraíba S.A. – EPASA.

Fonte: EPASA 2019, adaptada pelo autor

Figura 4– Foto interna por dentro da casa de máquinas, parte superior dos motores.

Fonte: EPASA 2019, adaptada pelo autor.

4.2 EQUIPAMENTOS DE ESTUDO

Os motores MAN modelo 18V 32/40 (Fig. 5 e 6) possuem 18 cilindros em formato “V”, com diâmetro 32cm e 40cm de curso do pistão. São aptos a operarem utilizando o Óleo Combustível - OC 1B como combustível principal e o Óleo Diesel como combustível para partida dos motores. O óleo combustível OC 1B também é

denominado, em algumas oportunidades, como HFO (*Heavy Fuel Oil*) ou óleo combustível pesado com as características segundo o quadro 1

Quadro 1 – Característica óleo combustível OC 1B ou HFO.

Características OCB1	Unidade	Limites
Viscosidade	mm2/s	Até 1200 mm2/s
Densidade	kg/m3	Até 1010 kg/m3 a 15ºC
Nitrogênio	%	Até 0,5
Poder calorífico inferior	kJ/kg	40,193
Enxofre	%	Até 1,0
Cinza	%	Até 0,2
Ponto de fluidez	ºC	< 30
Ponto de fulgor	ºC	> 66

Fonte: EPASA 2019, adaptada pelo autor.

Figura 5– Imagem inferior dos motores MAN.

Fonte: EPASA 2019, adaptada pelo autor.

Figura 6 – Motor 18V 32/40 MAN.

Fonte: Impcorporation

4.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada uma revisão bibliográfica apresentando os mais importantes conceitos, justificativas e características sobre manutenção industrial, do ponto de vista de análise feita por outros autores. Ela consiste na discussão e comprovação da teoria, além de possíveis revisões de sua validade e alcance.

Foram consultados vários estudos condizentes com o tema e o objetivo deste trabalho, servindo como embasamento para o desenvolvimento do mesmo. No referencial teórico também contam os resultados das pesquisas que foram obtidas previamente, indicando os respectivos responsáveis pelas análises. Todas as referências aos autores externos seguem o padrão estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Após todo o estudo teórico, foi realizado o plano de sustentação argumentativo sobre indicadores de desempenho na manutenção em UGDs, fundamentando e servindo como comparação em relação aos resultados a serem obtidos a partir do trabalho em desenvolvimento.

4.4 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para todas as falhas de equipamento que necessitam de conserto ou reparação, é necessário que seja criada um documento a fim de especificar aspectos importantes do serviço que será prestado; este documento é chamado OS – Ordem de Serviço. Nele deve constar o serviço a ser prestado, sendo ele a resolução de um problema ou não, além de informações que ajudem o manutentor a realizar atividade. Através de um software de criação de OS, a empresa consegue realizar o controle do tempo investido para a realização de uma tarefa, a partir do qual é possível realizar análises qualitativas e quantitativas a respeito dos dados obtidos e traçar indicadores e metas de produtividade.

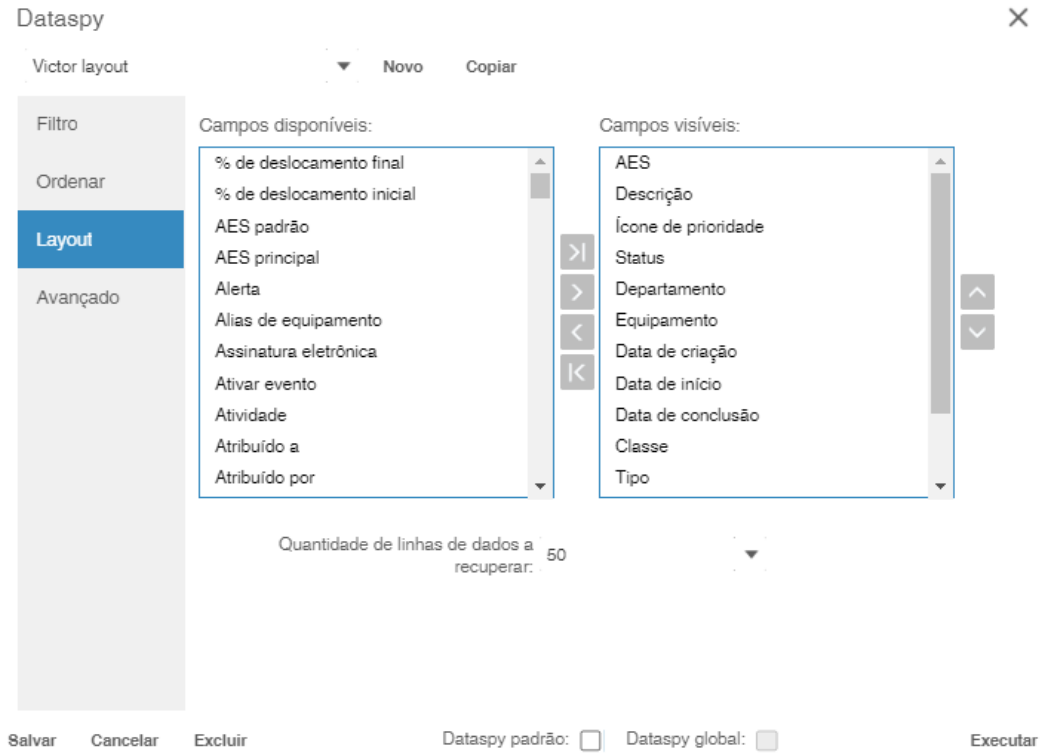
Na Usina, o sistema utilizado para criação da OS é o *Infor EAM*, que utiliza a nominação para ordem de serviço de AES (Autorização de Execução de Serviço). Este armazena todos os dados de histórico de falhas e de manutenções a serem realizadas nos ativos, otimizando a operação de manutenção para atingir alto nível de eficiência.

Por meio desse programa foram colhidos os principais dados para aplicação deste trabalho, que são: quantidade de falhas intervencionistas da máquina, tempo

realizado na manutenção e horas trabalhadas pela máquina. No caso deste último dado, ele é retirado do RDO – Rotina Diária Operacional, cujo relatório é gerado a partir da adição diária do horímetro da máquina ao software.

A figura 7 mostra a seleção dos campos disponíveis para execução da pesquisa chamada de *Dataspy*, pelo software *Infor*.

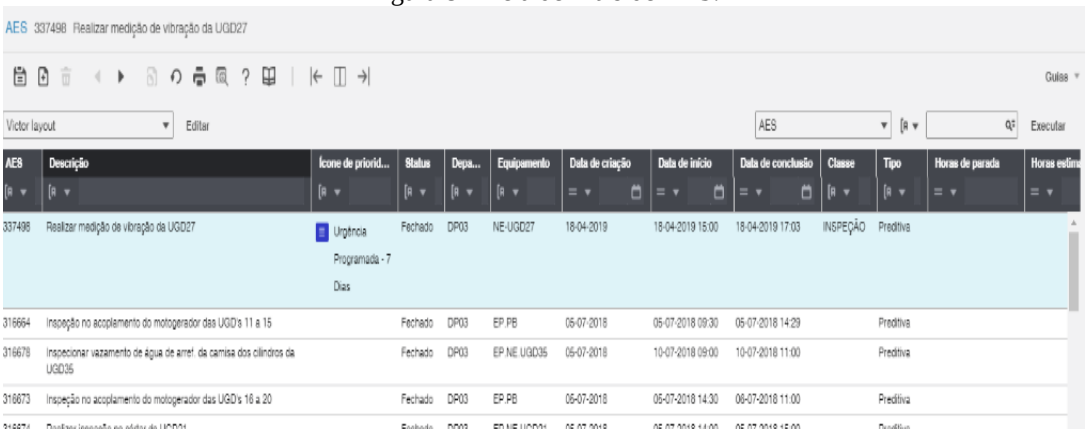
Figura 7 – Dataspy do Infor.



Fonte: EPASA 2019, adaptada pelo autor.

Após escolha dos campos, as AES podem ser filtradas de acordo com a necessidade da pesquisa, como demostra na figura 8.

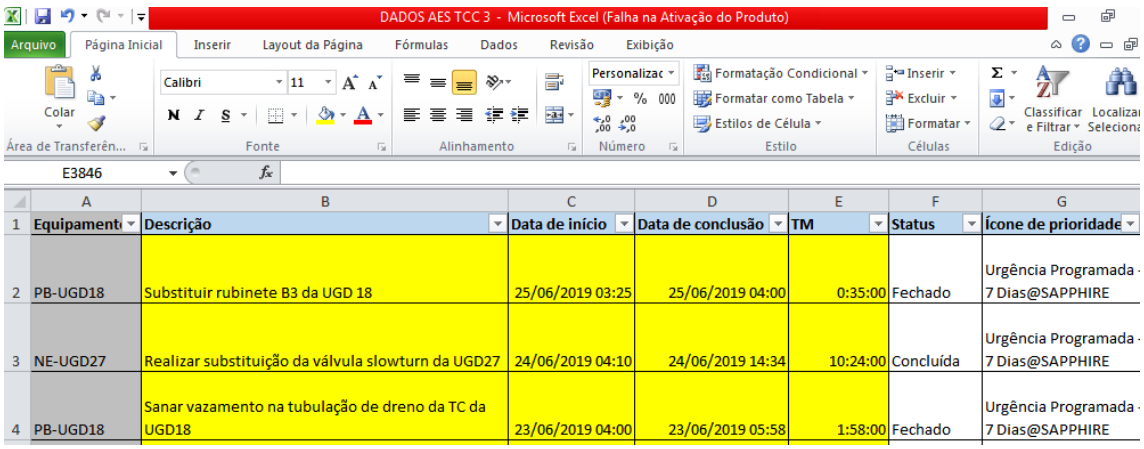
Figura 8 – Tela de filtro de AES.



Fonte: EPASA 2019, adaptada pelo autor.

O programa em questão também permite que esses dados sejam transferidos para o *Office Excel*, que auxilia na realização de filtragem e coleta de dados para gerar os cálculos. Sua interface é visualizada na figura 9.

Figura 9 – Dados de AES convertidos para Excel.



	A	B	C	D	E	F	G
1	Equipament	Descrição	Data de início	Data de conclusão	TM	Status	Ícone de prioridade
2	PB-UGD18	Substituir rubinete B3 da UGD 18	25/06/2019 03:25	25/06/2019 04:00	0:35:00	Fechado	Urgência Programada 7 Dias@SAPPHIRE
3	NE-UGD27	Realizar substituição da válvula slowturn da UGD27	24/06/2019 04:10	24/06/2019 14:34	10:24:00	Concluída	Urgência Programada 7 Dias@SAPPHIRE
4	PB-UGD18	Sanar vazamento na tubulação de dreno da TC da UGD18	23/06/2019 04:00	23/06/2019 05:58	1:58:00	Fechado	Urgência Programada 7 Dias@SAPPHIRE

Fonte: EPASA 2019, adaptada pelo autor.

4.5 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES E META

Após estudo teórico e levantamento de dados, foi possível calcular MTBF, MTTR e Disponibilidade em todas as 38 UGDs, durante os meses do ano de 2018 e os meses de janeiro a junho do ano de 2019. Os cálculos foram realizados através do *Office Excel*. Este tipo de aplicação pode ser realizado mês a mês ou de forma acumulativa, devido à existência de meses que não há geração,ou seja não há variação no horímetro. O método acumulativo foi o mais ideal para essa aplicação, sendo os dados utilizados nas equações (1), (2), (3), (4) e (5).

É notável a falta dos cálculos das UGD20 e UGD40, que ocorre devido a essas máquinas serem de modelo diferente (MAN modelo 9L32/40). Tendo em vista que esses métodos devem ser realizados para análise em máquinas de mesmo modelo (MAN modelo 18V32/40), essas unidades foram desconsideradas.

A Meta de cada índice pode ser estabelecida com padrões utilizados por outras empresas ou ainda ser acordada uma meta desejável pelos os gestores de manutenção da própria empresa. Neste trabalho, foi determinado como Meta um valor próximo ao equipamento de melhor desempenho em cada índice.

Através das tabelas 2 a 9, elaboradas pelo autor, podemos ver os índices gerados de MTBF, MTTR, Disponibilidade e Confiabilidade. Para uma melhor visualização, na tabela estão destacados o melhor e pior valor relacionado ao acumulado mensal. Os valores em cor vermelha representam os piores índices e o em amarelo os melhores. Para uma melhor organização, foram criadas tabelas separadas para UTE PB (TERMOPARAÍBA) e UTE NE (TERMONORDESTE), onde cada tabela mostra o desempenho do ano de 2018 e 2019 até junho.

A Meta estabelecida para MTBF foi definida de acordo com os valores mais altos de MTBF, sendo selecionada uma meta 200 horas para o tempo médio de manutenção em relação ao valor final acumulado. O MTBF foi calculado com a somatória do horímetro acumulada sobre a somatória de manutenções corretivas, que deixam a máquina fora de operação. As tabelas 2 e 3 contêm a aplicação do índice de MTBF durante o ano de 2018 e 2019, através da execução da equação (1) com o auxílio do *Office Excel*.

Tabela 2 – Índice MTBF da TERMOPARAÍBA.

UGD01	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	48	91	140	168	131	118	109	118	165	183	191	201
2019	35	71	45	74	70	66						
UGD02	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	25	55	88	80	76	78	82	122	157	161	133	127
2019	44	147	118	154	201	146						
UGD03	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	184	113	139	126	95	82	92	128	135	132	147	153
2019	114	484	739	625	535	201						
UGD04	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	44	83	99	107	79	74	65	103	105	97	105	107
2019	38	75	78	127	138	117						
UGD05	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	60	100	126	115	89	78	75	96	116	119	122	131
2019	50	167	159	252	226	144						
UGD06	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	178	240	432	103	82	72	67	102	131	134	122	127
2019	149	422	703	562	496	248						
UGD07	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	93	123	147	132	120	100	89	123	119	112	115	125
2019	13	38	41	65	71	63						
UGD08	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	19	64	87	87	70	57	55	88	111	120	117	120
2019	112	240	251	173	224	196						
UGD09	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	164	94	133	139	114	102	89	134	174	189	210	212
2019	110	206	246	403	522	392						
UGD10	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	57	96	172	207	119	90	75	103	109	118	125	136
2019	111	214	309	325	444	333						
UGD11	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	43	56	77	73	64	56	51	75	87	94	100	102
2019	111	449	735	398	375	300						
UGD12	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	77	124	179	89	77	78	70	104	122	120	121	126
2019	105	234	168	120	143	107						
UGD13	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	153	186	358	297	309	233	263	148	193	210	214	216
2019	105	427	351	373	358	358						
UGD14	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	27	55	101	93	97	87	83	132	119	117	124	133
2019	32	113	187	314	326	271						
UGD15	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	29	63	87	84	73	73	76	80	90	93	102	99
2019	51	151	237	342	231	198						
UGD16	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	70	60	112	84	58	48	48	57	78	85	95	99
2019	98	423	157	181	245	136						
UGD17	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	26	43	72	83	78	66	55	80	106	115	112	111
2019	28	107	132	146	148	84						
UGD18	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	140	155	229	121	111	111	101	113	116	126	132	126
2019	67	375	549	433	392	107						
UGD19	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	26	49	77	60	62	54	59	98	107	115	105	109
2019	99	227	229	275	147	102						

Tabela 3 – Índice MTBF da TERMONORDESTE.

UGD21	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	27	49	82	74	61	53	36	58	74	78	83	88
2019	41	212	106	74	94	94						
UGD22	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	0	6	18	22	22	20	23	46	61	64	66	67
2019	51	196	350	385	379	303						
UGD23	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	49	41	55	63	66	57	43	74	94	87	94	98
2019	101	226	123	148	168	168						
UGD24	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	77	165	133	139	124	109	76	107	133	145	136	141
2019	102	228	107	133	143	131						
UGD25	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	45	39	50	54	57	53	49	88	107	106	108	113
2019	21	42	72	114	137	137						
UGD26	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	34	53	69	78	81	60	56	79	84	91	97	89
2019	44	146	221	354	458	172						
UGD27	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	51	85	84	65	68	69	51	83	99	82	75	78
2019	20	76	124	100	98	78						
UGD28	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	78	91	88	79	70	70	61	70	83	76	82	82
2019	105	148	157	274	286	143						
UGD29	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	43	36	51	52	48	43	47	67	77	83	89	94
2019	56	386	619	170	195	137						
UGD30	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	144	68	111	118	123	98	85	130	112	115	115	95
2019	35	63	48	70	88	79						
UGD31	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	61	62	98	97	100	74	65	58	71	75	78	82
2019	114	127	91	136	183	163						
UGD32	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	182	502	892	357	370	285	182	285	320	352	389	372
2019	111	208	175	243	265	227						
UGD33	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	151	92	169	204	175	178	172	211	206	210	216	204
2019	86	223	182	242	257	192						
UGD34	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	54	91	168	128	118	99	102	163	193	213	236	219
2019	114	377	655	372	277	139						
UGD35	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	42	102	159	163	169	148	105	104	116	125	131	135
2019	24	72	83	108	132	57						
UGD36	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	86	93	140	145	117	90	93	101	107	118	120	111
2019	38	121	96	156	175	175						
UGD37	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	42	85	96	105	81	71	80	122	159	164	170	164
2019	110	231	332	219	289	241						
UGD38	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	84	119	143	146	151	155	135	176	178	192	198	178
2019	113	461	241	172	194	103						
UGD39	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	163	120	143	173	148	133	109	175	224	246	226	221
2019	56	240	388	614	261	224						

A equipe de planejamento deve, a partir da análise destas informações, selecionar um valor ótimo, de forma a impulsionar todas as atividades do setor para atingir a meta, evitando assim os atrasos e, consequentemente, as perdas na produção das unidades. A Meta estabelecida foi definida com o padrão dos valores mais altos de MTTR, sendo selecionada uma meta de 3 horas para o tempo médio de manutenção em relação ao valor final acumulado.

Vale lembrar que o MTTR é o tempo médio para reparo, que é a razão da somatória dos tempos de reparo sobre o número de intervenções realizadas. Dados esses retirados da plataforma *Infor*.

As tabelas 4 e 5 mostram a aplicação do índice de MTTR durante o ano de 2018 e 2019, após a execução da equação (2), realizada através do *Office Excel*.

Tabela 4 – Índice MTTR da TERMOPARAÍBA.

UGD01	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	18	29	25	25	19	18	17	16	16	16	15	15
2019	3	7	7	7	6	6						
UGD02	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	7	6	6	7	6	6	6	6	6	6	6	7
2019	6	4	8	7	7	6						
UGD03	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	0	34	24	19	15	14	14	13	16	15	15	15
2019	1	1	1	1	2	3						
UGD04	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	3	3	5	9	12	12	12	12	10	10	10	10
2019	2	3	3	3	3	3						
UGD05	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	3	3	2	4	3	3	3	3	3	3	3	3
2019	3	3	4	4	4	4						
UGD06	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	1	1	1	31	24	21	18	17	17	17	14	13
2019	0	0	11	8	9	6						
UGD07	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	2	2	3	4	4	3	4	4	26	26	24	24
2019	3	3	7	6	6	6						
UGD08	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	45	36	24	20	19	16	14	13	13	13	11	11
2019	5	4	4	16	16	14						
UGD09	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	1	8	7	9	12	11	9	8	8	8	8	8
2019	5	6	5	5	5	4						
UGD10	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	4	8	8	8	11	9	12	11	10	10	9	9
2019	0	4	4	3	3	3						
UGD11	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	12	9	6	5	5	5	5	5	4	4	4	4
2019	0	4	4	3	2	2						
UGD12	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	4	4	3	12	11	11	9	8	8	10	10	10
2019	1	4	4	3	3	3						
UGD13	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	6	4	4	4	4	3	3	5	5	5	5	6
2019	0	16	10	9	7	7						
UGD14	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	9	9	8	7	7	7	6	6	5	5	5	5
2019	4	4	4	4	3	3						
UGD15	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	4	7	8	8	7	7	7	7	7	6	6	8
2019	4	3	3	3	3	5						
UGD16	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	3	8	6	7	6	8	8	11	11	11	11	11
2019	0	3	2	2	2	3						
UGD17	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	5	5	4	6	5	5	10	10	10	10	11	11
2019	3	3	3	4	4	4						
UGD18	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	1	2	2	2	2	2	2	8	7	7	7	7
2019	0	0	0	4	3	3						
UGD19	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	3	2	4	7	7	9	8	8	8	8	8	8
2019	2	2	2	3	5	4						

Tabela 5 – Índice MTTR da TERMONORDESTE.

UGD21	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	4	4	4	3	4	4	7	7	7	7	7	7
2019	1	1	3	10	9	9						
UGD22	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	82	23	24	21	19	19	18	17	17	16	15	14
2019	3	3	3	6	8	8						
UGD23	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	9	11	10	10	10	9	9	9	9	10	10	10
2019	5	5	3	4	6	6						
UGD24	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	3	3	8	10	10	9	8	7	7	7	6	6
2019	5	3	5	5	4	4						
UGD25	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	7	6	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5
2019	2	6	6	5	5	5						
UGD26	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	2	2	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3
2019	4	3	3	3	3	11						
UGD27	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	2	3	6	7	7	7	5	5	5	13	12	11
2019	3	3	3	33	25	21						
UGD28	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	3	2	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6
2019	2	3	2	2	2	4						
UGD29	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	5	7	9	9	9	8	8	8	9	9	8	8
2019	0	0	0	5	4	4						
UGD30	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	1	8	8	7	7	7	8	8	8	8	8	9
2019	4	3	8	7	7	6						
UGD31	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	11	7	10	11	11	10	8	10	9	10	9	9
2019	0	2	7	6	6	6						
UGD32	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	1	1	1	5	5	5	3	3	3	3	3	3
2019	1	1	2	2	2	2						
UGD33	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	3	3	3	6	6	6	6	6	5	5	5	5
2019	2	2	2	1	2	2						
UGD34	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	1	2	2	5	8	7	7	7	6	6	6	6
2019	0	0	8	6	5	4						
UGD35	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	2	2	2	3	3	3	10	7	1	1	1	1
2019	6	4	4	4	4	4						
UGD36	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	2	5	4	6	5	5	6	7	7	7	7	6
2019	3	3	3	3	3	3						
UGD37	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	2	3	3	5	8	7	7	8	8	8	7	7
2019	3	4	4	3	3	4						
UGD38	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	4	3	7	6	6	6	5	5	4	4	5	4
2019	2	2	1	5	7	5						
UGD39	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	0	3	6	6	2	3	3	3	3	3	2	2
2019	4	4	4	4	12	11						

Com os resultados de MTBF e MTTR, é possível calcular a Disponibilidade dos mesmos. Este indicador exibe o percentual de tempo ao qual o equipamento está em condições de uso pelo time de produção.

Para a Meta do índice de disponibilidade, foi estabelecida uma porcentagem acima do padrão da classe mundial, que é de 90%. Para este trabalho, foi considerada uma meta de 95%, com referência em outros indicadores da empresa.

O cálculo para se obter a razão de tempo em que se terá a máquina em funcionamento, expressa-se através do equacionamento do MTBF somado ao MTTR. Nas tabelas 6 e 7 estão as aplicações do índice de Disponibilidade durante os anos de 2018 e 2019, resultantes da equação (3), realizada com o auxílio do *Office Excel*.

Tabela 6 – Índice DISP da TERMOPARAÍBA.

UGD01	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	72,5%	75,6%	85,0%	87,2%	87,0%	87,0%	86,8%	88,2%	91,3%	92,0%	92,8%	93,1%
2019	91,6%	90,8%	87,2%	91,8%	92,4%	92,3%						
UGD02	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	78,7%	90,2%	93,6%	92,1%	92,3%	92,4%	93,1%	95,4%	96,4%	96,4%	95,9%	95,1%
2019	88,3%	97,2%	93,3%	95,6%	96,6%	95,8%						
UGD03	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	100,0%	76,9%	85,3%	86,8%	86,6%	85,0%	86,5%	90,8%	89,2%	89,5%	90,5%	91,2%
2019	99,7%	99,9%	100,0%	100,0%	99,6%	98,6%						
UGD04	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	94,5%	97,0%	95,4%	92,2%	87,2%	85,8%	85,0%	89,9%	91,6%	90,8%	91,4%	91,7%
2019	94,0%	96,0%	96,0%	97,5%	98,0%	97,6%						
UGD05	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	95,2%	97,4%	98,3%	96,7%	96,3%	96,2%	96,3%	97,2%	97,7%	97,7%	97,8%	98,0%
2019	93,6%	98,0%	97,7%	98,6%	98,3%	97,5%						
UGD06	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	99,4%	99,5%	99,7%	76,9%	77,3%	77,6%	78,8%	85,6%	88,5%	89,0%	89,8%	90,4%
2019	100,0%	100,0%	98,4%	98,5%	98,3%	97,7%						
UGD07	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	97,8%	98,7%	97,8%	97,3%	97,1%	96,7%	95,2%	96,5%	81,9%	81,4%	82,8%	83,9%
2019	81,6%	92,1%	86,1%	91,0%	92,0%	91,5%						
UGD08	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	29,6%	63,7%	78,1%	81,0%	78,5%	78,5%	80,0%	87,1%	89,6%	90,3%	91,1%	91,5%
2019	95,7%	98,2%	98,4%	91,6%	93,4%	93,3%						
UGD09	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	99,3%	92,4%	95,0%	93,7%	90,7%	90,6%	91,2%	94,4%	95,6%	96,0%	96,3%	96,6%
2019	96,0%	97,2%	98,1%	98,9%	99,1%	99,0%						
UGD10	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	92,7%	92,0%	95,4%	96,1%	91,2%	90,5%	86,6%	90,5%	91,8%	92,4%	93,1%	93,6%
2019	100,0%	98,4%	98,9%	99,1%	99,3%	99,2%						
UGD11	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	78,8%	86,8%	92,3%	93,2%	92,4%	91,4%	90,8%	94,2%	95,3%	95,6%	96,0%	96,2%
2019	100,0%	99,1%	99,5%	99,3%	99,4%	99,2%						
UGD12	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	95,6%	96,9%	98,2%	88,5%	87,8%	87,9%	88,2%	92,6%	93,7%	92,0%	92,5%	92,7%
2019	98,9%	98,2%	97,8%	97,9%	98,2%	97,4%						
UGD13	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	96,2%	97,8%	98,8%	98,8%	98,9%	98,6%	98,8%	96,6%	97,4%	97,6%	97,8%	97,4%
2019	100,0%	96,4%	97,2%	97,7%	98,2%	98,2%						
UGD14	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	75,9%	86,5%	92,7%	92,6%	92,9%	92,3%	92,9%	95,6%	95,7%	95,9%	96,3%	96,5%
2019	90,2%	96,9%	98,1%	98,9%	99,0%	98,8%						
UGD15	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	86,9%	90,2%	91,8%	91,1%	91,1%	91,2%	92,1%	92,4%	93,1%	93,5%	94,0%	92,7%
2019	92,2%	97,9%	98,7%	99,1%	98,8%	97,4%						
UGD16	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	95,8%	88,6%	94,6%	92,2%	91,1%	85,2%	86,0%	83,4%	87,2%	88,2%	89,2%	90,0%
2019	100,0%	99,3%	98,5%	98,9%	99,2%	98,0%						
UGD17	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	83,8%	89,8%	94,8%	93,4%	93,6%	92,9%	84,3%	88,5%	91,1%	91,8%	90,7%	91,3%
2019	89,1%	97,6%	98,1%	97,5%	97,5%	95,6%						
UGD18	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	99,0%	98,6%	99,3%	98,1%	98,0%	98,0%	98,0%	93,1%	94,4%	94,8%	95,2%	95,0%
2019	100,0%	100,0%	100,0%	99,0%	99,3%	97,0%						
UGD19	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	90,9%	95,5%	95,1%	89,5%	89,9%	85,9%	87,4%	92,4%	93,3%	93,7%	92,6%	93,1%
2019	97,6%	99,2%	99,2%	99,0%	97,0%	96,3%						

Tabela 7 – Índice DISP da TERMONORDESTE.

UGD21	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	88,3%	93,3%	95,7%	95,7%	94,4%	93,5%	83,7%	89,6%	91,9%	91,4%	92,1%	92,6%
2019	97,1%	99,4%	97,3%	88,2%	91,0%	91,0%						
UGD22	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	0,0%	21,7%	43,2%	51,6%	52,6%	51,8%	56,5%	72,5%	78,4%	79,8%	81,4%	82,5%
2019	95,3%	98,7%	99,3%	98,4%	97,9%	97,4%						
UGD23	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	84,9%	78,5%	84,1%	86,4%	86,9%	86,7%	82,7%	89,2%	91,4%	89,6%	90,4%	90,9%
2019	95,3%	97,8%	98,0%	97,5%	96,7%	96,7%						
UGD24	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	96,0%	98,1%	94,4%	93,1%	92,7%	92,6%	90,6%	94,2%	95,2%	95,5%	95,7%	96,0%
2019	95,7%	98,8%	95,2%	96,6%	97,2%	97,2%						
UGD25	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	86,6%	86,9%	87,3%	88,6%	89,0%	88,8%	88,9%	93,5%	94,8%	95,0%	95,3%	95,6%
2019	90,1%	87,7%	92,4%	95,5%	96,2%	96,2%						
UGD26	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	93,5%	95,5%	93,5%	94,6%	94,8%	93,5%	93,9%	96,2%	96,6%	96,9%	97,1%	97,0%
2019	92,3%	98,3%	98,8%	99,3%	99,4%	94,2%						
UGD27	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	95,3%	96,4%	92,9%	89,9%	90,3%	90,3%	90,5%	94,2%	95,2%	86,3%	86,5%	87,2%
2019	87,7%	96,3%	97,7%	75,2%	79,6%	78,5%						
UGD28	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	96,7%	97,5%	93,8%	93,4%	91,9%	91,9%	92,1%	93,5%	94,6%	92,3%	93,0%	93,2%
2019	97,9%	98,3%	98,6%	99,2%	99,3%	97,4%						
UGD29	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	43	36	51	52	48	43	47	67	77	83	89	94
2019	100,0%	100,0%	100,0%	97,4%	98,0%	97,5%						
UGD30	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	99,2%	89,1%	93,2%	94,3%	94,5%	93,1%	91,2%	94,4%	93,3%	93,2%	93,3%	91,8%
2019	90,4%	95,9%	85,4%	90,7%	92,8%	92,5%						
UGD31	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	85,0%	89,3%	90,4%	89,8%	90,1%	87,9%	88,6%	85,2%	88,2%	88,6%	89,5%	90,0%
2019	100,0%	98,3%	92,7%	95,5%	96,6%	96,4%						
UGD32	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	99,3%	99,7%	99,8%	98,6%	98,7%	98,2%	98,3%	98,9%	99,1%	99,2%	99,3%	99,3%
2019	99,1%	99,4%	98,7%	99,1%	99,3%	99,1%						
UGD33	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	98,4%	96,8%	98,2%	97,0%	96,7%	96,7%	96,7%	97,4%	97,6%	97,8%	97,9%	97,7%
2019	97,7%	99,2%	99,1%	99,4%	99,3%	99,0%						
UGD34	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	97,9%	97,5%	98,6%	95,9%	93,9%	93,5%	93,9%	96,1%	96,9%	97,2%	97,4%	97,4%
2019	100,0%	100,0%	98,7%	98,4%	98,1%	97,0%						
UGD35	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	94,7%	97,8%	98,7%	98,1%	98,2%	98,1%	91,3%	93,3%	99,4%	99,4%	99,3%	99,3%
2019	81,3%	94,2%	95,6%	96,0%	96,9%	92,8%						
UGD36	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	98,0%	95,3%	97,1%	96,1%	95,9%	94,3%	94,4%	93,5%	93,8%	94,3%	94,6%	94,6%
2019	91,7%	97,7%	96,7%	97,9%	98,3%	98,3%						
UGD37	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	94,8%	96,9%	97,2%	95,3%	90,9%	90,7%	91,6%	94,1%	95,4%	95,6%	95,9%	96,1%
2019	97,1%	98,1%	98,7%	98,7%	99,0%	98,6%						
UGD38	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	95,8%	97,6%	95,4%	96,1%	96,2%	96,3%	96,3%	97,2%	97,7%	97,8%	97,8%	97,7%
2019	98,3%	99,6%	99,4%	97,4%	96,7%	95,4%						
UGD39	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	100,0%	97,5%	95,8%	96,5%	98,6%	98,0%	97,7%	98,6%	98,9%	99,0%	99,0%	99,0%
2019	94,1%	98,6%	99,1%	99,4%	95,7%	95,5%						

Por fim, a Confiabilidade é um cálculo probabilístico com base nos históricos de falha do equipamento. Ela é projetada para um cenário futuro, logo, seu cálculo só foi aplicado no ano de 2019, no último mês levantado, junho. Neste método foi simulado uma estimativa de geração de uma semana com 16h diárias de máquina ligada, totalizando aproximadamente t = 115 horas.

Com os valores do MTBF e tempo de projeção definidos, são utilizadas as equações de taxa de falha (4) e confiabilidade (5) para realização desse indicador. Na tabela 8 podemos ver a aplicação dos cálculos do índice de CONF – confiabilidade.

Tabela 8- Índice de Confiabilidade em relação ao acumulado de Junho de 2019

EQUIPAMENTO	CONFIABILIDADE
UGD01	18%
UGD02	46%
UGD03	56%
UGD04	37%
UGD05	45%
UGD06	63%
UGD07	16%
UGD08	56%
UGD09	75%
UGD10	71%
UGD11	68%
UGD12	34%
UGD13	73%
UGD14	65%
UGD15	56%
UGD16	43%
UGD17	25%
UGD18	34%
UGD19	32%
UGD21	29%
UGD22	68%
UGD23	50%
UGD24	41%
UGD25	43%
UGD26	51%
UGD27	23%
UGD28	45%
UGD29	43%
UGD30	23%
UGD31	49%
UGD32	60%
UGD33	55%
UGD34	44%
UGD35	13%
UGD36	52%
UGD37	62%
UGD38	33%
UGD39	60%

Fonte: Autor

5. RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados encontrados podem ser visualizados através das aplicações dos índices, presentes nas tabelas 2 a 9, e analisados a partir dos gráficos de performance das UGD, apresentados a seguir. Para a criação dos mesmos, foram selecionadas as melhores e piores máquinas em relação ao desempenho em cada indicador.

O MTBF é uma medida básica da confiabilidade, indicando a frequência de falha de um sistema; quanto maior o seu MTBF, maior será a confiabilidade do seu equipamento. Se após a manutenção preventiva o seu indicador aumentou, isso mostra melhora na qualidade de seus processos de manutenção.

O MTTR indica a eficiência na ação corretiva de um processo, portanto o esforço deve ser exatamente o contrário do MTBF: a meta deve ser reduzi-lo ao máximo para evitar a perda de produtividade por indisponibilidade de sistemas. Menor tempo médio de reparo indica que a manutenção possui respostas rápidas para problemas em seus processos, o que demonstra eficiência.

Em relação à disponibilidade, esta reflete a eficiência e a velocidade do pessoal de manutenção, bem como sua experiência, nível de treinamento e manutenibilidade do equipamento ou sistema. Conseguir a elevação do MTBF e a redução do MTTR são formas de garantir a estabilidade desse indicador.

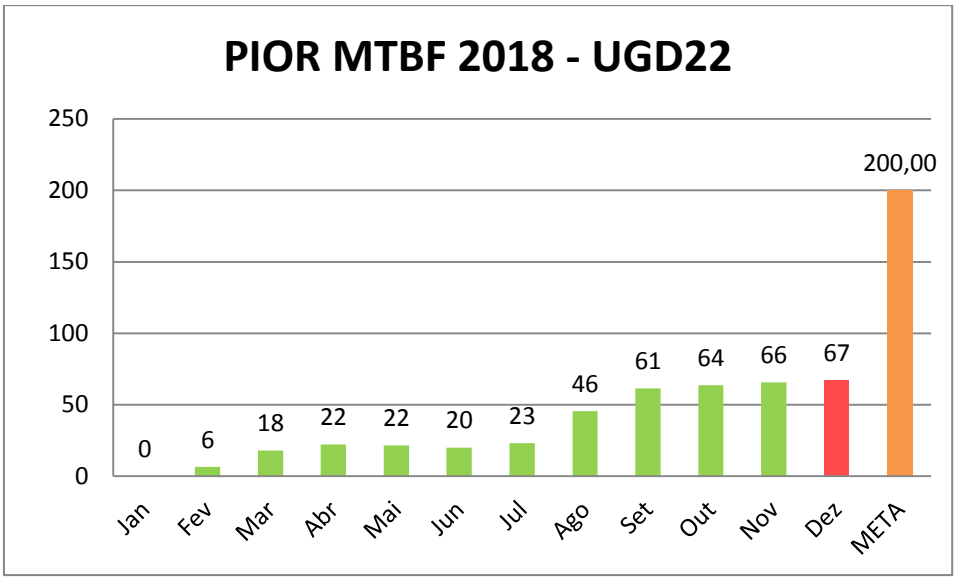
A confiabilidade, por sua vez, está proporcionalmente conectada ao MTBF. Logo, quando se tem elevação do MTBF, os equipamentos terão melhores garantias de operação e produtividade.

Nessas análises, o último mês é o acumulado total durante o ano todo, onde a barra de cor vermelha representa o pior desempenho acumulado, já a de cor amarelo representa a de melhor desempenho acumulada. Podemos destacar também a meta estipulada através da barra e linha tracejada laranja. É importante enfatizar que os índices de 2019 se encontram incompletos, devido a coleta de dados ter sido realizada até o mês de junho.

No gráfico 1, é destacado o pior índice de MTBF de 2018, o da UGD22, que foi a máquina que apresentou o pior rendimento, com um total de 67 horas, muito distante da meta 200h. Contudo, mesmo sendo a UGD de menor desempenho, é visível um crescimento com passar dos meses, indicando que estão sendo realizadas manutenções

preventivas. Após análise dos dados, foi identificada a manutenção preventiva de 1.500h durante o final dos meses de fevereiro e junho, havendo um aumento relevante do MTBF em seguida.

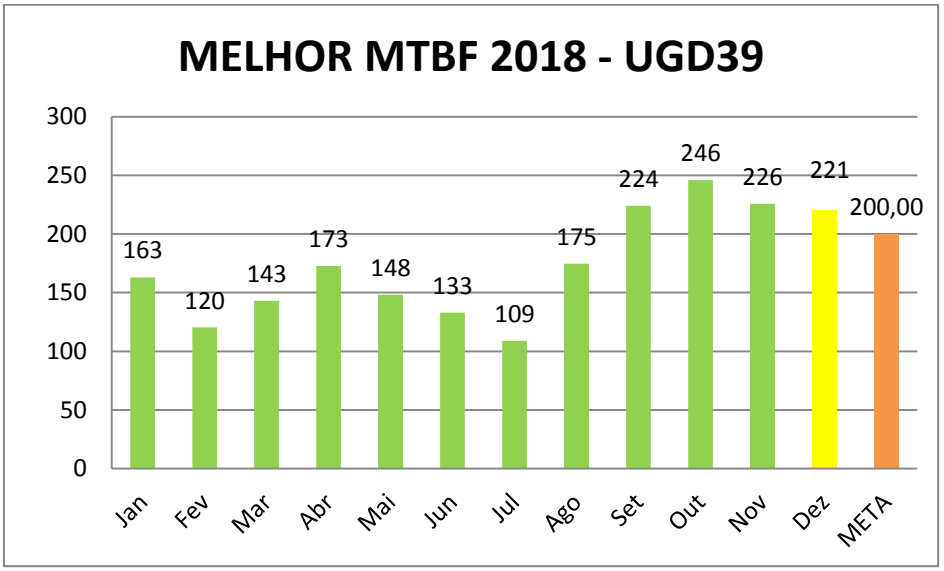
Gráfico 1 – O Pior MTBF durante o ano de 2018 foi a UGD22.



Fonte: Autor.

No gráfico 2, destaca-se o melhor índice de MTBF de 2018, alcançado pela UGD39, evidenciando seu melhor rendimento, com um total de 221 horas, acima da meta de 200h. Nesta UGD, mesmo ocorrendo oscilações durante os meses, os valores sempre se mantiveram altos. Foi realizada manutenção preventiva no início de setembro e dezembro.

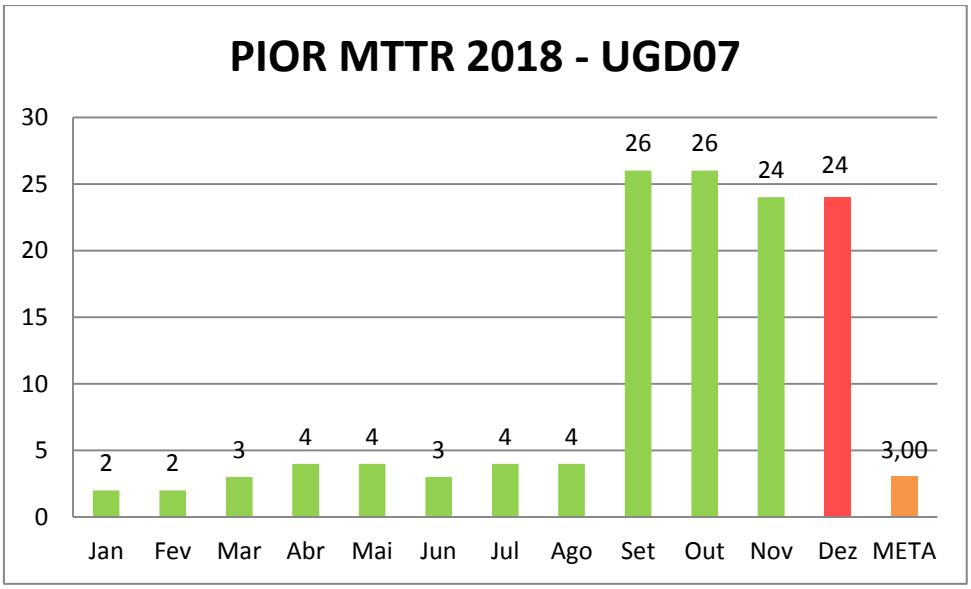
Gráfico 2 – O melhor MTBF durante o ano de 2018 foi a UGD39.



Fonte: Autor.

O gráfico 3 apresenta o pior índice de MTTR de 2018, da UGD07, que apresentou o pior rendimento, conseguindo um total de 24 horas, bem mais que a meta de apenas 3 horas. Vale destacar que no mês de setembro ocorreu uma falha atípica de longa duração. Também é importante frisar que geralmente quando a máquina ocorre uma manutenção corretiva de longa tempo, se utiliza como estratégia a realização de manutenção preventiva em paralelo, sendo possível perceber um decréscimo no MTTR após a efetivação da mesma.

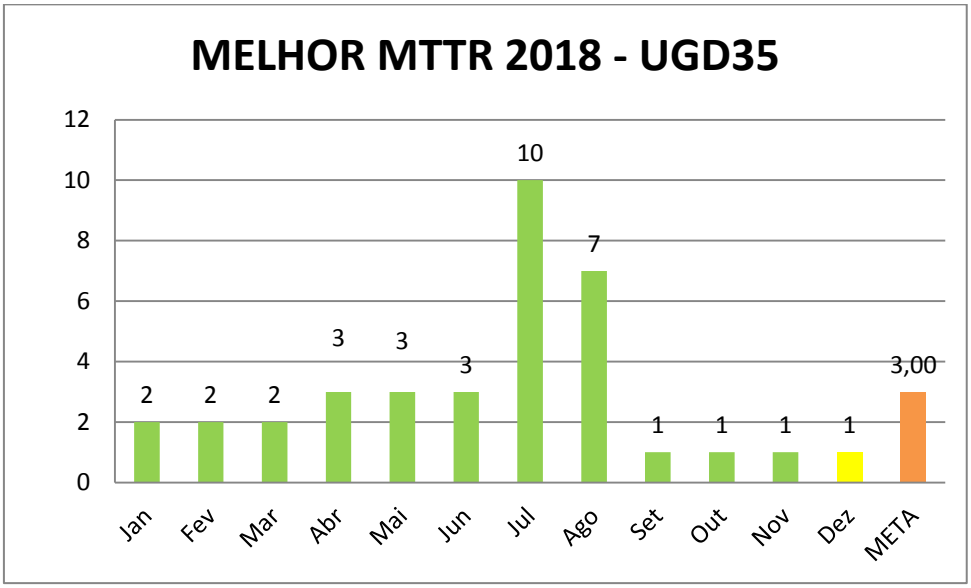
Gráfico 3 – O Pior MTTR durante o ano de 2018 foi a UGD07.



Fonte: Autor.

No gráfico 4, está o melhor índice de MTTR de 2018, da UGD35, tendo ela apresentado o melhor rendimento, com um total de 1 hora, valor abaixo da meta 3 horas. Esse resultado é um indicativo de que as atividades foram executadas em tempo hábil.

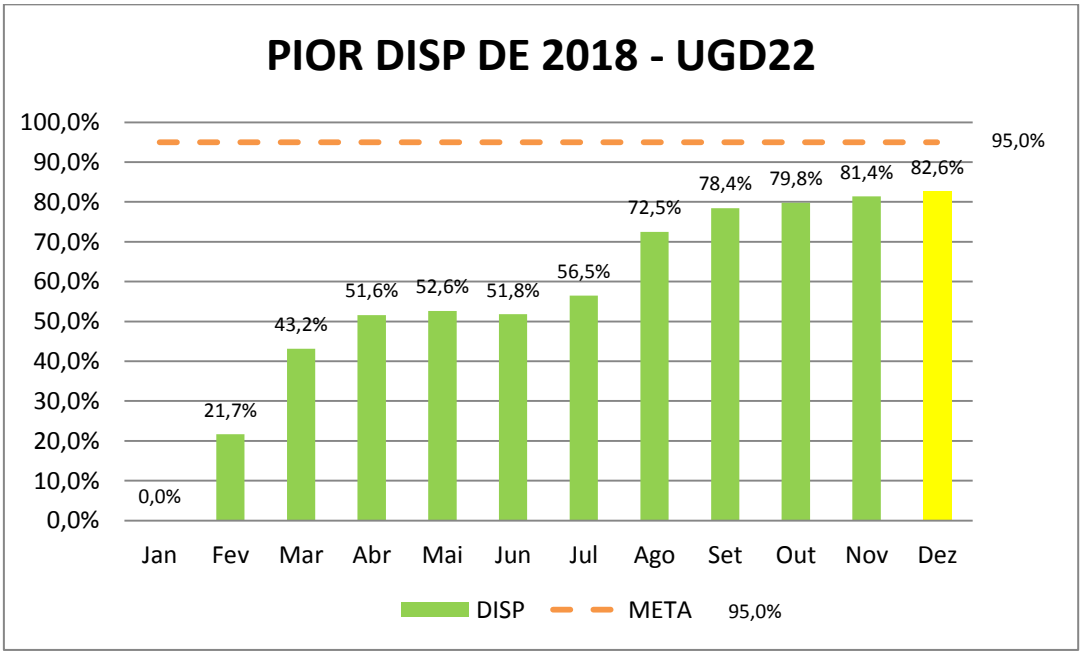
Gráfico 4 – O melhor MTTR durante o ano de 2018 foi a UGD35



Fonte: Autor.

No gráfico 5, destaca-se o pior índice de Disponibilidade de 2018, o da UGD22, cujo rendimento foi o menor, mantando-se abaixo da meta de 95% em todos os meses de 2018, obtendo um resultado final de 82,6%. Nesta máquina, ocorreu uma manutenção corretiva, na qual foi necessário trocar o eixo virabrequim, o que deixou a máquina indisponível por todo o mês de janeiro. Vale salientar que esta máquina também obteve o pior rendimento em relação ao MTBF.

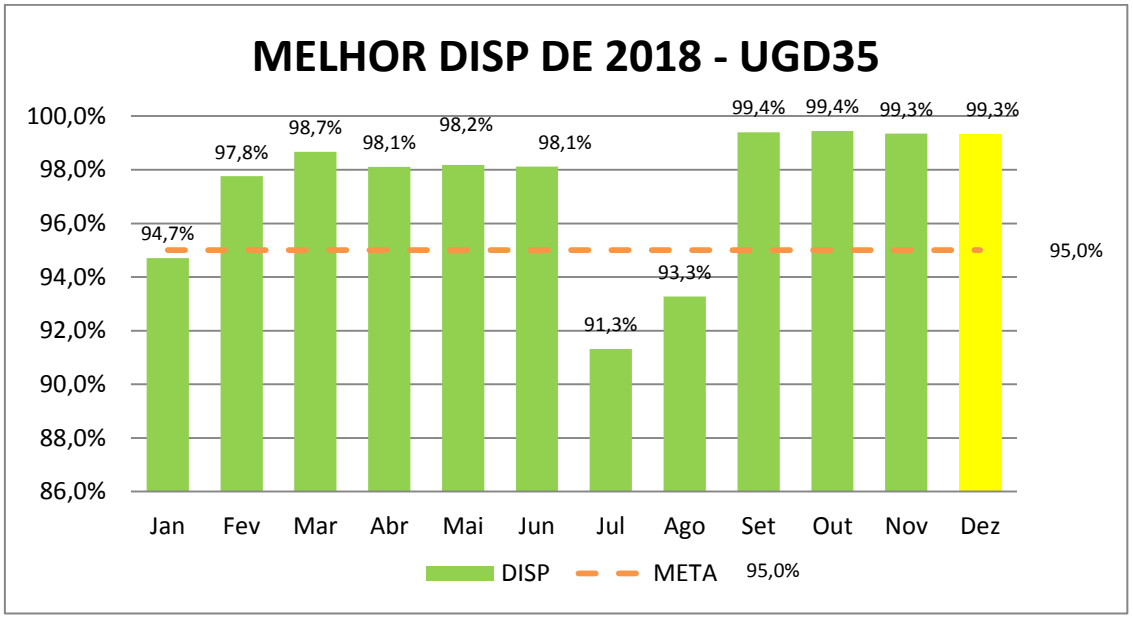
Gráfico 5 – A pior Disponibilidade durante o ano de 2018 foi a UGD22.



Fonte: Autor.

No gráfico 6, é destacado o melhor índice de Disponibilidade de 2018, obtido pela máquina que apresentou o melhor rendimento, a UGD35, conseguindo um total de 99,3%, meta 95% estabelecida para o ano. É importante ressaltar que esta máquina também obteve o melhor rendimento em relação ao MTTR.

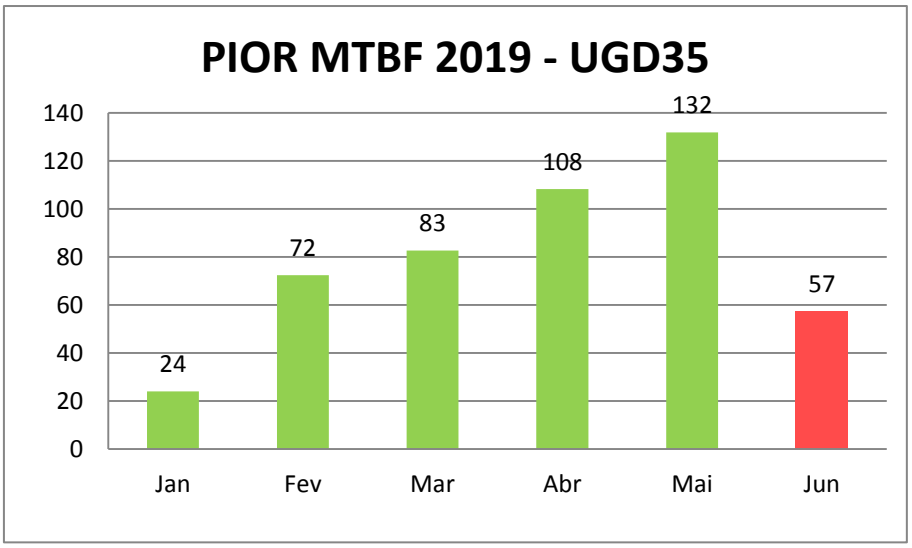
Gráfico 6 – A melhor Disponibilidade durante o ano de 2018 foi a UGD36.



Fonte: Autor.

O gráfico 7 traz o pior índice de MTBF durante o ano de 2019 até junho, apresentado pela UGD 35, a máquina de pior rendimento no aspecto, com acumulado muito abaixo em relação aos outros motores, apenas 57 horas. Vale lembrar que a UGD35 foi a máquina de melhor Disponibilidade no ano de 2018, provando que, independentemente de resultados anteriores, se houver negligência de manutenção, a máquina pode sofre uma queda em seu desempenho.

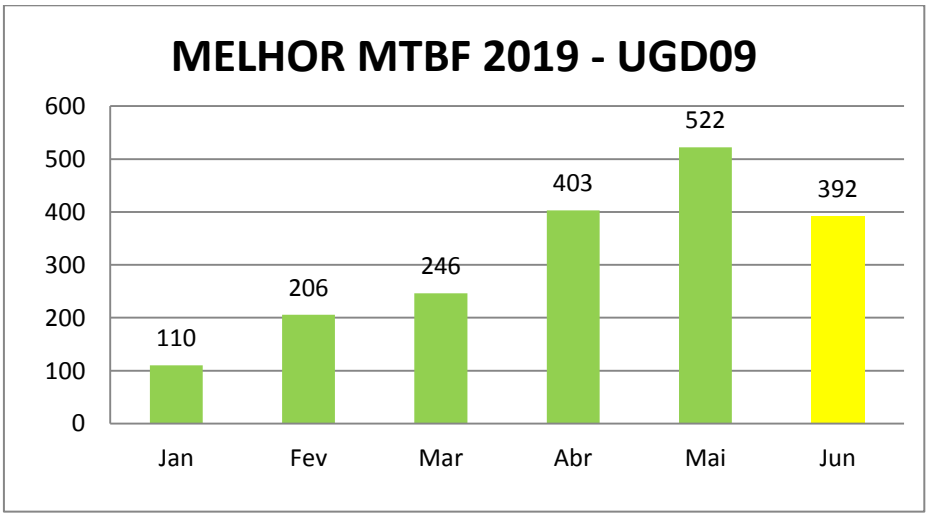
Gráfico 7 – O Pior MTBF durante o ano de 2019 até Junho é a UGD35.



Fonte: Autor.

No gráfico 8, é mostrado o melhor índice de MTBF durante o ano de 2019 até Junho, conquistado pela UGD09, apresentando o maior rendimento atualmente, com um acumulado de 392 horas no mês de junho, bem acima em comparação aos outros motores.

Gráfico 8 – O melhor MTBF durante o ano de 2019 até Junho é a UGD09.

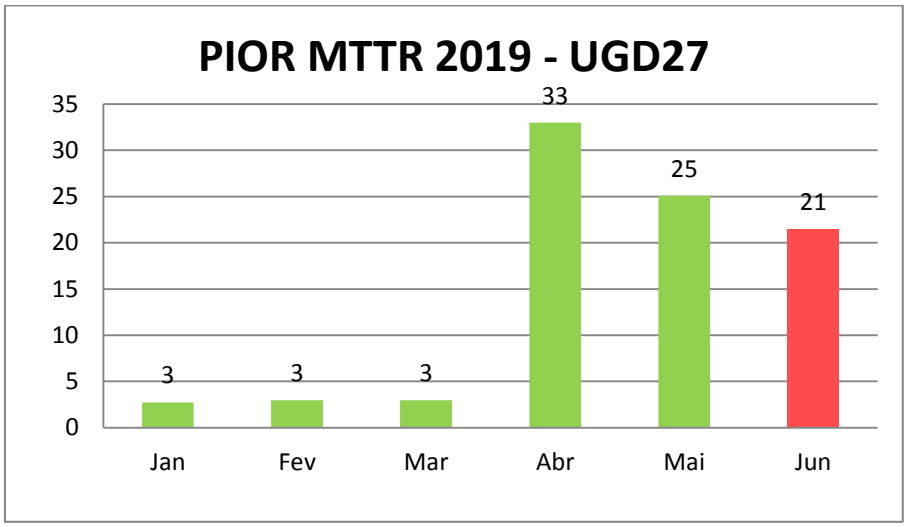


Fonte: Autor.

O gráfico 9 expõe o pior índice de MTTR durante o ano de 2019 até junho, apresentado pela UGD27, que foi a máquina com o pior rendimento no quesito, com um acumulado de 21 horas, valor bem elevado em relação aos outros motores. No mês de abril, houve uma falha com a turbina e a realização da correção de deflexão do eixo,

gastando-se bastante tempo em manutenção. Essa falha foi ocasionada provavelmente decorrente de falta de manutenção preventiva.

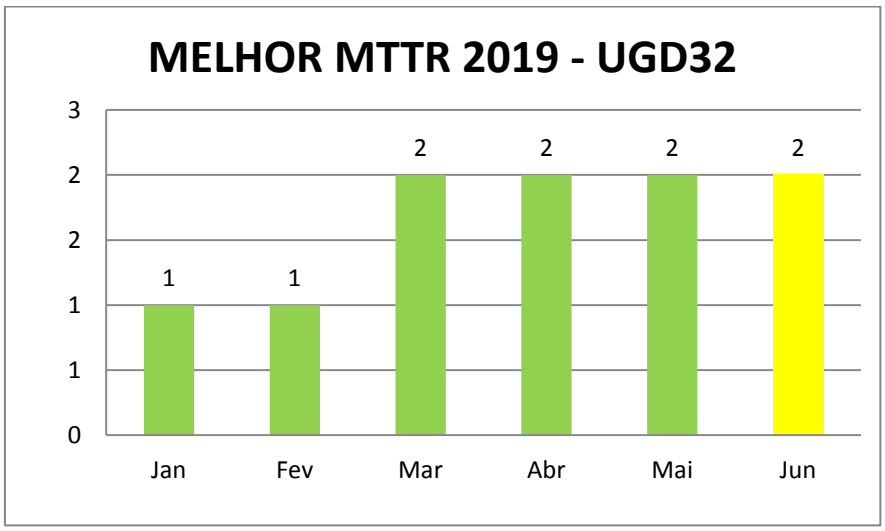
Gráfico 9 – O pior MTTR durante o ano de 2019 até Junho é a UGD27.



Fonte: Autor.

São encontrados nas tabelas 4 e 5 mais de um resultado de melhor índice de MTTR durante o ano de 2019. A máquina escolhida para apresentação dos resultados foi a UGD32, cujo rendimento está retratado no gráfico 10. Ela foi umas das que apresentaram os maiores rendimentos atuais de MTTR, num acumulado de apenas 2 horas no mês de junho, que é um valor bem baixo em comparação com as demais.

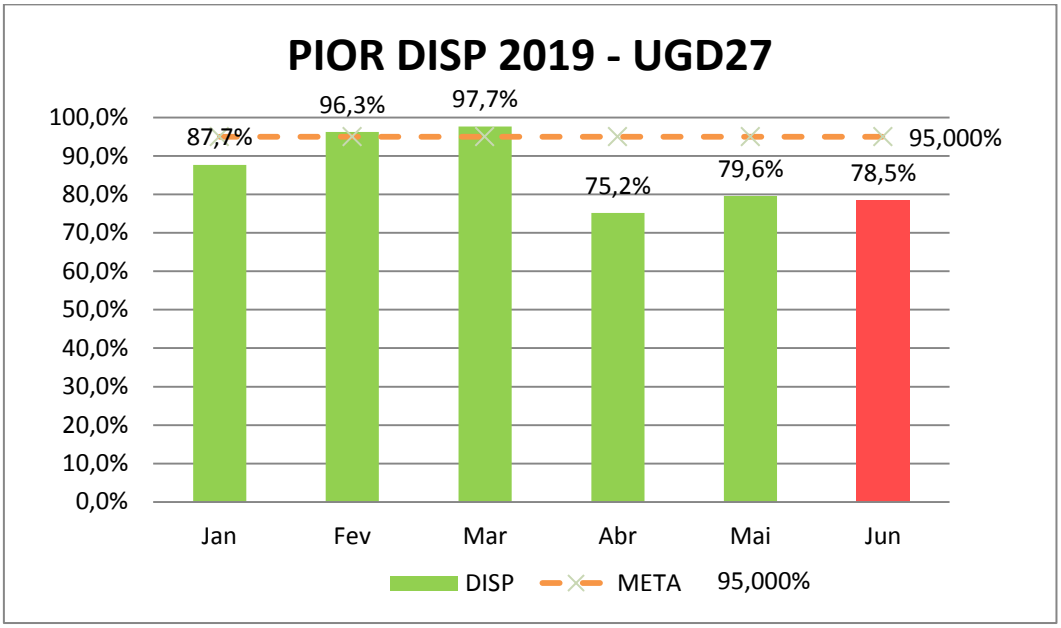
Gráfico 10 – O melhor MTTR durante o ano de 2019 até atual é a UGD32.



Fonte: Autor.

O gráfico 11 destaca o pior índice de Disponibilidade de 2019 até junho, o da UGD27, que vem apresentando o mais baixo rendimento, indicando um acumulado até junho de 78,5% de disponibilidade e mantendo-se bem abaixo da meta de 95%. É bom frisar que esta maquina também obteve o pior rendimento em relação ao MTTR até agora no ano de 2019.

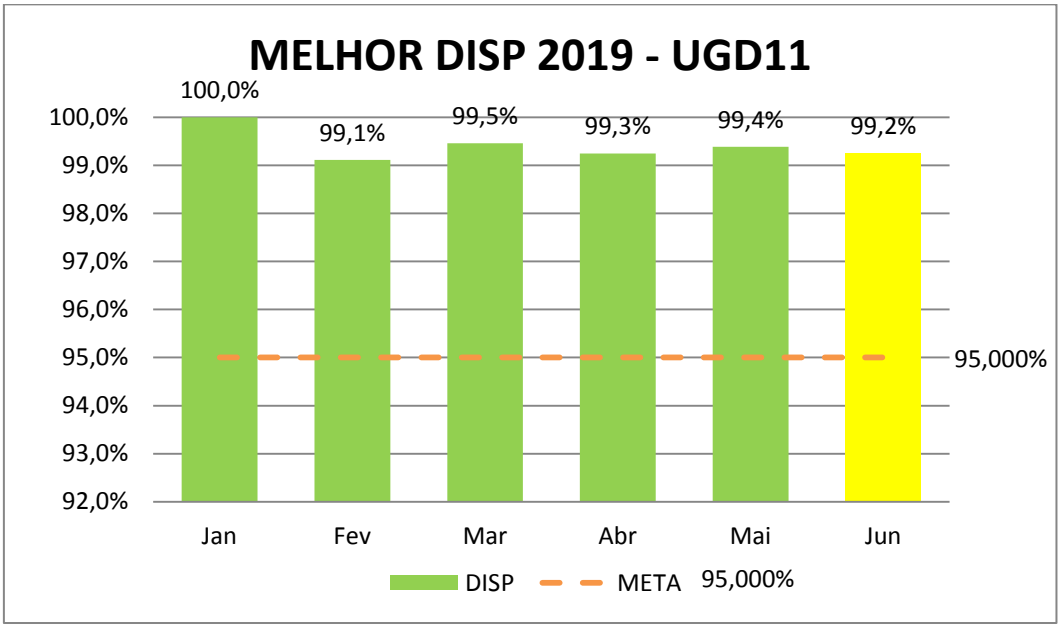
Gráfico 11 – A pior disponibilidade durante o ano de 2019 até Junho é a UGD27.



Fonte: Autor.

No gráfico 12, é mostrado o melhor índice de Disponibilidade de 2019, onde a UGD11 foi a que apresentou o maior rendimento, apresentando um total de 99,2% até o momento, mantendo-se acima da meta 95% estabelecida pela empresa. Esse resultado indica que ela possui bons MTBF e MTTR, que são os dados base para os cálculos de Disponibilidade.

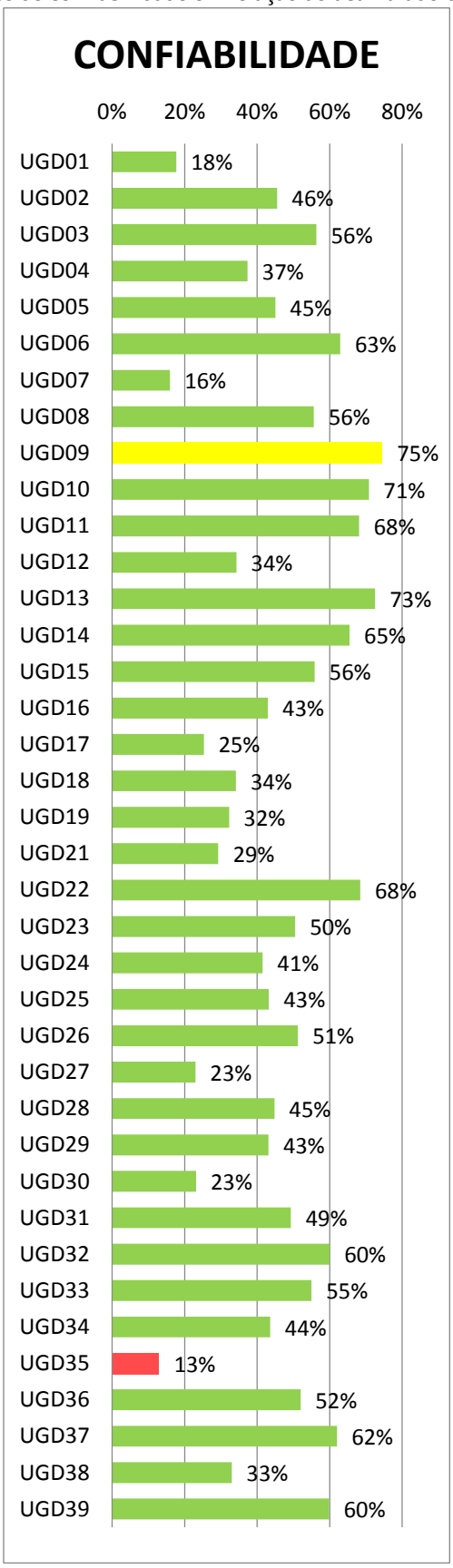
Gráfico 12 – A melhor disponibilidade durante o ano de 2019 até Junho é a UGD11.



Fonte: Autor.

De acordo com o gráfico 13, percebe-se que a UGD35 apresentou a pior confiabilidade, com um valor de apenas 13%, e a UGD09 foi a que alcançou a melhor confiabilidade, 75%. Estas são as porcentagens estimadas para um perfeito estado nos motores durante as próximas 115 horas. Ressalta-se que a confiabilidade está ligada diretamente ao MTBF, no qual a UGD35 é a unidade geradora que vem mostrando o pior desempenho até o momento, enquanto o melhor é o da UGD09.

Gráfico 13- Índice de confiabilidade em relação ao acumulado de Junho de 2019.



Fonte: Autor

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral aplicar os indicadores de desempenho designados para melhoramento de performance em UGDs. Sua contribuição mostra-se de suma importância para o gerenciamento de manutenção nas UTEs.

O MTBF e MTTR são dois indicadores que expressam o desempenho dos equipamentos em relação aos tipos de manutenção. Após a análise dos resultados do ano de 2018, viu-se que é necessário atentar-se mais para o controle na aplicação de manutenções preventivas, especialmente em máquinas que apresentaram os piores índices de MTBF. No caso do MTTR, é preciso precaver-se mais em controle de estoque de sobressalente e diminuição do *Downtime*. É importante enfatizar que estes indicadores estão ligados diretamente à Disponibilidade das máquinas, assim sendo, a estratégia para uma boa disponibilidade é garantir a boa performance de MTBF e MTTR.

Através dos resultados dos indicadores do ano de 2019, é possível analisar em tempo real as performances de MTBF, MTTR, Disponibilidade e Confiabilidade das UGDs ao decorrer dos meses, principalmente os que apresentaram os piores resultados. Desse modo, esses resultados colaboram na mantenabilidade do sistema de produção em funcionamento.

É necessário destacar a dificuldade na coleta de alguns dados, os quais se apresentavam com tempos ou classificações incorretas nas AES. Esses casos exigiram análises aprofundadas para encontrar os valores necessários corretos para aplicação. Todavia, vale enfatizar que para aplicação em confiabilidade de falhas, é de suma importância a existência de bancos de dados consistentes, de forma que os cálculos se mantenham o mais fiel possível à realidade. Portanto, esses dados devem ser sempre cobrados ou revisados pelos gestores de manutenção.

Conclui-se que o estudo cumpriu com os objetivos iniciais propostos, ratificado pela aplicação dos resultados em UTEs com dados coletados sobre a sua operação real. Isso indica, portanto, que a metodologia apresentada possui uma boa aderência com a realidade e que poderá ser expandida para outros sistemas mecânicos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A sugestão para trabalhos futuros é, primordialmente, a de inserir outros indicadores no modelo proposto, como:

- Análise financeira de custo de manutenção e produção relacionado a um UGD, a partir da qual se verifique a interferência da manutenção no custo do produto;
- Análise do ciclo de vida dos equipamentos, facilitando a observação de maior grau de incidência de falhas em um menor tempo;
- Índice de preventiva e Índice de corretiva;
- *Backlog*;
- HH empregado por Tipo de Manutenção;
- Fator de Produtividade da Mão de Obra.

8. BIBLIOGRAFIA

ABRAMAN. **Documento Nacional da Manutenção no Brasil**. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/>. Acesso em: junho/2019.

ABREU, Y. V.; OLIVEIRA, M. A.; GUERRA, S. M. **Energia sociedade e meio ambiente.** MÁLAGA: Eumed.Net,2010.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas da energia elétrica do Brasil**. 3ed. Brasília: ANEEL 2008. Disponível em: < http:/ /www.aneel.gov.br /arquivos /pdf / livro_atlas.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

AGENEAL (2013). Disponível em:

<http://www.ageneal.pt/content01.asp?BTreeID=00/01&treeID=00/01&newsID=7>.Acesso em: junho/2019.

AHUJA I.P.S; KHAMBA J.S. **Total Productive Maintanence**: literature review and directions. International Journal of Quality & Reliability Management Vol. 25 No. 7, 2008 pag. 709-756. Emerald Group Publishing Limited.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade.** 2000.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso em: junho/2019.

BALDIN, A; FURLANETTO, L; ROVERSI, A; TURCO, F. **Manual de mantenimiento de instalaciones industrial**es.Barcelona: Gustavo Gili, 1982.

BORUGADDA, V. B.; GOUD, V. **Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.16, p. 4763-4784, 2012.

CAVALCANTE, C.A. **Evento e análise organizacional:** contribuição de um estudo sobre as atividades de manutenção. Tese de doutorado. Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

CORDER, A. **Maintenance management techniques**. London: Mc Graw-Hill, 1976.

FIGUEIREDO; D. L. Indicadores de Performance: Um Enfoque na Gestão da Manutenção. **Simpósio de Engenharia de Produção**, Catalão, AGO de 2017. Disponível em: <https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/DANIELLE_LIMA_DE_FIGUEIREDO.pdf> Acesso em: 06 jul. 2019

FINDER COMPONENTES LTDA. **Um mundo sustentável das energias renováveis**. 1ed. 2011. Disponível em:
<http://www.instalacoeseletricas.com/download/energias%20_renovaveis.pdf> Acesso em: junho/2019.

FOGLIATTO,F.S.; RIBERTO,J.L.D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. São Paulo, Elsevier, 2009.

FREITAS, M; FERREIRA J. C. N. Obtenção e Análise dos Indicadores Operacionais de Uma Central Termelétrica. **XX SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**, Recife, NOV de 2009.

FREITAS; J. C. F. P. **Organização e melhoria do desempenho do centro de manutenção de apoio às linhas de montagem de autorrádios.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia - Universidade do Minho. Portugal, Braga, 2012.

HEYWOOD, J. B**. Internal Combustion Engine Fundamentals**. 1ª Ed, McGraw-Hill. USA, New York, 1988.

KARDEC, A; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LIMA, A. S. Definição da melhor política de manutenção para gestão e otimização de maquinário centrada na confiabilidade: estudo em uma empresa do setor de transportes. Faculdade de Engenharia - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2014.

MARTINS, A. P. R. A. P. **A Influência da Manutenção Industrial no Índice Global de Eficiência (OEE)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, 2012.

MATOS JUNIOR, E; CAIXÊTA, A. G. **Metodologia de implantação de indicadores de gestão da manutenção** BELO HORIZONTE, Jan/2017.

MELLO, O. D. **Despacho integrado da geração termelétrica e da produção e transmissão de gás natural**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 2006.

MELO, F. C. **Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade Gama, Universidade de Brasília. Brasília, 2017.

MÉMORIA DA ELETRICIDADE. (CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE) Apresenta informações históricas sobre a eletricidade. Disponível em: <https://portal.memoriadaeletricidade.com.br/en/>. Acesso em: junho/2019.

MENDES, A. A; RIBEIRO, J. L. D. Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da MCC em um cenário de produção JIT. **Production**, v. 24, n. 3, p. 675-686, Jul/Set. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132013005000065>. Acesso em: maio/2019.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira** - *Exercício de 2018.*, Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/> Acesso em: junho/2019.

MONCHY, F. **A Função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial**. São Paulo, Ebras/Durban, 1989.

NBR 5462: Confiabilidade e mantenabilidade. Rio de Janeiro: 1996

OLIVEIRA, J. C. S. Análise de indicadores de qualidade e produtividade da manutenção nas indústrias brasileiras. **Revista GEPROS (Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. Ano 8, n.3, 2013. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/1021/501>. Acesso em: junho/2019.

ONS - O OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA Disponível em: <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons> Acesso em: junho/2019.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial**. Vol.4, n.2, 2008.

PINTO, A. K; RIBEIRO, H. **Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma**. Rio de Janeiro. ABRAMAN. 2002.

SANTOS, A. M. **Motores De Ignição Por Compressão Motores Diesel**. Notas de aula: Injeção Diesel.[2019]. Disponível em: https://www.ebah.com.br/content/ABAAABv50AA/motores-diesel. Acesso em julho/2019.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, Fábio Januario. **Melhoria do Pilar "Manutenção Planejada" da TPM através da utilização do RCM para nortear as Estratégias de Manutenção.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

TELES, J. **Guia Prático para Implatação de Indicadores de Manutenção.** Engeteles Engenharia de Manutenção.[2019] Disponível em: < https://engeteles.com.br/downloads/>. Acesso em maio/2019.

UMBRIA, F. **ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica, Especialista de Regulação (Área 3), Conhecimento Específico**. Brasília: Vestcon, 2006. 258p.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. 4ª Edição. São Paulo: Ed. Campus, 1995

VERRI, L. A.. **Gerenciamento pela Qualidade Total na Manutenção Industrial Aplicação e Prática.** Rio de Janeiro. Qualitymark. 2012.

VIANA, H. R. G. PCM, **Planejamento e Controle de Manutenção**. Rio de Janeiro, 2002.

XENOS, H.G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: EDG, 1998.

YAMAGUCHI, C. T. **TPM - Manutenção Produtiva Total**. Instituto de Consultoria e Aperfeiçoamento Profissional. São João Del Rei. 2005