

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

EDUARDO LUIZ SALES MARINHO

**APLICAÇÃO DO DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA
AVALIAR AS VARIÁVEIS DE CONTROLE QUE INFLUENCIAM NO
AUMENTO DA VIBRAÇÃO DO MANCAL DE UM TURBOGERADOR**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

EDUARDO LUIZ SALES MARINHO

**APLICAÇÃO DO DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA
AVALIAR AS VARIÁVEIS DE CONTROLE QUE INFLUENCIAM NO
AUMENTO DA VIBRAÇÃO DO MANCAL DE UM TURBOGERADOR**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Wanderson Stael Paris, MSc.

CURITIBA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DO DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA AVALIAR AS VARIÁVEIS DE CONTROLE QUE INFLUENCIAM NO AUMENTO DA VIBRAÇÃO DO MANCAL DE UM TURBOGERADOR

por

EDUARDO LUIZ SALES MARINHO

Esta monografia foi apresentada em 31 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Wanderson Stael Paris, MSc.
Professor Orientador - UTFPR

Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Dedico este trabalho ao desafio de superar mais esta barreira contribuindo para o meu desenvolvimento profissional na busca pelo conhecimento para aplicá-lo de forma a aumentar a estabilidade operacional de máquinas e processos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng pela atenção destinada as necessidades e dificuldades que tive que superar, sempre com a mesma presteza em atender todos seus alunos;

Agradeço ao Professor Sergio Shimura pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Resumo

MARINHO, Eduardo. Aplicação do delineamento de experimentos para avaliar as variáveis de controle que influenciam no aumento da vibração do mancal de um turbogerador. Ano 2019. 41 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Este trabalho tem por objetivo avaliar possíveis variáveis de controle e processos que podem estar influenciando nas variações de vibração do mancal número um de um turbo gerador da ArcelorMittal Tubarão. Para realização deste será aplicado o conhecimento em DOE – Delineamento de experimentos aplicando regressão linear simples. Será utilizado o software da ReliaSoft para processar os dados coletados no campo por período de trinta dias das variáveis de processo e de controle do turbo gerador. A partir do entendimento da variável perturbadora da variação do mancal, aplicar os conhecimentos em RCM – manutenção centrada em confiabilidade, utilizando-se da ferramenta FMECA, identificar a causa raiz e as devidas ações de manutenção para bloquear e/ou mitigar os modos de falha e seus efeitos. Como resultado do estudo, a confirmação da aplicação da confiabilidade quantitativa para auxílio na identificação problemas com um nível de certeza que nos permite a maior segurança na tomada de decisão, contribuindo para aumento da confiabilidade de equipamentos e processos na geração de energia elétrica na ArcelorMittal Tubarão.

Palavras-chave: Vibração. Variável de controle. Variável de processo. DOE – Delineamento de Experimentos. RCM. FMECA.

ABSTRACT

MARINHO, Eduardo. Design of Experiment application to evaluate the control variables that influence the increase of bearing vibration of a turbogenerator. Year 2019. 41 pages. Monograph (Reliability Engineering Specialization) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2019.

This work aims to evaluate the influence of possible control and process variables that may be influencing the number one bearing vibration variations of an ArcelorMittal Tubarão Turbo generator. For this realization will be applied the knowledge in DOE - Design of experiments applying simple linear regression. ReliaSoft software will be used to process data collected in the field for a period of thirty days of turbo generator process and control variables. From the understanding of the disturbing variable of the bearing variation, apply the knowledge in RCM - reliability centered maintenance, using the FMECA tool, identify the root cause and the necessary maintenance actions to block and/or mitigate the failure modes and its effects. As a result of the study, the confirmation of the application of quantitative reliability to aid in the identification of problems with a level of certainty that allows us to be more confident in our decision making, contributing to increased reliability of equipment and processes in power generation at ArcelorMittal Tubarão.

Keywords: Vibration. Control variable. Process Variable. DOE - Design of experiments. RCM. FMECA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Casa de força e sopradores ArcelorMittal Tubarão	17
Figura 2 – Turbina 03 da ArcelorMittal Tubarão	18
Figura 3 – Tanque de óleo Turbo gerador 03.....	19
Figura 4 – Bomba de óleo de lubrificação	20
Figura 5 – Resfriadores de óleo	22
Figura 6 – Mancal numero 1 turbo gerador 03	23
Figura 7 – Fluxo Delineamento de experimentos	27
Figura 8 – Delineamento de experimentos.....	29
Figura 9 – Fluxograma aplicação DOE.....	32
Figura 10 – Modelo de regressão linear simples.....	35
Figura 11 – ReliaSoft – DOE- Regressão linear simples.....	41
Figura 12 – ReliaSoft – Lançamento dos dados no programa	41
Figura 13 – Variação da vazão de vapor interfere na vibração do mancal.....	43
Figura 14 – Relação direta entre variação de vazão x vibração do mancal	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados variáveis de controle e processo turbo gerador 03	40
Tabela 2 – FMECA – Rotor turbina 03 vibrando.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

FMEA	Failury Mode and Effect Analysis
FMECA	Faliure Mode Effects and criticality Analysis
DOE	Delineamento de Experimentos
RCM	Reliability Centered Maintenance

LISTA DE ACRÔNIMOS

AMT	AcelorMittal Tubarão
-----	----------------------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	15
1.4.1	Necessidades do processo	15
1.4.2	Caracterização variáveis que podem influenciar na vibração	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA A SER ESTUDADA	16
2.2	CASA DE FORÇAS	16
2.3	TURBO GERADOR NÚMERO 3	17
2.4	TURBINA A VAPOR	17
2.5	GERADOR ELÉTRICO	18
2.6	SISTEMAS DE ÓLEO DE LUBRIFICAÇÃO E CONTROLE	19
2.6.1.1	Tanque de óleo	19
2.6.1.2	Bombas de óleo de lubrificação e controle	20
2.6.1.2.1	Bombas de lubrificação	20
2.6.1.2.2	Bomba de óleo de lubrificação de emergência	20
2.6.1.2.3	Bombas de óleo de controle	20
2.6.1.3	Filtros de óleo de lubrificação e controle	21
2.6.1.4	Trocadores de calor	21
2.6.1.5	Mancais	22
2.6.1.6	Exaustor de óleo	23
2.6.1.7	Aquecedor de óleo	24
2.6.1.8	Válvulas e tubulações	24
2.7	SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	24
3	REFERENCIAL TEORICO	25
3.1	INTRODUÇÃO	25
3.2	DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO	26
3.3	CONCEITUAÇÃO	28
3.3.1	O que é DOE	28
3.3.2	Quando é necessário o DOE	29
3.3.3	Aplicações do DOE	29
3.3.4	Definições básicas	30
3.3.5	Experimentos vs estudos de observação	30
3.3.6	Estudo de observação exemplos	30

3.3.7	Experimento vs estudos de observação: conclusão	31
3.3.8	Alaetorização e blocagem	31
3.3.9	DOE processo e estágios	32
3.3.9.1	O processo DOE	32
3.3.9.2	Fases comuns de um DOE	32
3.3.10	Resumo de delineamentos comuns	33
3.3.11	Aplicação da análise de regressão linear	34
3.3.12	RCM - Manutenção centrada em confiabilidade	35
3.3.13	FMEA – “Failure Mode and Effect Analysis”	35
4	METODOLOGIA DA PESQUISA	37
4.1	PERÍODO DE ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE CONTROLE.	37
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS A SEREM PESQUISADAS	37
4.3	COLETA DE DADOS.....	39
4.4	PROCESSAMENTO DOS DADOS	39
5	DESENVOLVIMENTO.....	40
6	CONCLUSÃO	46
6.1	TRABALHOS FUTUROS	46
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O turbo gerador, faz parte da matriz energética da ArcelorMittal Tubarão (AMT), responsável pela geração de uma potência de 75 MW, representando 15% da potência instalada na empresa.

A turbina está montada apoiada em dois mancais radiais que sustentam seu peso, e um mancal axial que não permite o deslocamento do eixo além de sua folga axial. Em caso de falha de um destes mancais, a turbina sai de sua posição de trabalho, apresentando risco de contato entre partes rotativas e estacionárias da máquina, podendo acarretar um acidente grave, com perda parcial ou total do ativo.

Do ponto de vista econômico, qualquer dano que impossibilite o funcionamento do turbo gerador, acarreta uma perda diária de geração de energia.

Neste estudo será utilizado o delineamento de experimentos, as variáveis envolvidas são muitas e quase sempre interdependentes. O estudo irá indicar qual variável é mais fortemente correlacionada com aumento de vibração do mancal nº1 da turbina. Esta variável será estudada com foco em manutenção centrada em confiabilidades e serão criados bloqueios para evitar que a variável influencie na vibração da turbina.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Durante os processos de partida do turbo gerador, arranque este, que é realizado elevação de rotação de giro lento 3 rpm a 3600 rpm, em rampa de aceleração que tem duração de 04 horas.

Após elevação desta rotação, inicia-se o processo de sincronismo do gerador e colocação de carga, que é o aumento de vazão de vapor através turbina, aumentando a energia mecânica disponível, sendo entregue ao gerador elétrico para incremento da potência elétrica.

Neste processo, é preciso garantir que as variáveis de controle da turbina estejam estáveis e com pequenas variações e dentro dos seus limites de operação. Porém está sendo observado um desvio em uma variável de controle da turbina, que não está com este comportamento

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar as técnicas de delineamento de experimentos para avaliar as variáveis de controle que influenciam no aumento da vibração do mancal 1 do turbo gerador 3 da AMT.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer quais variáveis de controle podem estar relacionadas com aumento de vibração do mancal;
- Estabelecer um período para coleta dos dados;
- Aplicar o delineamento de experimentos para identificar as variáveis mais influentes no aumento de temperaturas do mancal;
- Aplicar a ferramenta FMECA para determinar os modos de falha do mancal a partir das alterações das variáveis de controle ou variáveis de processo;
- Gerar planos para bloqueio dos modos de falha;
- Apresentar as vantagens obtidas a partir do estudo realizado com o delineamento de experimentos

1.3 JUSTIFICATIVA

A elevação de vibração do mancal número 01 do turbo gerador é uma ocorrência indesejável para operação contínua. Esta anomalia não é comum na operação de turbo geradores e níveis de vibração elevados em regime contínuo ou durante variações da carga, a médio prazo, podem causar danos aos componentes da máquina podendo levar a falhas prematuras.

Aplicação da técnica de delineamento de experimentos correlacionando variáveis de controle da máquina, assim como, variáveis de processo, poderá indicar uma variável perturbadora da vibração do mancal. Identificando esta ou estas

variáveis e aplicando manutenção centrada em confiabilidade, poderá ser criado formas de bloqueio para a eliminação ou mitigação do distúrbio existente.

O turbo gerador número 3, faz parte de uma matriz energética que está interligada e o risco de falha deste equipamento coloca em risco toda matriz, colocando em risco o processo de produção.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

1.4.1 Necessidades do processo

Durante operação do turbo gerador n.º 3 , a vibração do mancal numero 01 deve operar na faixa de 40 microns a 70 microns sem oscilações. O valor de alarme é 125 microns e a decisão de desligar o turbo gerador está nas mãos do supervisor de operação que poderá fazê-lo acima de 200 microns.

1.4.2 Caracterização variáveis que podem influenciar na vibração.

- Vazão de vapor;
- Pressão de vapor;
- Pressão no 1ºst;
- Vazão de vapor 2ª extração;
- Temperatura do óleo de suprimento;
- Pressão de óleo;
- Temperatura do óleo de lubrificação;
- Temperatura do óleo no mancal 1;
- Deslocamento axial da turbina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA A SER ESTUDADA

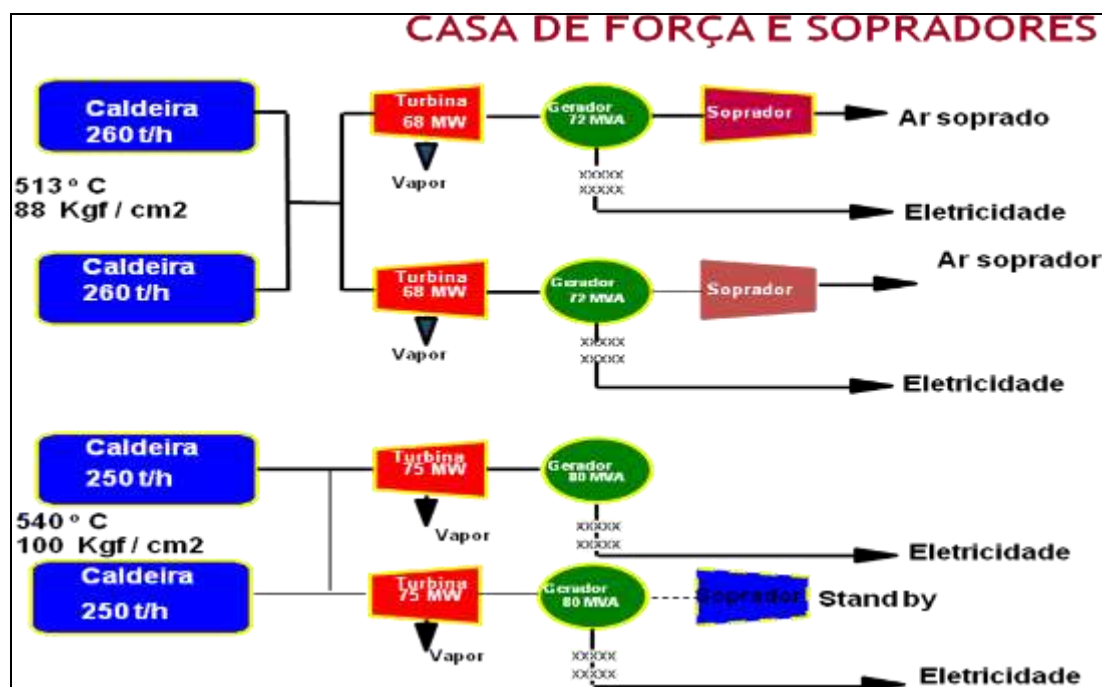
A indústria siderúrgica, em seus processos de transformação para obtenção do aço (placas ou bobinas) a partir de sua matéria prima que é o minério de ferro, precisa de um consumo elevado de energia para promover esta transformação. Para uma analogia entre o consumo médio do estado do Espírito Santo, e uma siderúrgica que produz 7 milhões de toneladas de aço por ano, utilizou-se o consumo médio diário do Estado (www.ecelsa.com.br/investidores) cujos valores são aproximadamente 22.000 MW/h de potência e o consumo da siderúrgica de aproximadamente 5000 MW/h (Procon – CST), que representa aproximadamente 22% da energia consumida por dia em todo o Estado.

Em função do grande consumo de energia empresas siderúrgicas buscam alternativas para geração elétrica.

2.2 CASA DE FORÇAS

A Casa de força e sopradores, conforme pode ser vista na figura 1, é composta por quatro unidades de produção com quatro caldeiras a vapor, para geração de vapor para o acionamento dos quatro turbo geradores e três compressores axiais. Os geradores elétricos irão gerar energia elétrica a partir do excedente da energia mecânica das turbinas que tem por finalidade o acionamento dos compressores de ar para os altos fornos da AMT.

Figura 1 – Casa de força e sopradores ArcelorMittal Tubarão



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2014)

2.3 TURBO GERADOR NÚMERO 3

O turbo gerador n.º3, objeto do estudo, é uma unidade destinada unicamente a geração de energia elétrica, não possuindo assim um compressor acoplado ao TG.

O turbo gerador é formado pela turbina a vapor, pelo gerador elétrico e pelo sistema de óleo de lubrificação e controle responsável pela lubrificação dos mancais da turbina e gerador e pelo óleo de controle para acionamento da válvula principal de vapor e válvula governadora.

A seguir uma descrição do sistema.

2.4 TURBINA A VAPOR

Turbina a vapor é um equipamento que aproveita a energia calorífica e cinética do vapor e transforma em energia mecânica, sendo um equipamento com boa eficiência quando utilizado em condições de projeto, conforme pode ser visto na figura 2

Figura 2 – Turbina 03 da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: ArcelorMittal Tubarão(2010)

Essa energia mecânica pode ser utilizada para mover equipamentos e quando acoplado um gerador a turbina à vapor, se obtêm a transformação da energia mecânica em energia elétrica. Pode ser usada acionando um trem de máquinas conforme é o caso da ArcelorMittal Tubarão. A turbina aciona um gerador elétrico que está acoplado a um compressor. Nesta configuração parte da potência da turbina é usada para acionar o gerador elétrico e parte da potência é usada para acionar o compressor.

2.5 GERADOR ELÉTRICO

O gerador elétrico tem por função transformar a energia mecânica cedida no eixo da turbina, convertendo-a em energia elétrica para consumo interno ou envio a concessionária.

2.6 SISTEMAS DE ÓLEO DE LUBRIFICAÇÃO E CONTROLE

O sistema de óleo de lubrificação e controle tem por função lubrificar os mancais do turbo gerador, assim como, operar as válvulas principais de vapor e de controle de admissão de vapor responsáveis pelo corte de vapor e controle de admissão de vapor. O sistema pode ser subdividido em:

2.6.1.1 Tanque de óleo

Reservatório destinado a quantidade de óleo necessária a circulação de óleo em todo o sistema de lubrificação, conforme pode ser visto na figura 03.

Figura 3 – Tanque de óleo Turbo gerador 03



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2014)

O reservatório de óleo também recebe o óleo usado para controle de abertura e fechamento da válvula governadora de vapor da turbina, que regula a vazão de admissão de vapor

2.6.1.2 Bombas de óleo de lubrificação e controle

2.6.1.2.1 Bombas de lubrificação

Bombas destinadas exclusivamente à lubrificação fluido dinâmica dos mancais do turbo gerador. Trabalham com vazões volumétricas mais altas que as bombas de óleo de controle. São do tipo centrífuga e funcionam acionadas por motor elétrico corrente alternada.

Figura 4 – bomba de óleo de lubrificação



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2014)

2.6.1.2.2 Bomba de óleo de lubrificação de emergência

É a bomba operada em caso de emergência. Assim, em caso de queda de alimentação elétrica ela entra automaticamente suprindo o óleo de lubrificação dos mancais do turbo gerador.

2.6.1.2.3 Bombas de óleo de controle

São bombas utilizadas para enviar óleo a servo motores responsáveis pelo acionamento das válvulas de admissão de ar e controladora de vapor;

2.6.1.3 Filtros de óleo de lubrificação e controle

São responsáveis pela remoção de partículas maiores que as folgas dos componentes mecânicos, os quais deverão receber o óleo de lubrificação e controle. O sistema possui quatro filtros sendo dois em operação e dois em stand by.

2.6.1.4 Trocadores de calor

Conforme pode ser visto na figura 5, os trocadores de calor tem a função de resfriar o óleo que teve sua temperatura aumentada após o contato com os mancais do turbo gerador e válvulas de admissão e controle de vapor. O sistema possui dois equipamentos, devendo um estar em operação e o outro pronto para operar em caso de necessidade

Figura 5 – Resfriadores de óleo



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2014)

. Um exemplo é quando há um vazamento no trocador existente ou por obstrução dos tubos no lado de circulação de água de resfriamento que é feito com água do mar com sólidos em suspensão e apresentam sujeira do sistema ao longo do tempo de operação.

2.6.1.5 Mancais

Conjunto de mancais radiais e axiais conforme figura 6, são responsáveis pela suportar carga radial e axial do turbo gerador e trabalham com uma camada limítrofe de óleo entre o eixo do turbo gerador e os mancais. Além disso, eles suportam cargas radiais altíssimas da ordem de 28 Ton. no eixo do gerador e 16 ton. No eixo da turbina

Figura 6 – Mancal número 1 turbo gerador 03



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2014)

. Existe ainda um conjunto de mancais axiais que não permitem deslocamentos axiais do turbo gerador da ordem de 0,46mm no máximo. Os mancais radiais mencionados, serão objeto de nosso estudo de delineamento de experimentos.

2.6.1.6 Exaustor de óleo

Tem a função de remover os vapores de óleo gerados após o contato com os mancais. O exaustor causa uma pressão negativa no tanque de óleo (menor que a atmosférica), criando um fluxo preferencial até o tanque. Caso este equipamento não opere, os vapores de óleo entram para o interior do gerador contaminando internamente suas bobinas isoladas provocando o envelhecimento do isolamento e risco de fuga de corrente entre fases com risco de curto circuito do gerador.

2.6.1.7 Aquecedor de óleo

Tem a função de pré-aquecer o óleo de lubrificação antes da entrada do turbo gerador em operação. Temperaturas de óleo abaixo de 30°C alteram a viscosidade do óleo utilizado, podendo causar vibrações indesejadas durante a partida e até mesmo da danificação de mancais de deslizamento.

2.6.1.8 Válvulas e tubulações

Responsáveis pelo bloqueio de equipamentos, controle de pressão do sistema. As tubulações transportam o óleo de lubrificação e controle até seus pontos de aplicação e retorno com o óleo aquecido para o tanque de óleo.

2.7 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, o leitor pode ter acesso ao conhecimento de uma instalação termoelétrica com o devido detalhamento do conjunto turbo gerador , onde foi apresentado os seus principais componentes e funções.

O entendimento dos principais componentes do turbo gerador levou ao conhecimento exato do componente que apresenta problemas de funcionamento, no caso o mancal radial da turbina.

Este conhecimento será interessante para no momento da aplicação das correlações entre as variáveis de controle e ou processo com a variável resposta que é vibração do mancal número 1, já estará esclarecido e justificado o ponto a ser estudado.

No próximo capítulo será estudado o referencial teórico, que é a abordagem da teoria do delineamento de experimentos.

Dentro da teoria estuda será apresentada a regressão linear simples que será a ferramenta aplicada aos nossos dados a serem estudados.

3 REFERENCIAL TEORICO

3.1 INTRODUÇÃO

Sr. Ronald Aylmer Fisher (1890-1962) nasceu em Londres dia 17 de fevereiro de 1890 e bacharelou-se em matemática pela universidade de Cambridge em 1912. Sua miopia exagerada salvou-o do serviço militar na primeira guerra mundial, defeito que possibilitou desenvolver um treinamento de alta abstração (visualização no plano imaginário) o que deve ter contribuído para sua preferência pela apresentação hipergeométrica, possibilitando assim a exibir soluções singulares independentes de simbolismo algébrico.

No início do século XX, em 1919, foi chefe de um laboratório experimental de estatística na estação experimental de agricultura de Rothamstead, Inglaterra, onde permaneceu até 1933.

SALSBURG (2009) Descreveu que Fisher desenvolveu os métodos de análises e os delineamentos experimentais. Caracteriza-se por delineamento de experimento ou delineamento experimental (experimental design em inglês) o modo de dispor as parcelas no experimento, ou seja, a maneira de designar os tratamentos às unidades experimentais. A técnica mais Fisheriana trata-se de análise de variância, juntamente com análise de covariância, também de sua autoria, constitui-se no instrumental básico para interpretação dos resultados dos experimentos planejados. Deve ser destacado que esses métodos procedentes do cotidiano agrícola, tornaram-se universais e aplicados em todas as áreas de conhecimento: Medicina, engenharia, psicologia, odontologia entre outras.

Muitos experimentos são feitos para comparar métodos, grupos, máquinas, variáveis de controle, variáveis de processo. Mas o interesse em experimentação nem sempre é comparar tratamentos, muitas vezes pretende-se saber se um determinado tratamento produz efeito em uma variável isolada.

A exiguidade do experimento está subordinada ao princípio básico da repetição, segundo o qual que se deve ter repetições do experimento para que seja possível produzir uma medida de variabilidade que permitirá a realização dos testes de hipóteses sobre a presença do efeito dos tratamentos ou a estimação desses efeitos. O número de unidades experimentais para cada tratamento deve ser

determinado a partir de informações sobre a variabilidade das parcelas em termos da variável resposta, custo e testes de significância.

No contexto experimental, define-se fator uma característica em estudo da qual há interesse a verificar a inferência sobre uma resposta do experimento, como destacam ANDRADE & OGLIAR (2007). Os níveis do fator constituem os tratamentos do estudo. Um fato é considerado quantitativo quando seus níveis são referentes a quantidades.

Definidos os seus fatores e seus e seus respectivos níveis que serão designados como o tratamento dos estudos, e a variável dependente, torna-se necessário estabelecer qual o esquema de alocação dos tratamentos as unidades experimentais será usado, ou seja, como deve ser conduzido o delineamento experimental.

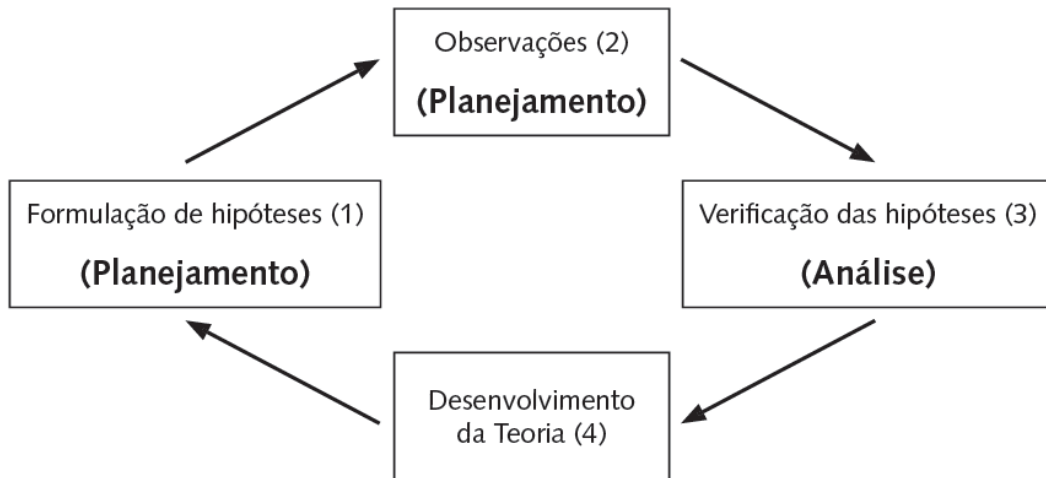
3.2 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO

O procedimento geral e comum na pesquisa científica consiste em formular hipóteses (afirmativas sob julgamento) e verificá-las diretamente ou por suas consequências. Neste sentido, se faz necessário um conjunto de observações e o planejamento de experimentos é então imprescindível para indicar o procedimento que será utilizado para verificar se as hipóteses são verdadeiras ou falsas.

As hipóteses são avaliadas por meios de métodos de tomada de decisão estatística (teoria das probabilidades) cujo procedimentos quantitativos e análises objetivas (teoria estatística) depende de maneira como as observações foram obtidas.

A melhor maneira para a visualização sequencial destes aspectos consiste em considerar a circularidade do método científico, no qual pode-se verificar a necessidade e a importância do planejamento experimental juntamente com a análise estatística de dados.

Figura 7 – Fluxo Delineamento de experimentos



Fonte: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/Planejamento-de-Experimentos-DOE> (2008)

Uma pesquisa científica estatisticamente planejada deve seguir a seguinte sequência de passos quanto ao planejamento e execução:

- Enunciado claro do problema e formulação das hipóteses estudadas;
- Indicação dos fatores (variáveis independentes – variáveis controladas pelo pesquisador);
- Indicação da unidade experimental (parcela);
- Indicação da variável resposta que serão medidas na unidade experimental;
- Indicação das regras e procedimentos pelos quais os diferentes tratamentos serão atribuídos as unidades experimentais;
- Análises estatísticas dos dados do experimento;
- Descrição dos resultados analíticos com as medidas de precisão das estimativas e o respectivo níveis da significância das interpretações.

3.3 CONCEITUAÇÃO

3.3.1 O que é DOE

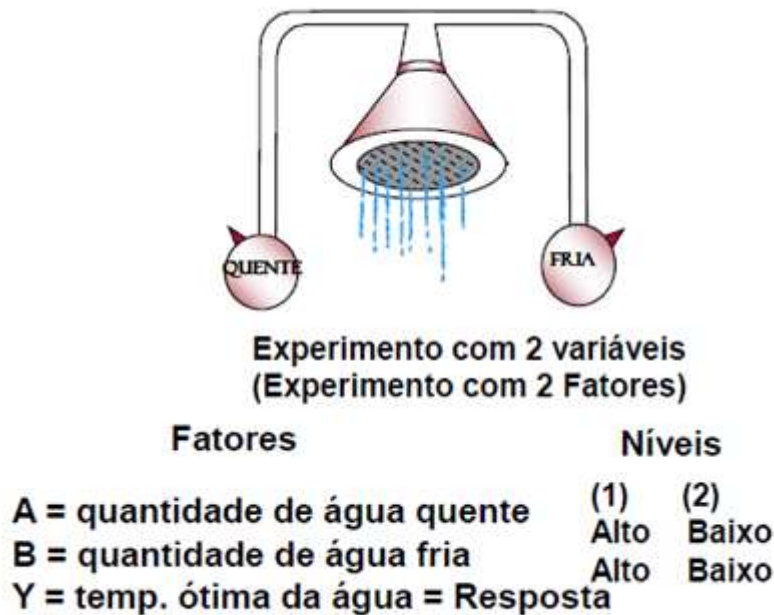
Delineamento de experimentos (DOE) é um experimento é uma série de testes conduzida de uma forma sistemática, para aumentar a compreensão de um processo.

DOE é uma ferramenta baseada em estatística, utilizada para desenvolver uma estratégia, para um experimento que maximize o resultado da variável de controle que será estudada.

Podemos caracterizar DOE como sendo:

- Método sistemático de testes;
- Mudanças sistemáticas para um conjunto de fatores;
- Padrões determinados a serem seguidos;
- Identificação de variáveis importantes
- Separa os poucos fatores vitais dos muito triviais;
- Encontra os termos passivos x passivos;
- Investiga efeito sobre a resposta;
- Esta abordagem sistemática leva a indicação de problemas e tomada de decisão para solucioná-los.

Figura 8 – Delineamento de experimentos



Fonte: Apostila DOE UFTPR (2019)

3.3.2 Quando é necessário o DOE

Quando não existem modelos matemáticos ou equações de engenharia para orientação;

DOE responde perguntas com relação a respostas aos parâmetros de projeto;

Nos ajuda a encontrar as configurações ótimas do processo;

Ajuda aprender sobre a física do nosso problema, levando a melhoria de qualidade, confiabilidade e durabilidade;

3.3.3 Aplicações do DOE

O delineamento de experimentos é largamente utilizado em muitos domínios, com ampla aplicação em todas as ciências podendo ajudar a:

- Elevar produção
- Reduzir a variação

- Reduzir custos
- Comparar diferentes projetos / configurações
- Identificar os principais fatores que afetam o desempenho

3.3.4 Definições básicas

- Fator: Variável independente, cujo efeito sobre a resposta é investigado no experimento;
- Resposta: A variável que é investigada em um experimento para avaliar a influência dos fatores;
- Nível: A fixação de um Fator utilizado no experimento;
- Tratamento: Os níveis de um fator em um experimento com um único fator, também são requeridos como tratamentos;
- Execução; Execução do experimento;
- Repetições: Experiências realizadas correspondente ao mesmo tratamento;

3.3.5 Experimentos vs estudos de observação

O objetivo de um experimento é descobrir se os fatores investigados têm efeito sobre a resposta

É importante notar que, podem existir muitos outros fatores potenciais que podem afetar a resposta;

Pode haver uma série de outros fatores que afetam a resposta. Alguns desses “outros” fatores podem ser conhecidos. Outros fatores também são referidos como fatores incômodos ou fatores de perturbação.

3.3.6 Estudo de observação exemplos

Um Cabelereiro “estatisticamente consciente” analisa os dados sobre um grupo de clientes para descobrir que existe uma relação que existe uma relação negativa entre a altura dos clientes e o número de visitas, indicando uma orientação de publicidade para clientes baixos;

Mais tarde descobriu que o número de visitas estava correlacionado com o sexo do que com altura;

A conclusão foi errada porque a altura dos homens são maiores que das mulheres. O fator sexo não foi incluído no estudo e resultado foi errado.

3.3.7 Experimento vs estudos de observação: conclusão

Associação não implica causalidade;

Um conjunto de dados observados, não pode ser usado como experiência para tirar conclusões;

As experiências envolvem o estudo cuidadoso dos fatores selecionados. No experimento, os efeitos dos fatores investigados são isolados a partir de todos os outros possíveis fatores isto é feito usando aleatorização e blocagem;

As observações dos experimentos são registradas com base em um determinado padrão. Este padrão determinado e referido como projeto de experimento.

3.3.8 Aleatorização e blocagem

- Aleatorização

- Aspecto da realização de um experimento ser realizado em ordem aleatória
- Randomização tende a fazer desaparecer o efeito dos fatores que não estão sendo investigados
- Um experimento é dito se a probabilidade de uma unidade experimental ser submetida a qualquer tratamento é igual para toda unidade experimental.

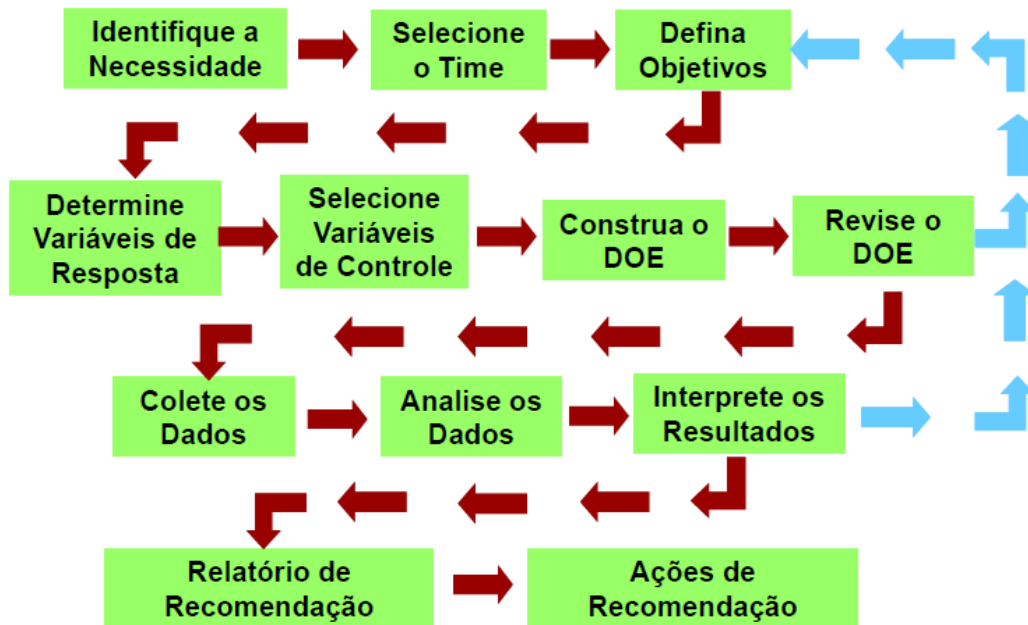
- Blocagem

- Refere-se a separação das execuções de um experimento com base em um fator de perturbação conhecido
- As execuções do experimento são separadas com base no nível do fator incomodo

3.3.9 DOE processo e estágios

3.3.9.1O processo DOE

Figura 9 – Fluxograma aplicação DOE



Fonte: Apostila DOE UFTPR (2019)

3.3.9.2 Fases comuns de um DOE

- Planejamento;
 - Estágio mais importante. Um bom planejamento torna a análise mais fácil;
 - É importante planejar a realização de várias experiências em vez de realizar apenas um teste completo;

- Classificação;
 - Fatores em um experimento devem ser avaliados quanto a importância e melhores configurações
 - Com muitos fatores a estudar classificar 3 ou 4 mais importantes, caso contrário o experimento fica extenso e com custo elevado

- Começamos com vários experimentos com fatores de dois níveis
- Otimização;
 - Melhores fatores de configuração obtêm respostas um objetivo
 - Métodos de otimização, requerem níveis quantitativos para alcançar colinas, vales e objetivos
 - Otimização é suportada pela utilização do delineamento de experimento método de superfície de resposta (RSM);
- Tete de robustez;
 - O ambiente de aplicação de um produto ou processo pode incluir fatores que levam a variações indesejáveis na resposta. Um ruído é um fator que afeta a resposta, mas de difícil controle. Controles são fatores que conseguimos facilmente controlar
 - Em um teste de robustez olhamos para configuração dos fatores de controle que irá neutralizar ou minimizar os efeitos dos ruídos.
- Validação;
 - A maioria dos Does reúne um número pequeno de observações para fazer conclusões que afetam um grande número de itens de produção
 - Um DOE altamente fracionado pode prever a melhor combinação
 - Um pequeno experimento de confirmação pode validar o fator mais forte e a melhor configuração;

3.3.10 Resumo de delineamentos comuns

- Delineamento com um fator
 - Apenas um fator está sob investigação
 - O objetivo é determinar quando a resposta é significativamente diferente com fatores em diferentes níveis

- Nenhuma predição é realizada porque o fator investigado é tratado com um fator qualitativo. O delineamento é usado para comparar as respostas em diferentes níveis desse fator.
- Delineamento fatorial completo
 - Cada fator pode ter diferentes números de níveis
 - Vantagem da investigação completa para todos os fatores
 - Limitação de muitas combinações para completar o experimento.

3.3.11 Aplicação da análise de regressão linear

Análise de regressão linear é uma técnica estatística que busca explorar e modelar a relação entre duas ou mais variáveis;

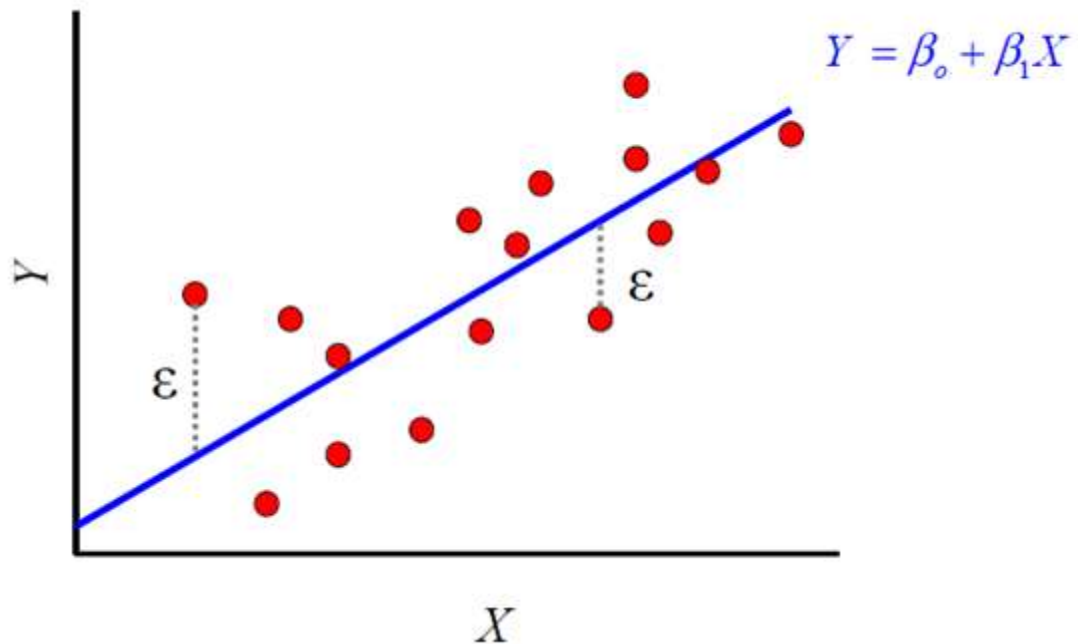
Um modelo de regressão linear tenta explicar a relação entre duas ou mais variáveis utilizando uma reta;

Um modelo simples de regressão linear com uma variável é igual a:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

- X é chamado de variável preditora
- β_0 é chamado de interceptador
- β_1 é chamado de inclinação
- ε é chamado de erro aleatório. Assumimos que a distribuição é normal.

Figura 10 – Modelo de regressão linear simples



Fonte: Apostila DOE UFTPR (2019)

3.3.12 RCM - Manutenção centrada em confiabilidade

Metodologia para analisar funções do sistema, o modo como essas funções podem falhar e, a partir daí aplicar um critério de priorização explícito baseado em fatores de segurança, ambientais, operacionais e econômicos, para identificar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas

3.3.13 FMEA – “Failure Mode and Effect Analysis”

Utilizada em engenharia de qualidade e confiabilidade, análise de falhas em sistemas

Origem no departamento de defesa dos Estados Unidos, em 1949, passou a ser usada na indústria automobilística na década de 70.

Quando a análise leva em conta a criticidade da falha é chamada de FMECA “Failure Mode, Effects and Criticality analysis” – Análise dos modos de falha seus efeitos e sua criticidade”

3.4 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPITULO

Neste capítulo foi detalhado o delineamento de experimentos (DOE) que é um experimento, é uma série de testes conduzida de uma forma sistemática, para aumentar a compreensão de um processo. É uma ferramenta baseada em estatística, utilizada para desenvolver uma estratégia, para um experimento que maximize o resultado da variável de controle que será estudada.

A teoria orienta o fluxo a ser seguido em uma pesquisa de delineamento de experimentos

A apresentação detalhada desta teoria, chega-se a regressão linear simples que será a ferramenta utilizada para realização do estudo.

O próximo capítulo será detalhado a metodologia da pesquisa o como fazer.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 DEFINIÇÃO DO PERÍODO DE ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE CONTROLE.

O período de estudos das variáveis pesquisadas, foi definido por um critério de observação, que mostrou de uma forma visual que as variações de vibração do mancal número 1 variavam ao longo do dia e poderiam ser pegos de forma aleatória para que as observações pudessem ser mais significativas possíveis. Foram realizadas coletas diárias de todas as variáveis na base de tempo.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS A SEREM PESQUISADAS

Para caracterização das variáveis a serem pesquisadas é necessário a expertise de um técnico com experiência, com o devido conhecimento prévio de possíveis variáveis de controle e ou processo que possam ser avaliados efeitos sobre a variável pesquisada. Este profissional pode ser um engenheiro de processo em engenheiro de mecânico um engenheiro de controle de processo ou um profissional que tenha domínio do conhecimento técnico da máquina associado a um engenheiro capacitado a fazer análise de regressão linear das variáveis escolhidas para o estudo.

- Vibração mancal 1 – Variável de controle do turbo gerador, de vital importância no monitoramento da vibração do mancal. Os níveis de vibração toleráveis em torno de 40 a 70 microns com pequenas oscilações, será a variável de resposta a que se deseja pesquisar o efeito das demais variáveis sobre ela;
- Vazão de vapor – Variável de processo responsável pela indicação do volume de vapor admitido pela turbina. A aviação de vapor pode ocorrer na faixa de 75 Ton/hora até 260 Ton/hora;

- Pressão de vapor – Variável de processo responsável pela monitoração da pressão de vapor na entrada da turbina. Objetivo manter pressão de operação em 100 Kg/cm²;
- Pressão de vapor 1^o estágio – Variável de processo responsável pela monitoração da pressão no primeiro estágio da turbina. Esta pressão varia de 30 kg/cm² a 66 Kg/cm² em função da vazão de vapor na entrada da turbina;
- Vazão de vapor 2^a extração- Variável de processo responsável pela medição da vazão de vapor de processo extraído pela turbina. A vazão pode variar de “zero” a 15 Ton/hora em função da necessidade do processo;
- Temperatura de óleo de lubrificação – Variável de controle da turbina, responsável pela monitoração da temperatura do óleo de suprimento. Esta temperatura pode variar de 38°C a 45°C.
- Pressão de óleo de lubrificação- Variável de controle da turbina, responsável pela medição da pressão de óleo de lubrificação. Esta variável pode operar entre 1,0 Kg/cm² a 2,0 Kg/cm² com objetivo em 1,5 Kg/cm².
- Temperatura de óleo mancal 1 – Variável de controle da turbina, responsável pela monitoração da temperatura do mancal. Esta temperatura pode operar na faixa de 38°C a 100°C.
- Deslocamento axial – Variável de controle, responsável pela monitoração da posição da turbina. Esta posição pode operar na faixa de “zero” a 0,7mm.

4.3 COLETA DE DADOS

Todas as variáveis sendo coletadas no mesmo momento por um período de 30 dias para pegar a variação da vibração do mancal 1 em período diurno e noturno.

4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento dos dados será feito no software da “ReliaSoft – Reliability and Maintainability Analysis”

A ferramenta utilizada será o DOE – delineamento de experimentos.

A análise será realizada no formato livre aplicando análise de regressão linear simples, onde será isolada a variável vibração como resposta e as demais variáveis serão fixadas como fatores que irão se correlacionar com a variável vibração e indicar qual variável terá maior correlação influenciando na vibração do mancal da turbina.

Utilizando os conceitos de RCM-manutenção centrada em confiabilidade , fazer uma FMECA para encontrar uma causa raiz da variável perturbadora da vibração do mancal 1 e estabelecer as medidas de manutenção para mitigação e ou eliminação do efeito.

Neste capítulo foi detalhado o como fazer, caracterizando as variáveis a serem correlacionadas, explicando a função de cada uma no processo.

Estabeleceu como coletar e tratar os dados coletados assim como o programa a ser utilizado. Em seu processamento.

Finalizando a partir da saída encontrada, aplicação da confiabilidade qualitativa para encontrar e bloquear ou mitigar as possíveis causas raiz.

5 DESENVOLVIMENTO

Levantamento de dados exportado do sistema de monitoração das variáveis de processo e variáveis de controle da ArcelorMittal Tubarão.

Tabela 1 – Dados variáveis de controle e processo turbo gerador 03

Data/ Variável	Vibração mancal 1 μm	Vazão de vapor T/h	Pressão de vapor Kg/cm^2	pressão 1 st Kg/cm^2	Vacuo mmHg	vazão vapor 2 ^a extração T/h	temp. óleo lub. $^{\circ}\text{C}$	Press. Óleo lub. Kg/cm^2	Temp. óleo M1 $^{\circ}\text{C}$	Deslocamento axial mm	Expansão diferencial mm
01/07/2019	74,2	192,7	98,7	49	-694	0	42,7	1,5	81,6	0,31	2,6
02/07/2019	113,7	188,2	97,5	49	-701	2,1	42,1	1,5	86,2	0,3	2,6
03/07/2019	102	164,9	99,4	43,2	-705	0	42,1	1,49	86,8	0,3	2,49
04/07/2019	98,1	166	99,7	43,3	-705,7	0	42,4	1,5	85,1	0,3	2,5
05/07/2019	104	110	98	30,7	-711	0	43	1,48	89,8	0,3	1,87
06/07/2019	84,9	163	98,4	43,77	-701,5	3,9	43,3	1,5	85,4	0,3	2,5
07/07/2019	104,2	117,2	98,9	29	-713	0	42,6	1,4	89,2	0,28	1,88
08/07/2019	99,8	111,1	99	31	-712	0	42,7	1,5	89,1	0,28	2
09/07/2019	77,9	189	97,7	48,4	-698	8	43,2	1,5	83,6	0,29	2,79
10/07/2019	102,5	144,6	99,5	39,8	-703	3,9	43,7	1,5	87	0,3	2,53
11/07/2019	91,1	131	98,4	35,7	-705,3	0	43,5	1,4	85,1	0,3	2,3
12/07/2019	103,2	132,1	98,9	35,5	-708	0	43,4	1,51	87	0,29	2,33
13/07/2019	90,7	181	99,4	47,2	-707	2,2	43,3	1,5	87,4	0,3	2,65
14/07/2019	97,3	164	98,3	44	-701	0	42,9	1,5	85,1	0,29	2,65
15/07/2019	82,2	110	98,8	29,5	-711,6	0	43,4	1,5	89,3	0,3	1,8
16/07/2019	91,9	173	98	39,5	-693	0	43,4	1,5	82,8	0,31	2,92
17/07/2019	84	206,4	97,3	55,1	-696	11	43,5	1,5	83,4	0,29	3,14
18/07/2019	101,47	152	98,6	37,5	-703,6	3,6	44	1,5	86,4	0,28	2,74
19/07/2019	111,3	113	97,3	30,3	-707	0	45,4	1,5	87,5	0,29	2,6
20/07/2019	97	122,3	98,8	33,5	-704	1,5	48,1	1,49	91,7	0,28	2,54
21/07/2019	107,4	141	99,4	38	-700	0	43,5	1,5	85,9	0,29	2,84
22/07/2019	97,57	164	98,1	45,1	-693,5	9,6	46,7	1,5	86	0,3	3
23/07/2019	109,2	143	98,6	38	-701	0	47,3	1,5	88	0,29	2,76
24/07/2019	90,3	118,4	98,1	31	-705	0	47,7	1,49	91	0,28	2,61
25/07/2019	109,5	159	99	42	-701	0	46,5	1,5	89	0,29	2,8
26/07/2019	101,4	101	98,3	45,6	-698	2,4	46,5	1,5	86	0,29	3,1
27/07/2019	97,9	166,8	98,2	43,7	-697	1	45,9	1,5	8	0,29	2,96
28/07/2019	74,35	242	95,9	65,5	-673	11,7	46,7	1,5	82	0,3	3,6
29/07/2019	60,2	250	96,5	66,4	-692	4	47,5	1,5	81	0,3	2,76
30/07/2019	79	243	96,3	65,7	-690	0,8	48,2	1,4	84,5	0,32	3,34
31/07/2019	83,8	238,4	96,5	63,8	-689	12	48,4	1,49	85,3	0,34	3,21

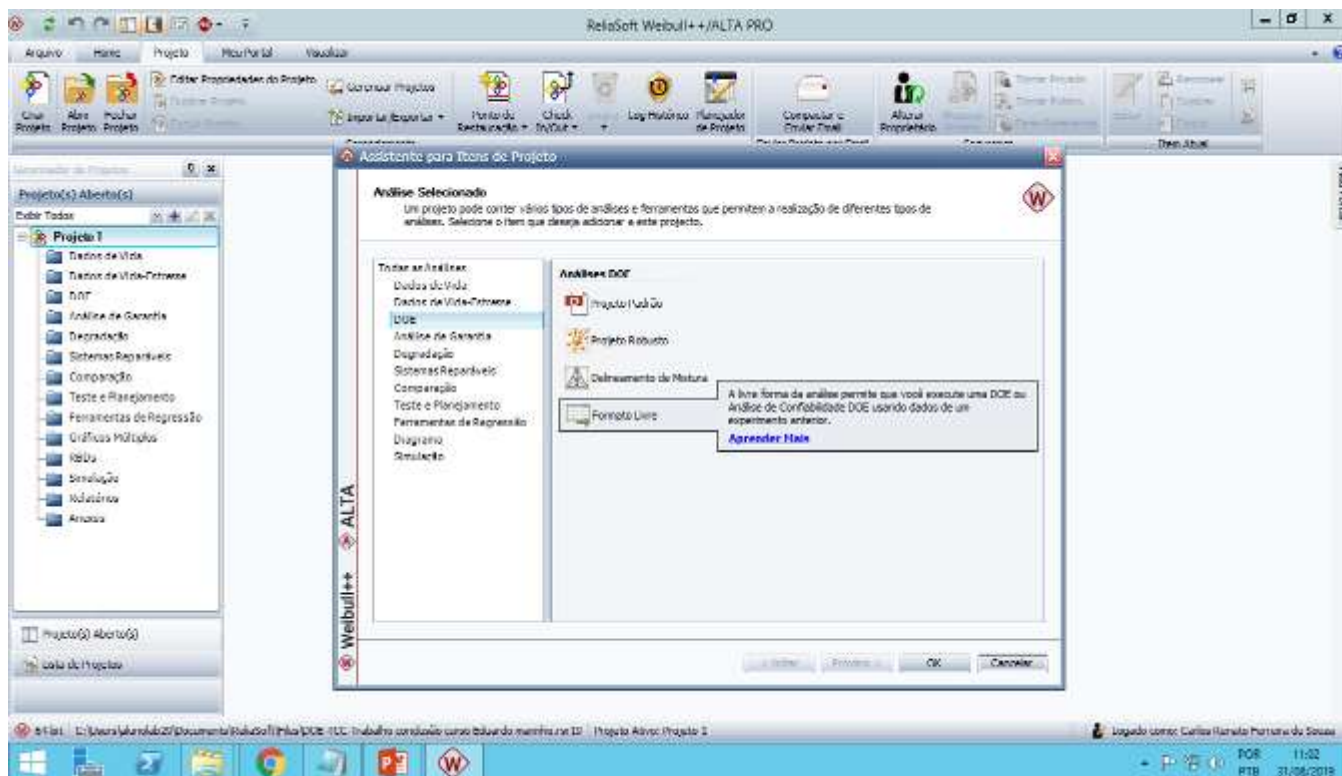
Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019)

Esta coleta de dados realizada simultaneamente para todas as variáveis, onde a primeira variável vibração da turbina será a variável resposta ao que se deseja correlacionar com as demais variáveis que serão as variáveis fontes de correção.

Aplicação do software da ReliaSoft – Reliability and Maintainability Analysis” utilizando a Ferramenta DOE –Delineamento de experimentos formato livre,

utilizando a análise de regressão linear simples para correlacionar a variável vibração mancal 1 com as demais variáveis para determinar a variável que influencia na vibração do mancal

Figura 11 – ReliaSoft – DOE- Regressão linear simples



Fonte:ReliaSoft (2019)

Conforme figura 11 , página inicial do software Weibull++ , onde está contido a ferramenta DOE formato livre que dá a liberdade de incluir a variável resposta e variáveis fontes, que irão correlacionar-se com a variável resposta, indicando quem mais fortemente influencia a vibração da turbina.

Os dados extraídos do sistema de monitoração de variáveis da AMT, foram extraídos e lançados em uma planilha de Excel e copiados para planilha de dados do DEO, conforme pode ser visto na figura 12.

Figura 12 – ReliaSoft – Lançamento dos dados no programa

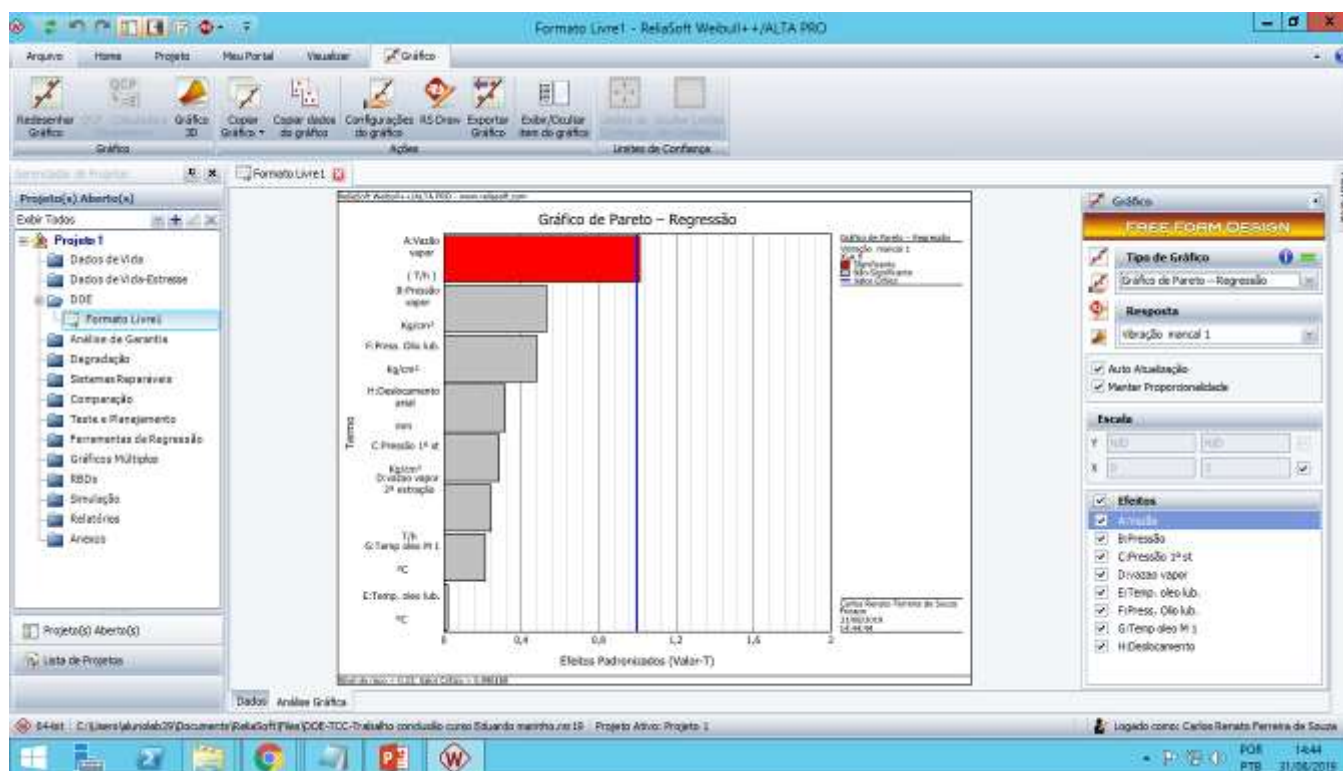
	Vibração máximal (μm)	Vazão vapor (T/h)	Pressão vapor Kg/cm ²	Pressão 1 ^a Kg/cm ²	vazão vapor 2 ^a extraç ^o	Temp. óleo lub. °C	Press. Óleo Kg/cm ²	Temp óleo M °C	Deslocamento axial mm
1	74,2	102,7	99,7	49	0	42,7	1,5	81,8	0,31
2	113,7	168,2	97,5	49	2,1	42,1	1,5	86,2	0,3
3	102	164,9	99,4	43,2	0	42,1	1,49	86,8	0,3
4	98,1	166	99,7	43,3	0	42,4	1,5	85,1	0,3
5	104	118	98	30,7	0	43	1,48	89,8	0,3
6	94,9	163	98,4	43,77	3,9	43,3	1,5	85,4	0,3
7	104,2	117,2	98,9	29	0	42,6	1,4	89,2	0,28
8	99,8	111,1	99	31	0	42,7	1,3	89,1	0,28
9	77,9	189	97,7	48,4	8	43,2	1,5	83,6	0,29
10	102,5	144,6	99,5	39,8	3,9	43,7	1,5	87	0,3
11	91,1	131	99,4	35,7	0	43,5	1,4	85,1	0,3
12	101,2	132,1	98,9	35,5	0	43,4	1,51	87	0,29
13	90,7	181	99,4	47,2	2,2	43,3	1,3	87,4	0,3
14	97,3	164	98,3	44	0	42,9	1,3	85,1	0,29
15	92,2	110	98,8	29,5	0	43,4	1,5	89,3	0,3
16	91,9	173	98	39,5	0	43,4	1,5	82,8	0,31
17	84	206,4	97,3	55,1	11	43,5	1,3	83,4	0,29
18	104,47	152	98,6	37,5	3,6	44	1,5	86,4	0,28
19	111,3	113	97,3	30,3	0	45,4	1,5	87,5	0,29
20	97	122,3	98,8	33,5	1,5	48,1	1,49	91,7	0,28
21	107,4	141	99,4	38	0	43,3	1,3	85,9	0,29
22	97,57	164	98,1	45,1	9,6	46,7	1,5	86	0,3

Fonte: ReliaSoft (2019)

A partir dos dados lançados na planilha, são determinados que é variável resposta e quais são as variáveis fonte para serem correlacionadas.

A partir do lançamento dos dados, é estabelecido com qual grau de significância deseja-se encontrar a variável com correlação mais forte com a variável resposta, conforme pode ser visto na figura 13.

Figura 13 – Gráfico de Pareto – Variação da vazão de vapor interfere na vibração do mancal.

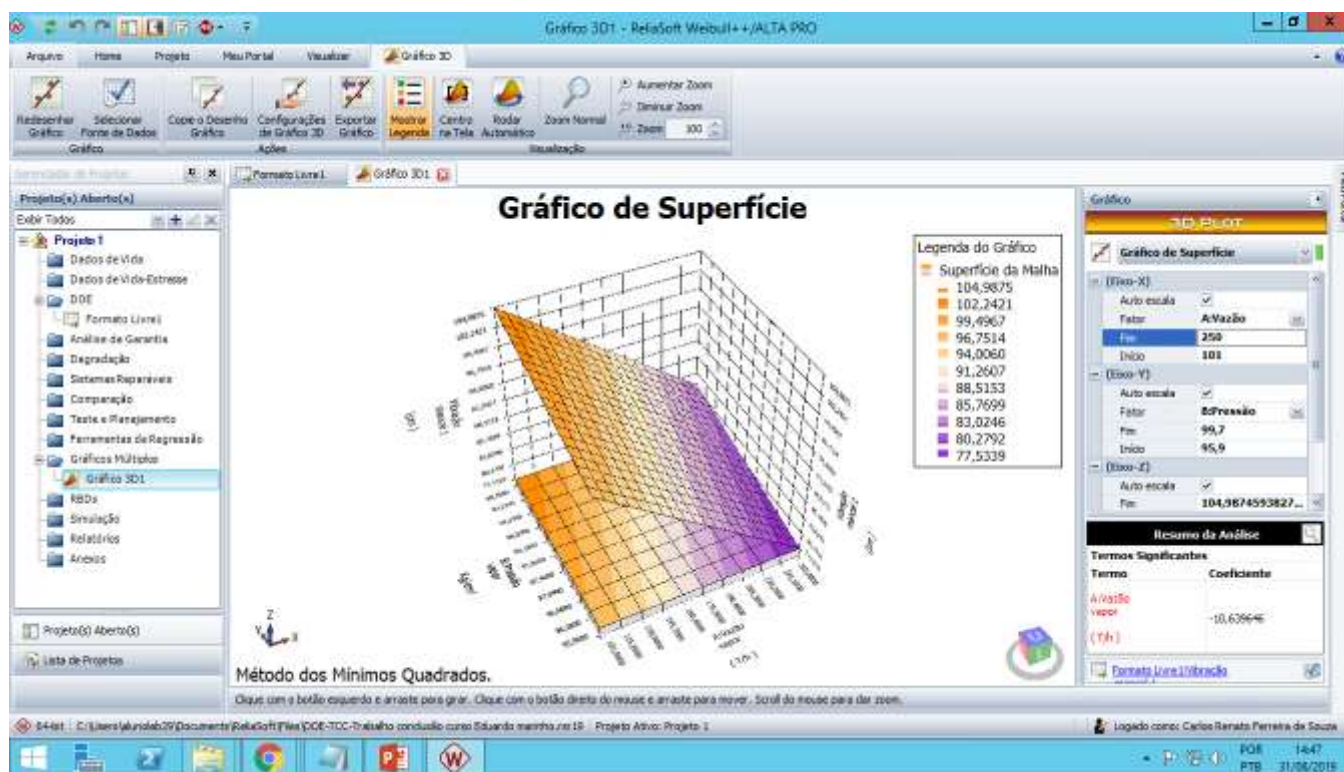


Fonte: ReliaSoft (2019)

O gráfico de Pareto gerado a partir do pedido para calcular as correlações, indicou que a vazão de vapor da turbina é a variável que maior influência a vibração do mancal da turbina com 78% de certeza ou 32% de significância.

O gráfico de superfície gerado pelo cálculo da confiabilidade quantitativa, deixa claro a relação direta entre o incremento da vazão de vapor e queda da vibração do mancal número 1, conforme pode ser visto na figura 14.

Figura 14 – ReliaSoft – Relação direta entre variação de vazão x vibração do mancal



Fonte: ReliaSoft (2019)

Analisando este gráfico podemos verificar a mesma tendência contrária de queda da vazão de vapor e incremento da vibração d do mancal número 1 da turbina.

A partir da regressão linear, identificado a variável vazão de vapor influenciando a vibração do mancal, como tratar essa informação? Conforme pode ser visto na tabela 2, foi aplicado uma segunda ferramenta da engenharia de confiabilidade a FMECA.

Tabela 2 – FMECA – Rotor turbina 03 vibrando

ESTUDO DESENVOLVIDO EM VÍDEO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO		EQUIPAMENTO: TURBINA								
UNIDADE: CENTRAL TERMELÉTRICA E SOPRADORES		REPERTE: Projeto Sobol, Eneco, Funado, Emano, Berto, Fábulo, GOM, Bino, Soma								
GRUPO-UNIDADE: CTE 03		DATA DA ELABORAÇÃO/REVISÃO: 06/03/2019								
SISTEMA: TURBINA A VAPOR COM 3600 RPM						DEFINIR O TIPO DA TAREFA PROPOSTA: ISR - INSPEÇÃO SENSITIVA DE ROTINA, ISF - INSPEÇÃO SENSITIVA EM PARADA, IIN - INSPEÇÃO PREDITIVA DE ROTINA, ISF - INSPEÇÃO PREDITIVA EM PARADA, SER - SERVIÇOS DE ROTINA, SEP - SERVIÇOS EM PARADA, PGR - PLANO DE GARANTIA OPERACIONAL DE ROTINA, PGR - PLANO DE GARANTIA OPERACIONAL DE PARADA				
FUNÇÃO DO SISTEMA: FORNECER ENERGIA MECÂNICA										
SUB-SISTEMA	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHAS	SE- R	OCCOR- R	DETE- C	RPN	CAUSAS	TAREFA PROPOSTA PELA MATRIZ DECISÃO RPN	PONTOS PROPOSTOS PARA ELABORAÇÃO DE PLANOS
TURBINA	FORMECER ENERGIA MECÂNICA NA PONTA DO EIXO COM ROTACÃO DE 3600RPM, COM TOLERÂNCIA DE 44-130% E POTÊNCIA ENTRE 35 A 131MW	NÃO FORMECER ENERGIA MECÂNICA NA PONTA DO EIXO ENTRE 35 A 131MW	ROTOR VIBRANDO	S	4	4	64	DESBALANCEAMENTO FLUIDO DINÂMICO	TAREFA PROGRAMADA DE LOCALIZAÇÃO DE FALHA	AJUSTAR ABERTURA
				S	4	4	64	SOPORTE HELA DA TUBULAÇÃO QUEBRADO/ DESREGULADO	TAREFA PROGRAMADA DE LOCALIZAÇÃO DE FALHA	REALIZAR INSPEÇÃO NOS SUPORTES E PONTOS DE SUSTENTAÇÃO DA TUBULAÇÃO DE VAPOR AJUSTAR OU TROCAR

Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019)

O estudo indicou duas possibilidades, uma vibração vinda da deficiência dos suportes mola de sustentação da tubulação de vapor e ou problema de sequenciamento de abertura de válvulas de admissão de vapor, que serão verificados e ajustados na próxima manutenção programada da turbina.

As tarefas de manutenção foram definidas para cada modo de falha sugeridas pelo estudo de manutenção centrada em confiabilidade que são elas:

Inspeccionar os suportes molas da tubulação principal de vapor da turbina, pois, estes podem estar desregulados ou quebrados, provocando esforços no flange de fixação entre tubulação principal de vapor e a carcaça da turbina.

Consultar o fabricante da Turbina para mudar o ajuste de sobreposição de abertura das válvulas de admissão de vapor melhorando assim, o fluxo de vapor para turbina, eliminando o efeito do desbalanceamento fluido dinâmico.

6 CONCLUSAO

A aplicação da análise de regressão linear como ponto positivo , identificou com 32% de significância que a variação da vazão de vapor na entrada da turbina é uma variável perturbadora da vibração do mancal 1, confirmando a eficácia da utilização da confiabilidade quantitativa como ferramenta no auxílio de identificação de problemas, podendo esta ser aplica com abrangência para análises de outras variáveis de processo e/ou controle do parque de equipamentos da ArcelorMittal Tubarão e demais empresas do grupo.

Pode-se colocar como dificuldade para execução deste trabalho, caso não haja um profissional com o entendimento necessário do processo e equipamentos para poder selecionar as devidas correlações a serem processadas

A solução utilizando-se da FMECA como ferramenta da manutenção centrada em confiabilidade qualitativa, auxiliou na identificação e tomada de decisão para bloqueio ou mitigação das causas raiz. Este conjunto de análises e ações propostas, proporcionaram um conhecimento mais profundo dos modos de falha e seus efeitos na variação de vibração do mancal número 1 da turbina#3, estabelecendo como um ganho futuro do aumento da confiabilidade operacional da central termoelétrica número 03 da ArcelorMittal Tubarão.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Dentro desta mesma linha, aplicando regressão linear, vamos fazer um estudo em variável de controle está influenciando um erro no registro da vazão de gás de Alto forno. Trata-se de três medições que irão gerar um registro total e uma delas está com registro errado influenciando no resultado da medição total.

REFERENCIAS

CST Arcelor Brasil, Informações Institucionais, versão 1.0, 2006.

COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO. História. Disponível em <<http://www.arcelor.com/br/cst/>>. Acesso em 11 de Nov. 2008.

MOUBRAY, J; Reliability Centered Maintenance. New York, Editora Industrial press, Revisão da 2ª Edição, 2001

<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/Planejamento-de-Experimentos-DOE>