

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

ANDRÉ SANTOS CAIRES DE SOUSA

**ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO DO CONJUNTO DE ESCOVAS DO
MOTOR DE UMA LINHA DE LAMINAÇÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

ANDRÉ SANTOS CAIRES DE SOUSA

**ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO DO CONJUNTO DE ESCOVAS DO
MOTOR DE UMA LINHA DE LAMINAÇÃO**

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. Dr. Emerson Rigoni

CURITIBA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO DE CONJUNTO ESCOVAS DO MOTOR DA LAMINAÇÃO

por

ANDRÉ SANTOS CAIRES DE SOUSA

Esta monografia foi apresentada em 30 de agosto 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.

Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

Marcelo Rodrigues, Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Wanderson Stael Paris, Msc.
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho a Deus, minha esposa e minhas filhas por sempre me apoiarem nesta jornada.

Dedico também aos meus pais que sempre me apoiaram e me ensinaram valores e princípios que me motivaram a aprimorar os meus conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a ArcelorMittal por me permitir participar desta especialização.

Agradeço aos professores que compartilharam seu conhecimento ao longo deste curso.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Emerson Rigoni, pelo empenho com que se dedicou para avaliar e direcionar-me na elaboração desta monografia.

Agradeço aos meus colegas de sala pelo apoio prestado.

Agradeço a minha esposa pelo apoio, as minhas filhas pela compreensão, aos meus pais, amigos e principalmente a Deus pela sabedoria e força para atingir este objetivo.

Enfim, a todos aqueles que tiveram qualquer participação com este projeto, pois por menor que esta tenha sido, certamente teve sua parcela de importância.

RESUMO

SOUSA, André Santos Caires. **Análise de degradação de escovas do motor síncrono**. 2019. 55. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

A competitividade das empresas tem uma relação direta com o nível de confiabilidade dos seus ativos. A engenharia de confiabilidade tem um papel fundamental neste cenário, onde traz ferramentas para que os sistemas possam ser mensurados, estudado e melhorado. Para o estudo de confiabilidade foi selecionada uma linha de laminação à frio de aços planos, composta por sistemas reparáveis. Este trabalho apresenta a metodologia utilizada para realizar um estudo de confiabilidade em um conjunto escovas de um motor síncrono, visando comparar dados de confiabilidade utilizados durante a manutenção do sistema. Em seguida será aplicada uma análise de degradação para definir a data ótima de troca das escovas. Como resultado, o trabalho apontará uma manutenção mais eficiente a fim de evitar quebras, visando o aumento da confiabilidade e disponibilidade do ativo, evidenciando, portanto, a engenharia de confiabilidade como ferramenta importante na busca de melhores resultados e suporte de decisão na aplicação dos recursos financeiros da empresa.

Palavras-chave: Degradação. Escova Elétrica. Motor.

ABSTRACT

SOUSA, André Santos Caires. **Analysis of degradation of synchronous motor brushes**. 2019. 55. Monography (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2019.

The competitiveness of companies has a direct relationship with the level of reliability of their assets. Reliability engineering plays a key role in this scenario, where it brings tools so systems can be measured, studied and improved. For the reliability study, a cold rolling line of flat steel, composed of repairable systems, was selected. This work presents the methodology used to perform a reliability study on a set of brushes of a synchronous motor, in order to compare reliability data used during system maintenance. Next, a degradation analysis will be applied to define the optimum brush exchange date. As a result, the work will point to a more efficient maintenance in order to avoid breaks, aiming to increase the reliability and availability of the asset, thus evidencing reliability engineering as an important tool in the search for better results and decision support in the application of the financial resources of the company.

Palavras-chave: Degradation. Electric Brush. Motor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - ArcelorMittal Vega.....	17
Figura 2.2 - Cadeira de Laminação.....	19
Figura 2.3 - Foto do laminador de tiras a frio da AMV.....	19
Figura 2.4 - Composição de uma cadeira de laminação QUÁDRUO.....	20
Figura 2.5 - Diagrama da malha de controle.....	21
Figura 2.6 – Carcaça.....	22
Figura 2.7 – Estator.....	23
Figura 2.8 – Rotor.....	24
Figura 2.9 – Escovas do Anel coletor.....	24
Figura 2.10 – Motor Síncrono.....	25
Figura 2.11 – Desenho do Motor Síncrono com corte parcial.....	25
Figura 3.1 - Modelos de degradação.....	30
Figura 3.2 - Diagrama simplificado do Sistema PIMS em Vega.....	35
Figura 4.1 - Manutenção mensal do motor.....	36
Figura 4.2 – Ficha de medição de desgaste das escovas.....	37
Figura 4.3 – Fluxo de Leitura das Informações.....	38
Figura 4.4 – Fluxo de Leitura das Informações.....	39
Figura 4.5 – Interface de Gerenciamento do desgaste das escovas.....	39
Figura 4.6 - Aplicação sendo usada por dispositivo Mobile.....	40
Figura 4.7 - Escova elétrica.....	40
Figura 4.8 - Modelo do arquivo gerado pela aplicação dos dados armazenados.....	41
Figura 4.9 - Dados inseridos no Weibull++.....	42
Figura 4.10 - Assistente do modelo de degradação.....	43
Figura 4.11 – Alerta por e-mail devido ao desgaste excessivo.....	48
Gráfico 3.1 - Modelo linear com degradação iniciando logo após o primeiro uso.....	31
Gráfico 3.2 - Modelo linear com degradação iniciando após algum uso.....	32
Gráfico 3.3 - Modelo não-linear com degradação iniciando logo após o primeiro uso.....	32
Gráfico 3.4 - Modelo não-linear com degradação iniciando após algum uso.....	33
Gráfico 4.1 – Assistente do modelo de degradação5.....	43
Gráfico 4.2 – Gráfico de Taxa de Falha versus Tempo6.....	46
Gráfico 4.3 – Gráfico de Probabilidade - Weibull7.....	47
Gráfico 4.4 – Gráfico de Confiabilidade versus Tempo - Weibull8.....	47
Quadro 4.1 – Relatório de Tempo Extrapolados até a Falha / Suspensão.....	44
Quadro 4.2 - Relatório de Resultados de Aderência da Degradação.....	44
Quadro 4.3 – Relatório de Resultados de Degradação.....	45

LISTA DE SIGLAS

PLC	Programmable Logic Controller
PIMS	Plant Information Management System

LISTA DE SÍMBOLOS

∞	Infinito
γ	Parâmetro de forma na distribuição Gama
λ	Parâmetro de escala na distribuição Gama
β	Parâmetro de forma na distribuição Weibull
η	Parâmetro de escala na distribuição Weibull

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	ÁREA DE APLICAÇÃO	16
2.1	A EMPRESA ARCELORMITTAL	16
2.2	A ARCELORMITTAL NO BRASIL	16
2.3	A ARCELORMITTAL VEGA	17
2.4	LOCALIZAÇÃO	18
2.5	LINHA DE LAMINAÇÃO	18
2.5.1	Laminador de Tiras a Frio ArcelorMittal Vega	19
2.5.2	Características do Laminador da ArcelorMittal Vega	21
2.6	MOTORES SÍNCRONOS – CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS	21
2.6.1	Carcaça	21
2.6.2	Estator	22
2.6.3	Rotor	23
2.6.4	Anéis coletores e escovas	24
2.6.5	Mancais	24
2.7	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	26
3	REFERENCIAL TEÓRICO	27
3.1	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE CONFIABILIDADE	27
3.2	MODELOS DE DEGRADAÇÃO	28
3.2.1	Modelo de degradação para dados não acelerados	30
3.2.2	Modelo linear com degradação iniciando logo no primeiro uso	31
3.2.3	Modelo linear com degradação iniciando após algum uso	32
3.2.4	Modelo não-linear com degradação iniciando logo no primeiro uso	32
3.2.5	Modelo não-linear com degradação iniciando após algum uso	33
3.3	FERRAMENTA DE COLETA DE DADOS	34
3.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	35
4	DESENVOLVIMENTO	36
4.1	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	36
4.2	BASE DE DADOS	37
4.3	APLICAÇÃO DE REGISTRO DAS MEDIÇÕES	37
4.3.1	Fluxo de leitura da informação	37
4.3.2	Fluxo de escrita da informação	38
4.4	INTERFACE USUÁRIO – MONITORAMENTO DAS INFORMAÇÕES	39

4.5	DETERMINAÇÃO DOS MODELOS ESTATÍSTICOS E TESTE DE ADERÊNCIA.....	41
4.6	RESULTADO DA SIMULAÇÃO.....	43
4.7	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	48
5	CONCLUSÃO.....	49
5.1	DIFICULDADE ENCONTRADA.....	49
5.2	BENEFÍCIOS PARA A EMPRESA.....	49
5.3	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	50
	APÊNDICE A – DADOS DE MANUTENÇÃO DAS ESCOVAS DOS MOTORES..	53

1 INTRODUÇÃO

A laminação é uma linha de produção cujo processo tem por objetivo reduzir a espessura do material que passa por ele. Por se tratar de um processo contínuo, um alto nível de desempenho é esperado, o exigindo que o índice de disponibilidade geral da linha esteja dentro da meta estipulada pelos gestores da empresa, o que proporciona à equipe de operação as condições para fabricar um produto de alta qualidade, com custo competitivo, comparando-se aos mercados nacionais e internacionais.

Os equipamentos nem sempre apresentam a confiabilidade para os quais foram projetados por uma série de motivos, quando o ativo começa a apresentar falhas é necessário intervir para restaurar sua condição básica ou até mesmo realizar um projeto para melhorar a condição inicial de operação.

Os motores da laminação, responsáveis por manter a chapa de aço tensionada são os principais equipamentos do sistema para o controle de espessura. Atualmente as manutenções preventivas possuem um alto tempo de intervenção e, pelo histórico do equipamento, as falhas geradas impactam em um alto tempo de ação corretiva, refletindo diretamente nos indicadores de produção e do negócio.

A linha de laminação foi escolhida para aplicação das técnicas de confiabilidade e o presente trabalho engloba a análise de degradação das escovas dos motores, de forma a aperfeiçoar o processo de troca das escovas, consequentemente reduzindo as quebras e aumento de performance da linha.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

A empresa de aplicação deste estudo de caso é do Grupo ArcelorMittal e esta linha de laminação é um dos processos que requer maiores índices de confiabilidade e com grande exigência de qualidade. Por ser a linha responsável em abastecer as linhas de produto final, galvanização e recozimento. Os principais clientes é a indústria automotiva por isso, os casos de parada de produção impactam diretamente nas linhas posteriores e entrega do material para os clientes.

Os motores da laminação se diferenciam dos demais equipamentos da linha, pela robustez, disponibilidade e os sistemas que se interagem, por isso é importante conhecer os indicadores de confiabilidade deste equipamento, bem como os demais sistemas que se relacionam com o conjunto.

O que se pretende ao final do trabalho é gerar uma padronização, otimização e automatização no processo de manutenção das escovas dos motores, a fim de garantir disponibilidade, confiabilidade e durabilidade do ativo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar de forma consistente o período de troca das escovas dos motores de um processo de laminação.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral, os seguintes passos serão foram seguidos:

1. Conhecer as métricas de confiabilidade das escovas;
2. Desenvolver uma aplicação para coleta dos dados;
3. Orientar e acompanhar o usuário para o correto preenchimento;
4. Analisar os dados obtidos no software Weibull++ para verificar a melhor distribuição que representa as curvas de confiabilidade do ativo;
5. Estabelecer de forma automática a necessidade de troca das escovas com o sistema de manutenção ARMP - SAP;
6. Verificar de forma automática a necessidade de reposição das escovas no estoque, caso haja necessidade de troca.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho surgiu da necessidade de se conhecer os valores de confiabilidade dos componentes de alto potencial de perda para o negócio, a fim de tomar ações para o aumento da disponibilidade geral da linha. Como o conjunto motor apresentava muitos problemas que impactavam no resultado geral, e por se tratar de um equipamento que existem outros semelhantes na linha, as ações que serão levantadas podem ser aplicadas aos demais equipamentos também, sendo este um equipamento piloto.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente será realizada a coleta dos dados históricos do registro das medições de desgaste das escovas e seus respectivos fatores.

Subsequentemente, estes dados serão preparados para serem utilizados no software Weibull++ para testes de aderência, levantamento das melhores distribuições estatísticas, serão realizados para análise da confiabilidade.

Finalmente, com a aplicação das ferramentas de análise quantitativa da confiabilidade, pretende-se, evidenciar os resultados e executar ações para automatização do processo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será composto por cinco capítulos.

No capítulo 1 é tratada a introdução deste trabalho. Nele são apresentados os objetivos, a justificativa e procedimentos metodológicos que serão utilizados para alcançar os resultados pretendidos.

No capítulo 2 a área de aplicação do trabalho é abordada. Ele trás as informações do contexto industrial onde o trabalho se encaixa.

O capítulo 3 caracteriza-se pela apresentação dos procedimentos e ferramentas utilizadas para desenvolver o trabalho, com a explicação teórica básica para fundamentar a sua utilização.

No capítulo 4 o desenvolvimento do trabalho é apresentado. Nele as ferramentas abordadas no capítulo 3 serão colocadas em prática e os resultados tabulados para realizar a comparação entre os dois equipamentos em questão.

O capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas com os dados alcançados e apresenta a sugestão para novos trabalhos.

2 ÁREA DE APLICAÇÃO

Este trabalho será aplicado na ArcelorMittal Vega, sem São Francisco do Sul/SC. Em seguida serão apresentados detalhes sobre a empresa, a linha de laminação e sobre o principal equipamento e suas características mais importantes.

2.1 A EMPRESA ARCELORMITTAL

A ArcelorMittal, resultado da fusão da Arcelor e da Mittal Steel, é a maior empresa siderúrgica do mundo, com 320 mil empregados, presença em mais de 60 países e capacidade de produção de 130 milhões de toneladas/ano – aços planos, longos e inoxidáveis, o que corresponde a mais de 10% da produção mundial de aço.

Ocupa posição de liderança em seus principais mercados, entre eles o de automóveis, construção, eletrodoméstico e embalagens. O grupo conta com tecnologia de vanguarda e mantém presença destacada no segmento de matérias-primas, além de trabalhar com extensa rede de distribuição.

A ArcelorMittal adota elevados padrões de Responsabilidade Social Corporativa, um compromisso comprovado com a divulgação periódica de indicadores de desenvolvimento sustentável.

2.2 A ARCELORMITTAL NO BRASIL

Constituída no final de 2005, agrupando as empresas Belgo, CST e ArcelorMittal Vega é a empresa siderúrgica de maior valor do mercado no país. Tem presença destacada nos mercados interno e internacional de aço, ofertando produtos longos (laminados e trefilados) e planos (placas e laminados) de qualidade diferenciada para as mais diversas aplicações – automóveis, eletrodomésticos, embalagens, construção civil e naval, entre outras.

2.3 A ARCELORMITTAL VEGA

A ArcelorMittal Vega conforme demonstrado na figura 2.1, localizada em São Francisco do Sul/SC, é uma das mais modernas unidades de transformação de aços planos do mundo, operando com avançados processos de decapagem, laminação a frio e galvanização. A empresa processa bobinas a quente fornecidas pela ArcelorMittal Tubarão, em Vitória/ES, que são transportadas por meio de um inovador sistema de barcaças oceânicas.

Tem capacidade de produção de 880 mil toneladas de aço por ano entre laminados a frio e galvanizados, destinados principalmente às indústrias de automóvel e de eletrodomésticos, à produção de tubos e à construção civil. A empresa é fruto de um investimento de US\$ 420 milhões, o maior investimento privado da história de Santa Catarina, e gera, no Condomínio Vega, cerca de 900 empregos.

A operação da primeira linha de Galvanização começou em julho de 2003. As linhas de decapagem e laminação começaram a operar em setembro e outubro, respectivamente, e até o final de 2003 todas as linhas da unidade industrial estavam em funcionamento. A inauguração oficial foi em 27 de abril de 2004 e fez parte das comemorações dos 500 anos de descobrimento de São Francisco do Sul. Em março de 2010, como processo de ampliação do parque fabril, entrou em funcionamento a segunda linha de Galvanização, ampliando a produção da unidade para 1,4 milhão de toneladas de aço por ano.

Figura 2.1 - ArcelorMittal Vega



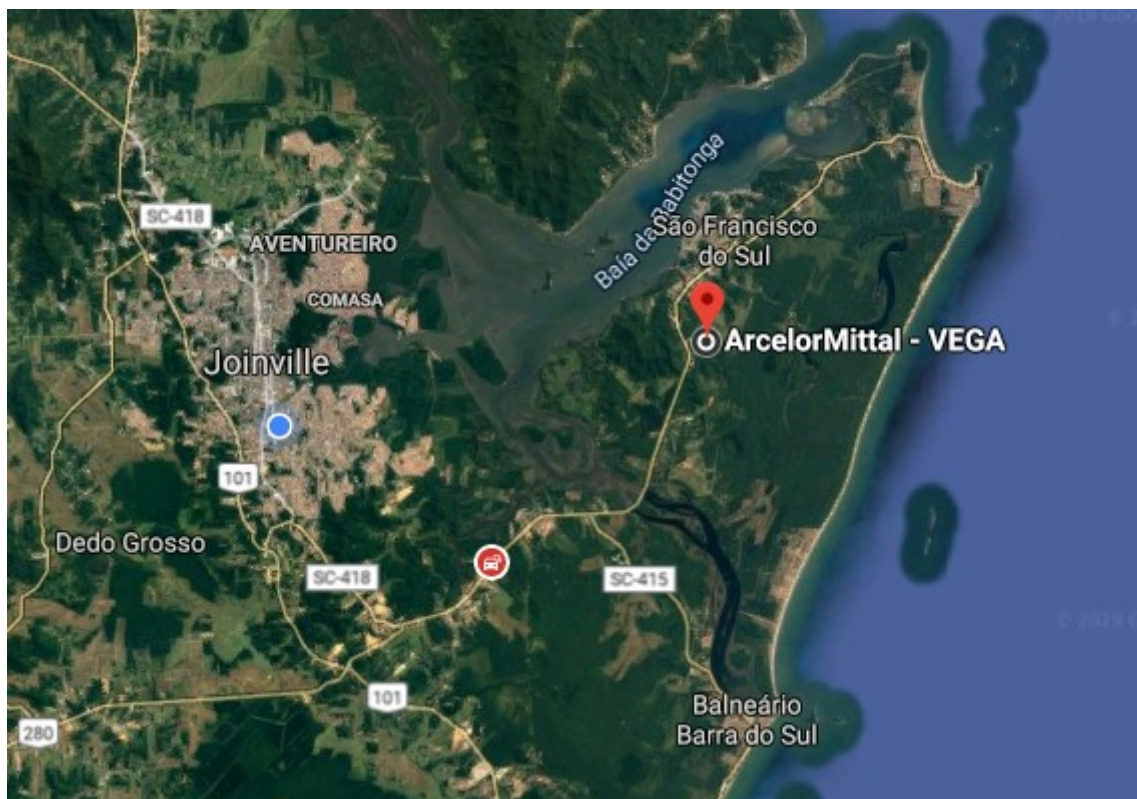
Fonte: Vega – ArcelorMittal, 2017.

2.4 LOCALIZAÇÃO

A cidade de São Francisco do Sul foi escolhida como base da unidade industrial devido a sua localização estratégica em relação às montadoras do Sul e Sudeste do país e do MERCOSUL, e a proximidade ao porto de São Francisco do Sul, ferrovia e rodovia.

A unidade industrial está totalmente integrada ao meio ambiente. Ocupa uma área de 100 mil metros quadrados, o que representa menos de 5% do terreno de 2,2 milhões de metros quadrados. O mapa da localização da empresa é apresentado na **figura 2.1**.

Figura 0.2 - Localização ArcelorMittal Vega

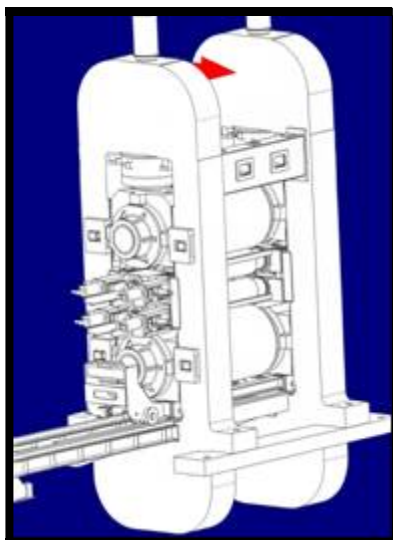


Fonte: Vega – ArcelorMittal, 2017.

2.5 LINHA DE LAMINAÇÃO

A Um laminador é composto essencialmente de vários suportes chamados de CADEIRAS, conforme figura 2.2, que mantêm os cilindros do laminador. Estes cilindros são chamados cilindros de trabalho e cilindros de encosto.

Figura 2.2 - Cadeira de Laminação



Fonte: Vega – ArcelorMittal, 2004.

A montagem de várias cadeiras constitui um trem de laminação, figura 2.3. Seu objetivo é reduzir a espessura do material sem alterar sua largura e atender as especificações dos clientes. (SMS/DEMAAG, 2002).

Figura 2.3 - Foto do laminador de tiras a frio da AMV



Fonte: o autor (2010).

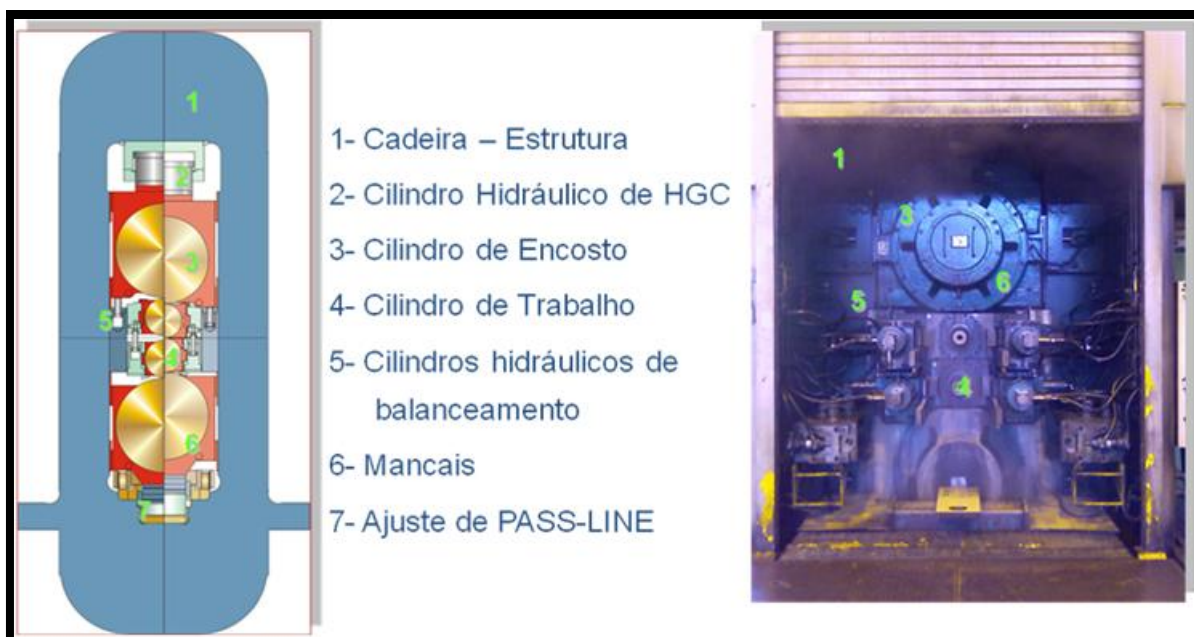
2.5.1 Laminador de Tiras a Frio ArcelorMittal Vega

O laminador da ArcelorMittal Vega possui quatro cadeiras formando o laminador de tiras a frio (LTF). A configuração das cadeiras é do tipo QUADRUO conforme figura 2.5.

Seus cilindros de trabalho são tracionados por motores elétricos que podem atingir 3MW cada, sendo que duas dessas cadeiras possuem dois motores com ambos interligados pelo eixo.

Cada cadeira é formada pelas seguintes partes: (SMS/DEMAG, 2002)

Figura 2.4 - Composição de uma cadeira de laminação QUÁDRUO



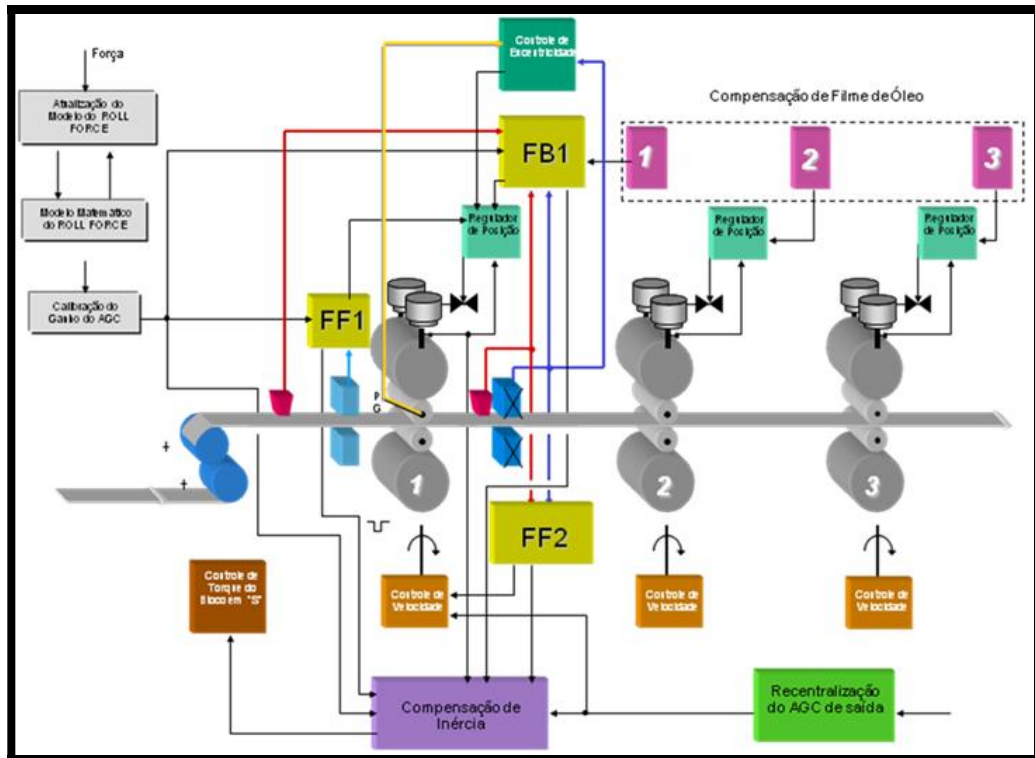
Fonte: SMS/DEMAG, 2002.

Os cilindros possuem mancais com rolamentos, pois durante o processo esses cilindros giram em função do contato com os cilindros de trabalho que são motorizados. A velocidade média dos cilindros é de 120rpm, com isso as partes mecânicas dos mancais desses cilindros sofrem aquecimento em função dos atritos internos.

Para refrigerar e diminuir os atritos os mancais possuem um sistema de refrigeração que consiste em injetar ar, a 2 bar de pressão e óleo. (SMS/DEMAG, 2002).

Todo esse sistema é controlado por vários loops de controle que são responsáveis em adequar as forças envolvidas no processo, com o objetivo de ter na saída do equipamento a espessura especificada pelo cliente podendo variar no máximo $\pm 2\%$. (SMS/DEMAG, 2002), conforme figura 2.5.

Figura 2.5 - Diagrama da malha de controle



Fonte: SMS/DMAG, 2002.

2.5.2 Características do Laminador da ArcelorMittal Vega

- Velocidade máxima: 850 mpm – 4.^a cadeira;
- Máxima pressão de laminação por cadeira: 3000 Tons;
- Faixa de espessuras de saída: entre 0,40 e 2,00 mm;
- Precisão de espessura: $\pm 1\%$;
- Faixa de larguras do material: entre 750 e 1875 mm.

2.6 MOTORES SÍNCRONOS – CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

Os motores síncronos são compostos por estator, rotor, mancais, rotor, anéis coletores e escovas.

2.6.1 Carcaça

Sua função principal é apoiar e proteger o motor, alojando também o pacote de chapas e enrolamentos do estator. Podem ser construídas nos tipos horizontal e

vertical e com grau de proteção de acordo com as necessidades do ambiente. A carcaça é construída em chapas e perfis de aço soldado, formando um conjunto sólido e robusto que é a base estrutural da máquina. Esse tipo de construção proporciona excelente rigidez estrutural, de maneira a suportar esforços mecânicos provenientes de eventuais curtos-circuitos e vibração, capacitando o motor à atender as mais severas solicitações conforme figura 2.6

Figura 2.6 – Carcaça



Fonte: WEG, 2019.

2.6.2 Estator

A construção de um estator é formada por uma carcaça isolada por um conjunto de chapas de aço silício de alta qualidade, figura 2.7. Seu respectivo enrolamento está assentado no interior da carcaça, sensores térmicos de temperatura do tipo PT100 estão instalados no enrolamento do estator, atendendo as características elétricas e térmicas solicitadas pelo cliente, calculadas com base no processo produtivo, além de ser verificada a distorção harmônica e analisados ruídos magnéticos e vibrações naturais da linha de produção, as bobinas do estator

são construídas com fio retangular. As cabeças de bobinas recebem reforços mecânicos para proteger contra faltas no estator.

Figura 2.7 – Estator



Fonte: WEG, 2019.

2.6.3 Rotor

O rotor possui dois distintos enrolamentos: Os polos de excitação de corrente CC são eletricamente conectados entre si e formam a série de polos norte e sul ao redor do rotor. O fluxo gerado por estes polos alinhados com o campo rotativo gerado pelo estator, faz com que o rotor gire em sincronismo com o campo do estator. A figura 2.8 demonstra a construção de um rotor.

O enrolamento amortecedor é formado por barras paralelas alojadas longitudinalmente nas sapatas polares dos polos do rotor e curto circuitadas entre si, através de anéis nas extremidades dos polos. Este enrolamento tem sua função tanto na partida como também quando trabalhando na rotação síncrona.

Durante a partida o enrolamento amortecedor atua com um rotor de motor de gaiola. Em algumas aplicações, o enrolamento amortecedor limita as pulsações de corrente no estator e no acionamento.

Para aplicações com inversor de frequência o enrolamento amortecedor protege os enrolamentos dos polos dos efeitos de várias harmônicas presentes na alimentação principal do estator.

Figura 2.8 – Rotor

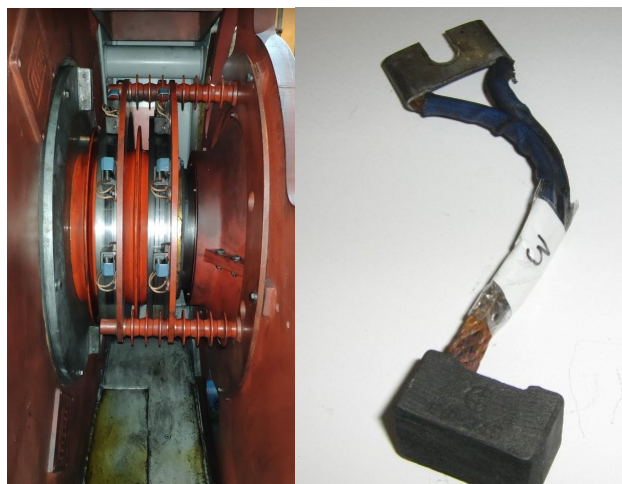


Fonte: WEG, 2019.

2.6.4 Anéis coletores e escovas

Os anéis coletores são alojados no eixo do motor e servem para enviar a energia diretamente para o enrolamento de campo do motor através do contato com as escovas.

Figura 2.9 – Escovas do Anel coletor



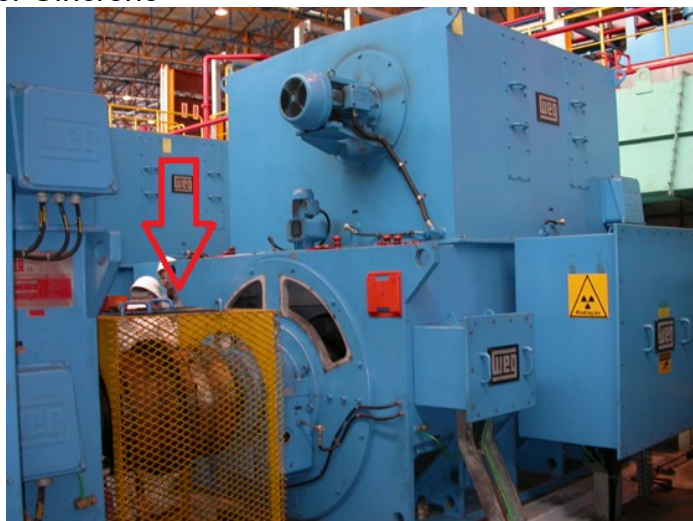
Fonte: o autor (2019).

2.6.5 Mancais

Os mancais estão dispostos nas extremidades do motor e servem para suportar o peso do rotor e permitir o movimento rotativo do rotor principal do motor. Os mancais são lubrificados à óleo e possuem ainda um sistema de pressão de óleo que deve ser acionado antes da partida e parada do motor (*Hydrostatic Jacking*). A

figura 2.10 exibe a conexão dianteira do mancal com a parte traseira de outro motor para aumento de potência.

Figura 2.10 – Motor Síncrono



Fonte: o autor (2019).

Os motores síncronos fornecidos, possui ótimo desempenho para o processo, podendo reduzir a eletricidade, bem como para melhorar a eficiência do sistema, correção do fator de potência da fonte de alimentação na qual estão instalados. Na figura 2.11 exibe a visão interna do motor.

Figura 2.11 – Desenho do Motor Síncrono com corte parcial



Fonte: WEG, 2019.

2.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a informações relevantes sobre a empresa e a linha de produção alvo deste trabalho. Cada setor foi retratado de forma sucinta a fim de dar uma ideia ao leitor de como funciona uma linha de laminação e a estrutura de um motor síncrono.

O conteúdo apresentado neste capítulo foi de suma importância para compreensão dos impactos que o processo e os equipamentos apresentam no resultado de performance da linha afetando a disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade.

No próximo capítulo serão abordadas as ferramentas utilizadas para a execução do trabalho de análise de degradação das escovas dos motores principais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será explanado o referencial teórico da engenharia de confiabilidade e serão abordadas as ferramentas de confiabilidade quantitativa utilizadas no desenvolvimento deste estudo de caso, provendo o embasamento teórico necessário, que inclui os Conceitos de análise de degradação.

3.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE CONFIABILIDADE

A confiabilidade pode ser definida, segundo a ABNT NBR 5462/1994, como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um dado intervalo de tempo.

O termo “Confiabilidade” também pode ser definido como sendo a confiança de que um componente, equipamento ou sistema desempenhe sua função básica, durante um período de tempo preestabelecido, sob condições padronizadas de operação (KARDEC, 2002).

As medidas de degradação podem, particularmente onde pouca ou nenhuma falha é esperada, proporcionar consideravelmente mais informação do que dados de tempo até a falha disponíveis. Colocam, ainda, que a observação direta do processo de degradação, em substituição aos testes acelerados comumente usados para obter informações mais rápidas em testes de confiabilidade, permite modelagem direta do mecanismo de causa da falha, proporcionando mais credibilidade, confiabilidade estimada garantida e uma firme base para extrapolações, (MEEKER e HAMADA, 1995).

O estudo da confiabilidade quantitativa envolve métricas importantes, as quais permitem descrever e quantificar o comportamento dos dados em análise envolvendo o conhecimento dos seus tempos até a falha.

As principais métricas de confiabilidade são (RELIAWIKI , 2019):

- Confiabilidade, $R(t)$: Probabilidade de funcionar até o tempo “t” selecionado e na mesma condição operacional analisada;
- Probabilidade de Falha, $F(t)$: Probabilidade de falhar até o tempo “t” observado e dentro da mesma condição operacional analisada;

- Vida $BX(\%)$: Intervalo de tempo em que se observa o $X\%$ de não confiabilidade (10% das falhas ocorrerão até o intervalo $B10$);
- Vida Média (MTTF): Tempo médio esperado para uma falha ocorrer em um item sob suas condições operacionais;
- Vida Mediana: Tempo em que 50% das falhas são esperadas;
- Confiabilidade Condicional $R(t|T)$: Probabilidade de funcionar até um tempo adicional “t”, dado que o item já funcionou, com sucesso, durante um intervalo de tempo “T”;
- Taxa de Falha $\lambda(t)$: Risco de falhar em um intervalo de tempo infinitamente curto (quase zero) dado que este mesmo item não falhou até então.

Tais métricas são amplamente utilizadas em estudos e análises de confiabilidade, na maioria dos casos, obtidas via software devido à alta complexidade matemática envolvida (RELIAWIKI, 2019).

3.2 MODELOS DE DEGRADAÇÃO

Degradação é a redução de desempenho, confiabilidade e duração da vida útil dos ativos. A maioria dos equipamentos degrada com o envelhecimento ou se deteriora devido fatores diversos como desgaste, trincas, fadiga dos materiais e corrosão. A confiabilidade cai à medida que os equipamentos ou componentes degradam ou se deterioram, sendo que os mesmos falham quando o nível de degradação atinge um limite específico de falha (POHL *et al.*, 1998; CRK, 2000; GORJIAN *et al.*, 2009; HAGHIGHI *et al.*, 2010). O modelo geral do caminho de degradação tem como princípio fundamental limitar o espaço amostral do processo de degradação, pressupondo que todas as funções amostrais admitem a mesma forma funcional, mas com diferentes parâmetros. O modelo geral do caminho de degradação adequa as observações de degradação através de um modelo de regressão com coeficientes aleatórios (GORJIAN *et al.*, 2009).

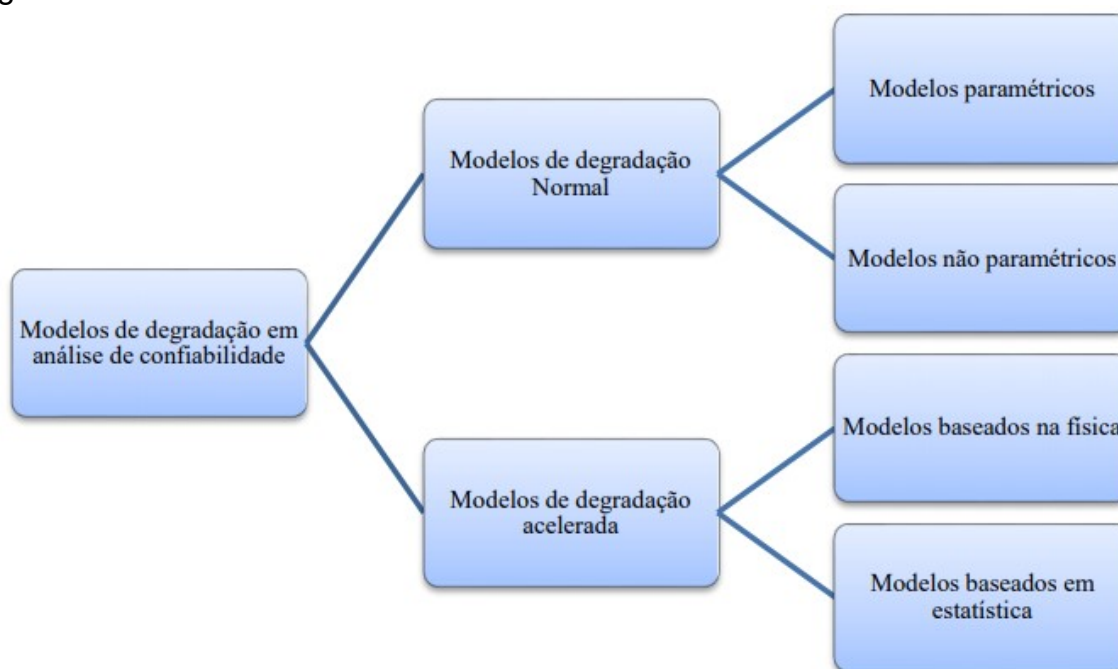
Um modelo de degradação constitui-se de uma curva ou família de curvas que revelam a evolução da degradação ou perda de desempenho, de um determinado componente ou equipamento submetido a uma carga de trabalho ao longo do tempo, (POHL *et al.*, 1998; GORJIAN *et al.*, 2009) comentam que modelos de degradação, sendo que existem diferentes classificações para abordagem

desses prognósticos. De forma geral, as abordagens são classificadas em quatro grupos:

- Abordagem baseada na experiência: é a forma mais simples de prognóstico de falha uma vez que requer menos informações detalhadas do que as outras abordagens. É baseada na distribuição de eventos de uma população de itens idênticos. Muitas abordagens tradicionais de confiabilidade como a distribuição Exponencial, Weibull e Lognormal são utilizadas para modelar a confiabilidade de ativos.
- Abordagem baseadas em modelos: são usualmente utilizados modelos matemáticos dinâmicos de um ativo monitorado. Esta abordagem pode ser baseada em modelos físicos ou estatísticos.
- Abordagem baseada no conhecimento: é adequada para resolver problemas onde modelos matemáticos acurados são muito difíceis de serem desenvolvidos ou quando as limitações das abordagens baseadas em modelos são significantes. Geralmente são utilizados sistemas especialistas, redes neurais e lógicas *fuzzy*.
- Abordagem baseada em dados (*Data-driven*): é baseada em estatística e técnicas de aprendizado que derivam da teoria de reconhecimento padrão. São utilizados métodos estatísticos multivariados e baseados em redes neurais.

Liao (2004) cita que os modelos de degradação podem ser classificados em duas categorias: modelos de degradação normal e modelos de degradação acelerada. Gorjian *et al.* (2009) cita estas mesmas classificações e propõe um agrupamento para os diversos modelos de degradação. A figura 3.1 mostra esquematicamente esse agrupamento.

Figura 3.12



Fonte: Adaptado de Liao, 2004 e Gorjian, 2009

Um modelo de degradação constitui-se em uma curva, ou uma família de curvas, que revela a evolução da degradação, ou queda de desempenho, de um determinado componente ou produto submetido a uma determinada carga de trabalho ao longo do tempo. Para um produto específico, usualmente existem propriedades padrão de desempenho e métodos para medi-las. Certas propriedades degradam com a idade do produto, e esta degradação pode ou não ser acelerada na presença de altos níveis de “*stress*” (POHL et al.,1998). Os modelos de degradação propostos neste trabalho ajustam dados advindos de ensaios não-acelerados.

3.2.1 Modelo de degradação para dados não acelerados

A confiabilidade de um produto ou componente é tradicionalmente medida com base em dados de tempo até a falha. Com a crescente necessidade de reagir e adaptar-se às rápidas mudanças do mercado, o tempo disponível para testar um produto têm sido cada vez menor. Os testes de vida acelerados apresentam-se como uma alternativa usual para obter dados de confiabilidade em um tempo reduzido. No entanto, eles podem resultar em pouca ou nenhuma falha, ou ainda, não serem aplicáveis. Alguns produtos não podem ser acelerados por já serem

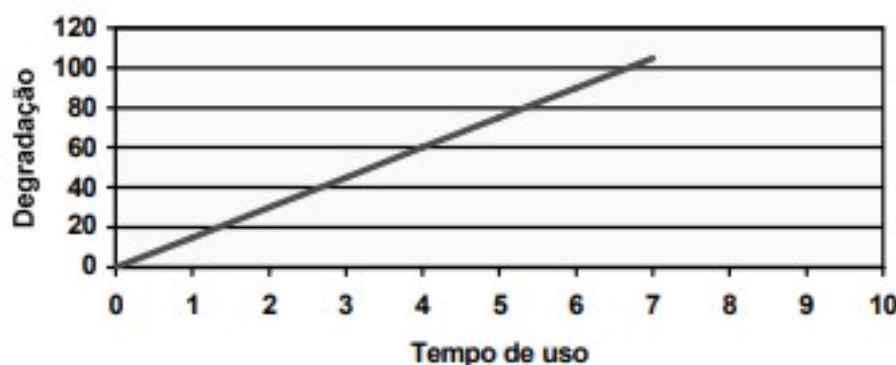
utilizados em condições ou frequência de uso extremas e outros têm o seu modo de falha modificado, invalidando a análise. Uma alternativa aos testes de vida acelerados é o uso de modelos de degradação. Nesse caso, os ensaios são feitos em condições normais de operação, mas o produto não é conduzido até a falha. Antes que a falha ocorra, o produto é avaliado através de variáveis que caracterizem o seu desempenho, ou seja, o seu estado de degradação. Com base nestas medidas de desempenho, ou degradação, é possível ajustar modelos que relacionam a degradação com o tempo de uso e então concluir a respeito da provável vida útil do produto. A modelagem a seguir apresentada relaciona dados de degradação com tempo de uso dos produtos em testes não-acelerados (NELSON, 1990).

O modelo de degradação para dados não-acelerados contempla quatro modelos básicos, os quais representam o comportamento de muitos produtos, incluindo alimentos, produtos eletroeletrônicos, componentes mecânicos, entre outros. Estes quatro modelos podem ser classificados em: modelo linear ou não linear, com início da degradação no tempo zero ou após algum tempo de uso (NELSON, 1990).

3.2.2 Modelo linear com degradação iniciando logo no primeiro uso

Esse modelo incorpora o caso de produtos cuja degradação é linearmente proporcional ao tempo de uso, iniciando imediatamente após a primeira utilização do produto (NELSON, 1990).

Gráfico 3.1 - Modelo linear com degradação iniciando logo após o primeiro uso

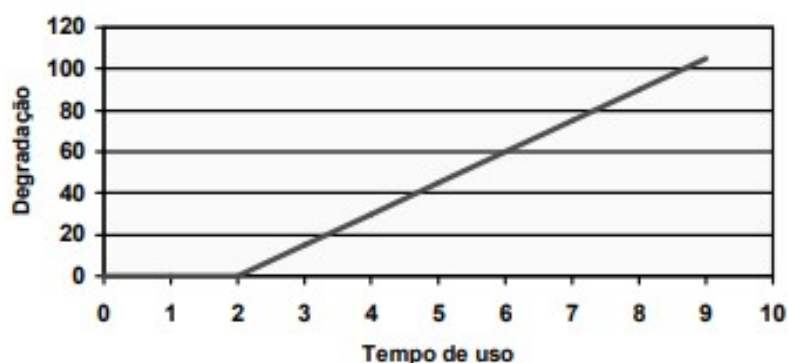


Fonte: O autor (2019).

3.2.3 Modelo linear com degradação iniciando após algum uso

Esse modelo também prevê uma degradação linearmente proporcional ao tempo de uso, mas agora tem-se que a degradação só irá iniciar algum tempo após o início da utilização do produto (NELSON, 1990).

Gráfico 3.2 - Modelo linear com degradação iniciando após algum uso

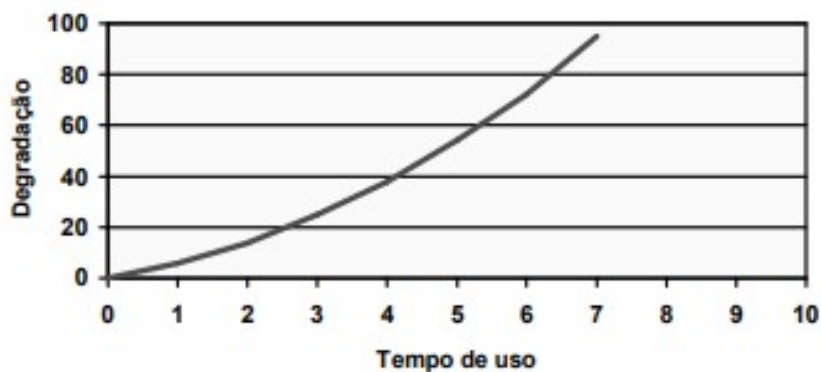


Fonte: O autor (2019).

3.2.4 Modelo não-linear com degradação iniciando logo no primeiro uso

Esse modelo incorpora o caso de produtos cuja degradação ocorre de maneira não linear, iniciando imediatamente após a primeira utilização do produto e, em geral, acelerando com o tempo de uso (NELSON, 1990).

Gráfico 3.3 - Modelo não-linear com degradação iniciando logo após o primeiro uso

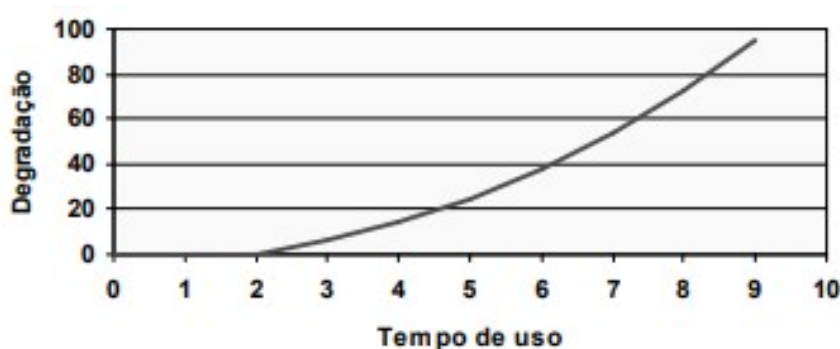


Fonte: O autor (2019).

3.2.5 Modelo não-linear com degradação iniciando após algum uso

Esse modelo também prevê uma degradação não linear, mas agora tem-se que a degradação só irá iniciar algum tempo após o início da utilização do produto. Novamente, a não linearidade, em geral, é vista como um crescimento exponencial da degradação (NELSON, 1990).

Gráfico 3.4 - Modelo não-linear com degradação iniciando após algum uso



Fonte: O autor (2019).

Os modelos vistos acima são casos especiais de um modelo mais abrangente proposto por (NELSON, 1990). Por este modelo, a degradação pode ser expressa

$$\text{por (1) } D \text{ a } t \text{ L } b = (-)$$

onde:

D representa o valor da degradação em determinado instante do tempo;

a é o parâmetro que representa a velocidade/escala da degradação;

t representa o tempo associado a uma determinada degradação D;

L é o parâmetro que representa a localização do início da degradação;

b é o parâmetro que representa a forma da curva de degradação.

O modelo (1) pode ser facilmente linearizado aplicando-se uma transformação logarítmica à expressão, ou seja,

$$(2) \log(D) = \log(a) + b \log(t-L)$$

Podemos reescrever (2) como um modelo linear da seguinte forma:

$$Y = a + bX$$

Para encontrar os parâmetros deste modelo (ou seja, a e b), é usado o Método dos Mínimos Quadrados, que consiste, basicamente, em adotar como estimativas dos parâmetros os valores que minimizam a soma dos quadrados dos

desvios. Para estimar o parâmetro L, ou seja, o parâmetro que indica o instante em que inicia a degradação, é feita uma varredura do instante 0 até o tempo mínimo de teste para achar o melhor estimador (NELSON, 1990).

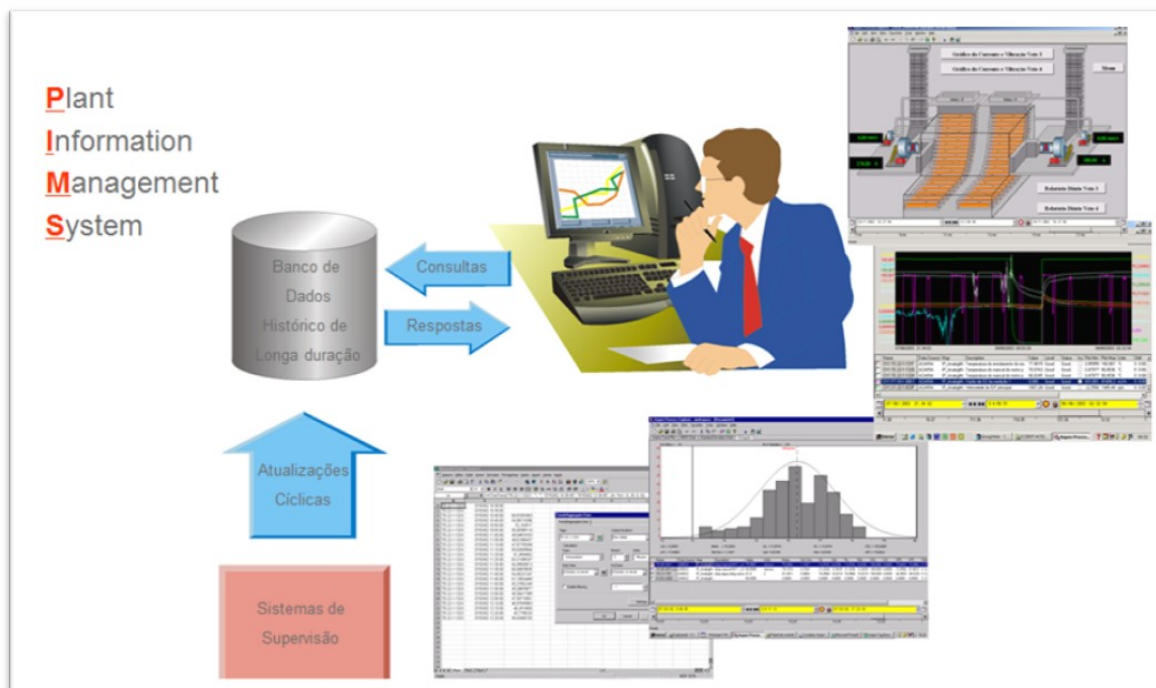
A partir do desenvolvimento de modelos básicos de degradação é possível partir para uma análise de confiabilidade mais detalhada, estimando-se o tempo até a falha a partir de medidas de degradação, que não exigem que o teste seja conduzido até a ocorrência de falha (NELSON, 1990).

3.3 FERRAMENTA DE COLETA DE DADOS

PIMS são sistemas que coletam dados de processo de diversas fontes, os armazenam num banco de dados histórico e os disponibilizam através de diversas formas de apresentação. O PIMS na ArcelorMittal – Vega foi implementado diante da necessidade de resolver o problema da fragmentação de dados e proporcionar uma visão unificada do processo. Inicialmente, o PIMS passa a se constituir na ferramenta fundamental para o engenheiro de processos e manutenção. A partir de uma estação, o usuário pode visualizar tanto os dados de tempo real como históricos da planta, montar tabelas, gráficos de tendência e sinóticos, concentrando em uma única base de dados todas as informações sobre os aspectos de um equipamento específico (ANDRE, S.; NORTHON, C., 2017);

Através de rotinas cíclicas, o banco de dados temporal é alimentado como os dados de processo da planta, com as quais o usuário pode visualizar através de tendências ou outras aplicações (telas sinóticas, planilhas em Excel, notificações por e-mail), vide figura 3.2.

Figura 13.2 - Diagrama simplificado do Sistema PIMS em Vega



Fonte: O autor (2019).

3.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordadas as ferramentas que serão utilizadas para tratar os dados de falhas do sistema e gerar as medidas de confiabilidade que são o foco do estudo.

4 DESENVOLVIMENTO

Nos próximos parágrafos serão detalhadas as etapas do desenvolvimento do trabalho do referencial teórico do Capítulo 3. Será explicado sobre o desenvolvimento considerando os métodos para a coleta e análise de dados. No final serão apresentados os resultados obtidos a partir da análise realizada.

Será explanada, portanto a aplicação do estudo de confiabilidade, análise de degradação ao conjunto motor escovas na Linha de Laminação.

4.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Toda a manutenção é realizada com o propósito de reduzir a probabilidade de ocorrência de falha, em um determinado equipamento. A manutenção preventiva são intervenções previstas, definidas e programadas, antes da data provável da ocorrência da falha. No caso dos motores da laminação as manutenções são feitas com a periodicidade mensal, a figura 4.1 exibe a manutenção do motor sendo executada.

Figura 14.1 - Manutenção mensal do motor



Fonte: O autor (2019).

Na figura 4.2 demonstra a ficha de controle para preenchimento das medições dos motores, para posteriormente serem lançadas no sistema de acompanhamento de desgaste das escovas.

15 – Ficha de medição de desgaste das escovas

Motor serie: 1004608612							
CAD 3 1A 1				Troca da mola:			
Medidas das escovas							
DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA
02/05/19	21/05/19						
	MEDIDA	MEDIDA	MEDIDA	MEDIDA	MEDIDA	MEDIDA	MEDIDA
LOM +	escova 01	45,94 mm	44,81 mm				
	escova 02	45,93 mm	44,62 mm				
	escova 03	46,40 mm	45,23 mm				
	escova 04	45,88 mm	44,62 mm				
	escova 05	45,89 mm	44,40 mm				
	escova 06	45,96 mm	44,62 mm				
LM -	escova 01	42,76 mm	41,84 mm				
	escova 02	43,73 mm	41,45 mm				
	escova 03	42,60 mm	41,31 mm				
	escova 04	42,66 mm	40,81 mm				
	escova 05	42,50 mm	40,13 mm				
	escova 06	42,30 mm	40,81 mm				
LOM = LADO OPOSTO AO MOTOR							
LM = LADO DO MOTOR							

Fonte: O autor (2019).

4.2 BASE DE DADOS

Após a manutenção preventiva, o analista técnico do equipamento recolhe as fichas preenchidas com o executante da manutenção para serem lançadas na aplicação de controle de desgaste das escovas e acompanhar o histórico de registros, esta aplicação foi desenvolvida usando a base de dados do sistema PIMS.

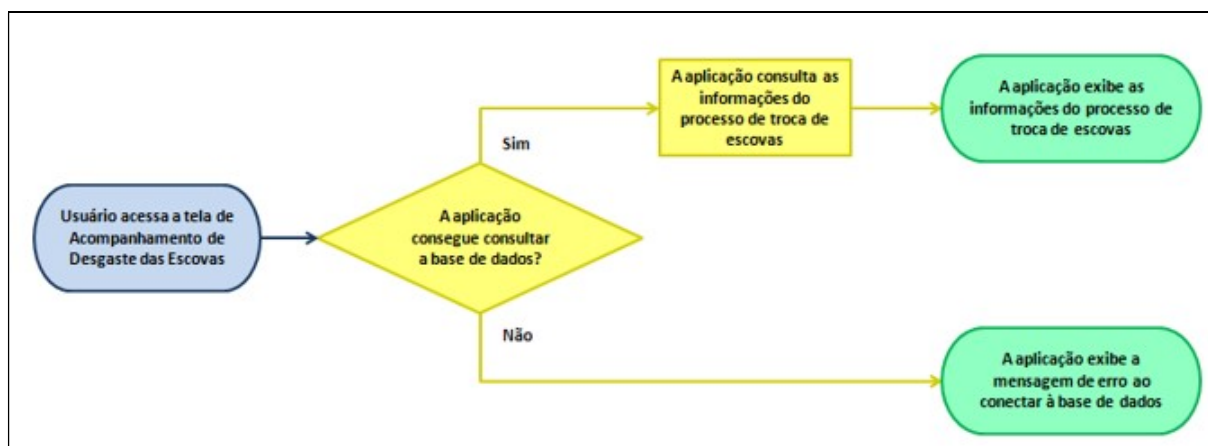
4.3 APLICAÇÃO DE REGISTRO DAS MEDIÇÕES

4.3.1 Fluxo de leitura da informação

O fluxo de leitura da informação é simples e consiste no acesso do usuário às informações da solução. Inicia com o usuário acessando a aplicação através de

um navegador Web na sua máquina de trabalho, que tentará estabelecer comunicação com o servidor PIMS. Caso ele consiga, todos os dados referentes aos motores serão carregados e disponibilizados, caso contrário será exibida uma mensagem de erro ao tentar a comunicação, conforme figura 4.3.

Figura 4.16 – Fluxo de Leitura das Informações



Fonte: O autor (2019).

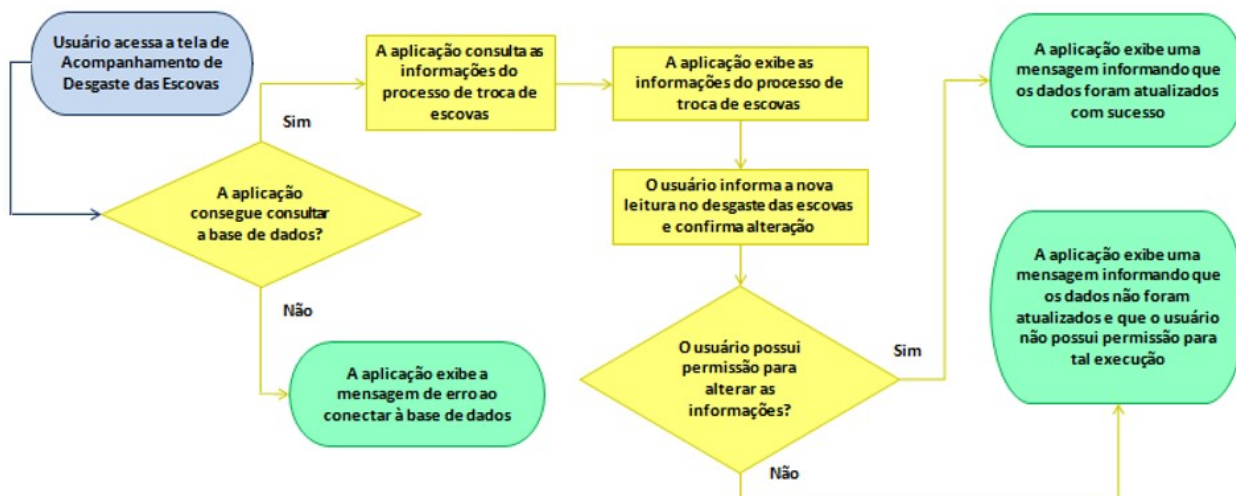
4.3.2 Fluxo de escrita da informação

O fluxo de escrita da informação acontece logo após o fluxo de leitura da informação em caso de sucesso para esta, isso quer dizer que, caso o usuário consiga consultar as informações referentes ao acompanhamento de desgaste das escovas ele estará apto para iniciar o fluxo de escrita, ou seja, a inserção e atualização de valores.

Uma vez obtido o sucesso na leitura, o usuário é capaz de alterar os valores de desgaste de cada escova, informações cruciais para análise de confiabilidade.

Assim que os valores forem atualizados o usuário confirma suas alterações e os dados são enviados ao servidor para atualização e armazenamento, porém, antes disso, o servidor verifica o nível de permissão daquele usuário, para garantir que ele consiga gerenciar informações da base de dados. Caso ele possua a permissão adequada, os valores serão atualizados, caso contrário os dados serão descartados e o usuário será notificado que os valores não foram atualizados, porque o usuário não possui permissão de acesso, conforme figura 4.4.

17 – Fluxo de Leitura das Informações

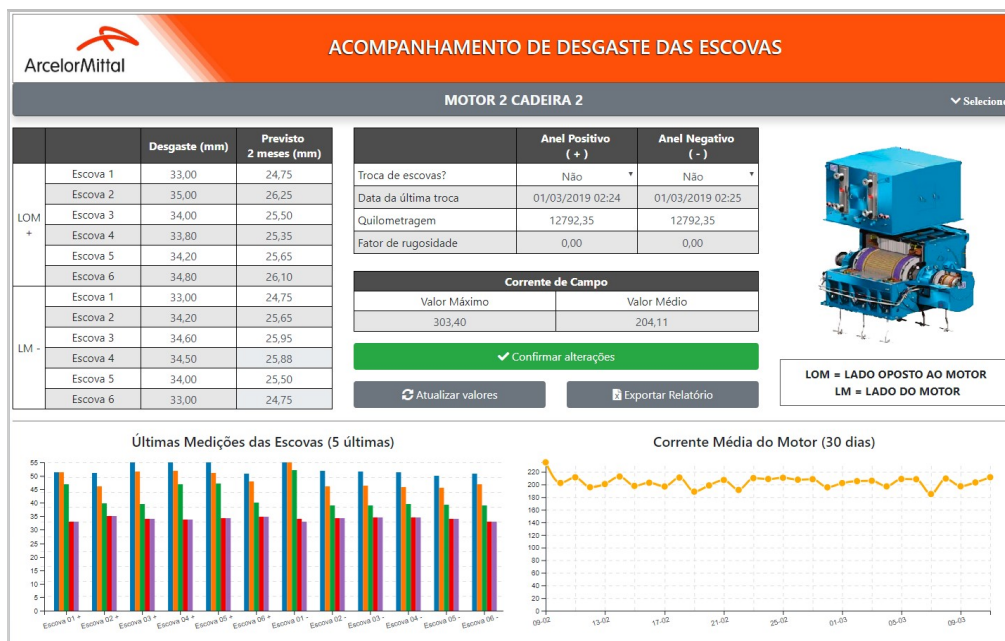


Fonte: O autor (2019).

4.4 INTERFACE USUÁRIO – MONITORAMENTO DAS INFORMAÇÕES

Na figura 4.5 demonstra a tela em ambiente Web usada para ler e inserir as informações de desgaste das escovas, nesta mesma tela exibe de forma gráfica as informações da corrente do motor nos últimos 30 dias, as últimas cinco medições de desgaste e a data da última troca das escovas.

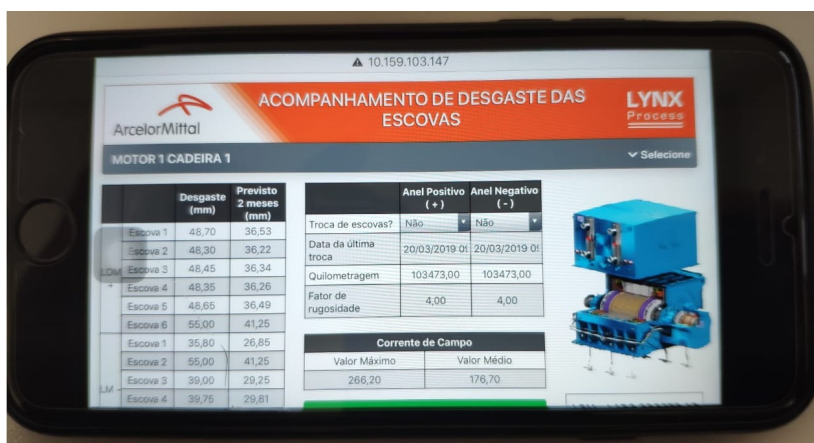
18 – Interface de Gerenciamento do desgaste das escovas



Fonte: O autor (2019).

Para uma maior mobilidade e praticidade do Analista Técnico, foi disponibilizada a aplicação do desgaste das escovas via dispositivo mobile, dispositivo já utilizado no dia a dia da manutenção, conforme a figura 4.6.

19 - Aplicação sendo usada por dispositivo Mobile

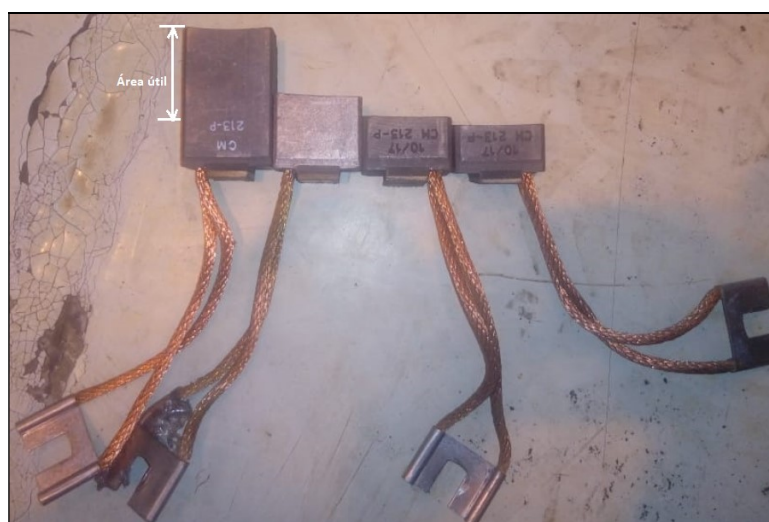


Fonte: O autor (2019).

O preenchimento do desgaste das escovas na aplicação, segue os critérios:

- 1 - Usar como referência o desgaste entre a face em contato com a pista e a marcação do limite inferior feita pelo fabricante, figura 4.7.
- 2 - Consideramos o limite máximo de desgaste de 25mm.

20 - Escova elétrica



Fonte: O autor (2019).

O histórico das medições exibidas pela aplicação é possível exportar os dados em formato de arquivo .csv conforme a figura 4.8. Posteriormente utilizar em um software estatístico.

21 - Modelo do arquivo gerado pela aplicação dos dados armazenados

	A	B	C	D
1	ts	km	mm	brush
2	02/04/2019 09:04	25146	38.45	Escova 01 +
3	25/04/2019 10:58	69198	38.15	Escova 01 +
4	03/05/2019 19:16	83740	37.62	Escova 01 +
5	22/05/2019 09:43	117099	36.95	Escova 01 +
6	11/07/2019 10:43	195107	35.2	Escova 01 +
7	02/04/2019 09:04	25146	37.8	Escova 02 +
8	25/04/2019 10:58	69198	37.5	Escova 02 +
9	03/05/2019 19:16	83740	36.96	Escova 02 +
10	22/05/2019 09:43	117099	36.1	Escova 02 +
11	11/07/2019 10:43	195107	34.1	Escova 02 +
12	02/04/2019 09:04	25146	38.7	Escova 03 +
13	25/04/2019 10:58	69198	38.11	Escova 03 +
14	03/05/2019 19:16	83740	37.75	Escova 03 +
15	22/05/2019 09:43	117099	37.05	Escova 03 +
16	11/07/2019 10:43	195107	35.1	Escova 03 +

Fonte: O autor (2019).

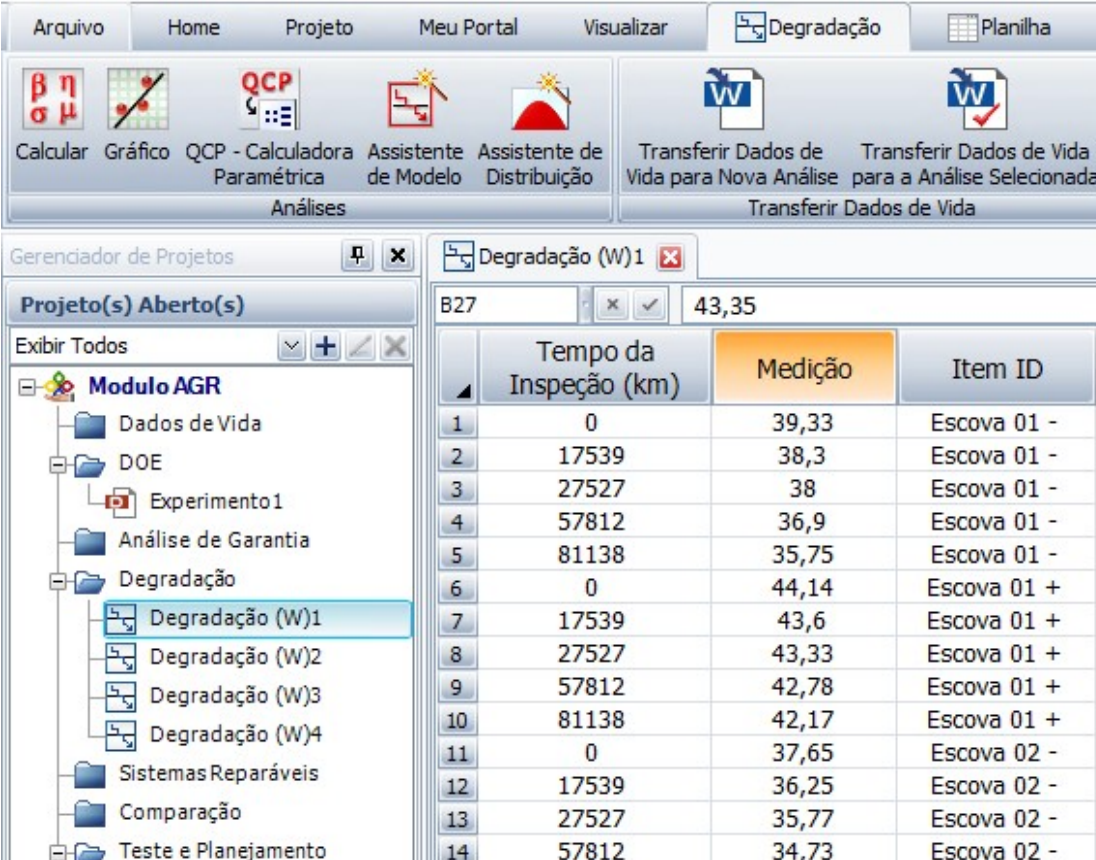
4.5 DETERMINAÇÃO DOS MODELOS ESTATÍSTICOS E TESTE DE ADERÊNCIA

Foi utilizado o software Weibull ++ da Compass, modulo Degradation, a fim de modelar a distribuição estatística que se ajusta melhor aos dados coletados, possibilitando a análise dos dados de confiabilidade.

Para a geração das análises de degradação, escolhemos um motor onde apresenta maior histórico de falhas, motor 2 da cadeira 3 da laminação.

O lançamento dos dados foi feito a partir da planilha mostrada na figura 4.6. Os dados de quilometragem foram lançados na coluna “tempo de inspeção (km)”, medição de desgaste das escovas na coluna “medição” e a identificação de cada escova na coluna “Item ID”, conforme a figura 4.9.

22 - Dados inseridos no Weibull++



The screenshot displays the Weibull++ software interface. The top menu bar includes 'Arquivo', 'Home', 'Projeto', 'Meu Portal', 'Visualizar', 'Degradação', and 'Planilha'. Below the menu is a toolbar with icons for 'Calcular', 'Gráfico', 'QCP - Calculadora Paramétrica', 'Assistente de Modelo', 'Assistente de Distribuição', 'Transferir Dados de Vida para Nova Análise', and 'Transferir Dados de Vida para a Análise Selecionada'. The main window is titled 'Gerenciador de Projetos' and shows a tree view of projects under 'Projeto(s) Aberto(s)'. The tree includes folders like 'Dados de Vida', 'DOE', 'Experimento 1', 'Análise de Garantia', 'Degradação', 'Sistemas Reparáveis', 'Comparação', and 'Teste e Planejamento'. Under 'Degradação', there are sub-folders 'Degradação (W)1' through 'Degradação (W)4'. The 'Degradação (W)1' folder is selected, and its data is displayed in a table. The table has columns for 'Tempo da Inspeção (km)', 'Medição', and 'Item ID'. The data rows are numbered 1 through 14, showing inspection times and measurements for various items, including 'Escova 01' and 'Escova 02'.

	Tempo da Inspeção (km)	Medição	Item ID
1	0	39,33	Escova 01 -
2	17539	38,3	Escova 01 -
3	27527	38	Escova 01 -
4	57812	36,9	Escova 01 -
5	81138	35,75	Escova 01 -
6	0	44,14	Escova 01 +
7	17539	43,6	Escova 01 +
8	27527	43,33	Escova 01 +
9	57812	42,78	Escova 01 +
10	81138	42,17	Escova 01 +
11	0	37,65	Escova 02 -
12	17539	36,25	Escova 02 -
13	27527	35,77	Escova 02 -
14	57812	34,73	Escova 02 -

Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

Após a imputação dos dados é realizada a definição do modelo estatístico que representa a melhor distribuição dos dados. Desta forma, é realizado o “Teste de Aderência” usando o assistente de modelo de degradação, que apresenta as distribuições com um ranqueamento para auxiliar na escolha do modelo, conforme mostrado na figura 4.10.

Escolhemos linear como a curva característica, pois o material é uniforme em todo corpo do componente e as condições de trabalho na maioria das vezes são repetitivas. Este modelo definido deve, então, ser implementado para ser utilizado. Esta implementação é realizada ao pressionar o botão “Implementar”.

23 Assistente do modelo de degradação

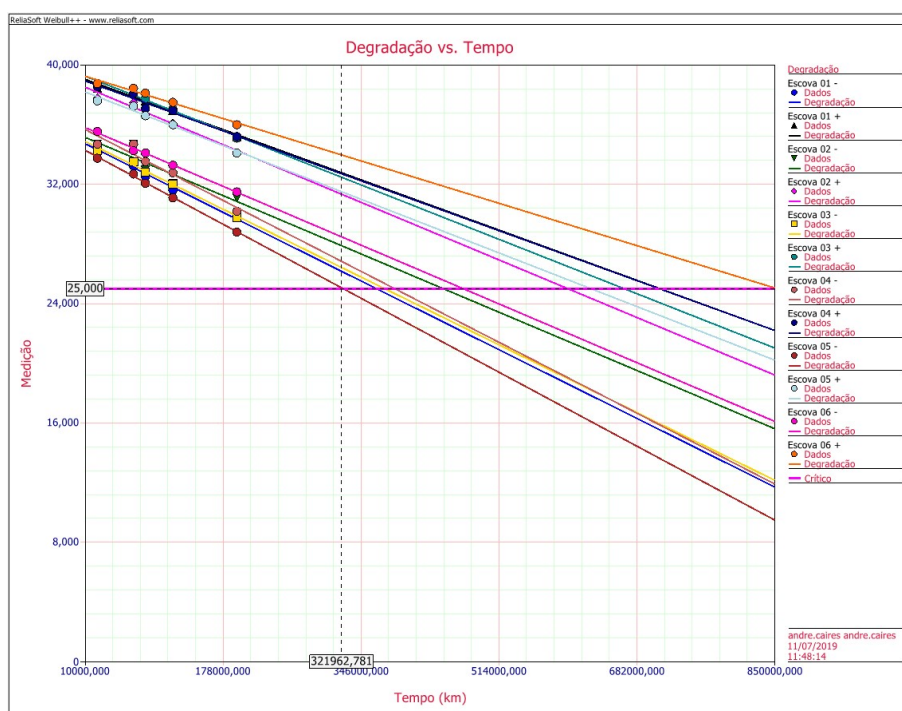


Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

4.6 RESULTADO DA SIMULAÇÃO

Com o modelo definido, publicado e calculado, foi realizado a análise dos dados gerados. O gráfico 4.1 demonstra que, a degradação do desgaste das escovas ocorre de forma linearmente.

Gráfico 4.1 – Assistente do modelo de degradação



Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

Pelo relatório da análise, tempos extrapolados até a falha é possível observar a quilometragem de cada escova até a falha, quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Relatório de Tempo Extrapolados até a Falha / Suspensão

Relatório de Resultados		
Tipo de Relatório	Tempos Extrap. Falha/Suspensão	
Informações do Usuário		
Nome	andre.caires andre.caires	
Empresa		
Data	11/07/2019	
Tempos		
F/S	Tempo até F/S	Item ID
F	364963,87	Escova 01 -
F	710380,1271	Escova 01 +
F	446425,6935	Escova 02 -
F	598171,2878	Escova 02 +
F	375057,4219	Escova 03 -
F	666761,5022	Escova 03 +
F	387235,4673	Escova 04 -
F	709497,7296	Escova 04 +
F	324461,8728	Escova 05 -
F	626258,6281	Escova 05 +
F	470710,7569	Escova 06 -
F	853108,1296	Escova 06 +

Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

Abaixo no quadro 4.2, resultado da aderência da degradação.

Quadro 4.2 - Relatório de Resultados de Aderência da Degradação

Relatório de Resultados				
Tipo de Relatório	Resultados Aderência da Degradação			
Informações do Usuário				
Nome	andre.caires andre.caires			
Empresa				
Data	17/08/2019			
Parâmetros				
Item ID	Parâmetro a	Desvio-Padrão - a	Parâmetro b	Desvio-Padrão - b
Escova 01 -	-0,000042	0,000002	39,205314	0,105143
Escova 01 +	-0,000023	0,000001	44,058917	0,060894
Escova 02 -	-0,000046	0,000005	37,306745	0,214269
Escova 02 +	-0,000029	0,000006	43,944655	0,264526
Escova 03 -	-0,000061	0,000003	36,474563	0,121641
Escova 03 +	-0,000029	0,000002	44,038402	0,098698
Escova 04 -	-0,000061	0,000002	36,516549	0,099441
Escova 04 +	-0,000025	0,000002	42,773233	0,111642
Escova 05 -	-0,000053	0,000005	35,202941	0,226744
Escova 05 +	-0,000022	0,000002	43,372365	0,072855
Escova 06 -	-0,000061	0,000009	36,618385	0,436808
Escova 06 +	-0,000024	0,000009	44,169785	0,405121

Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

No quadro 4.3, resultados da análise de degradação.

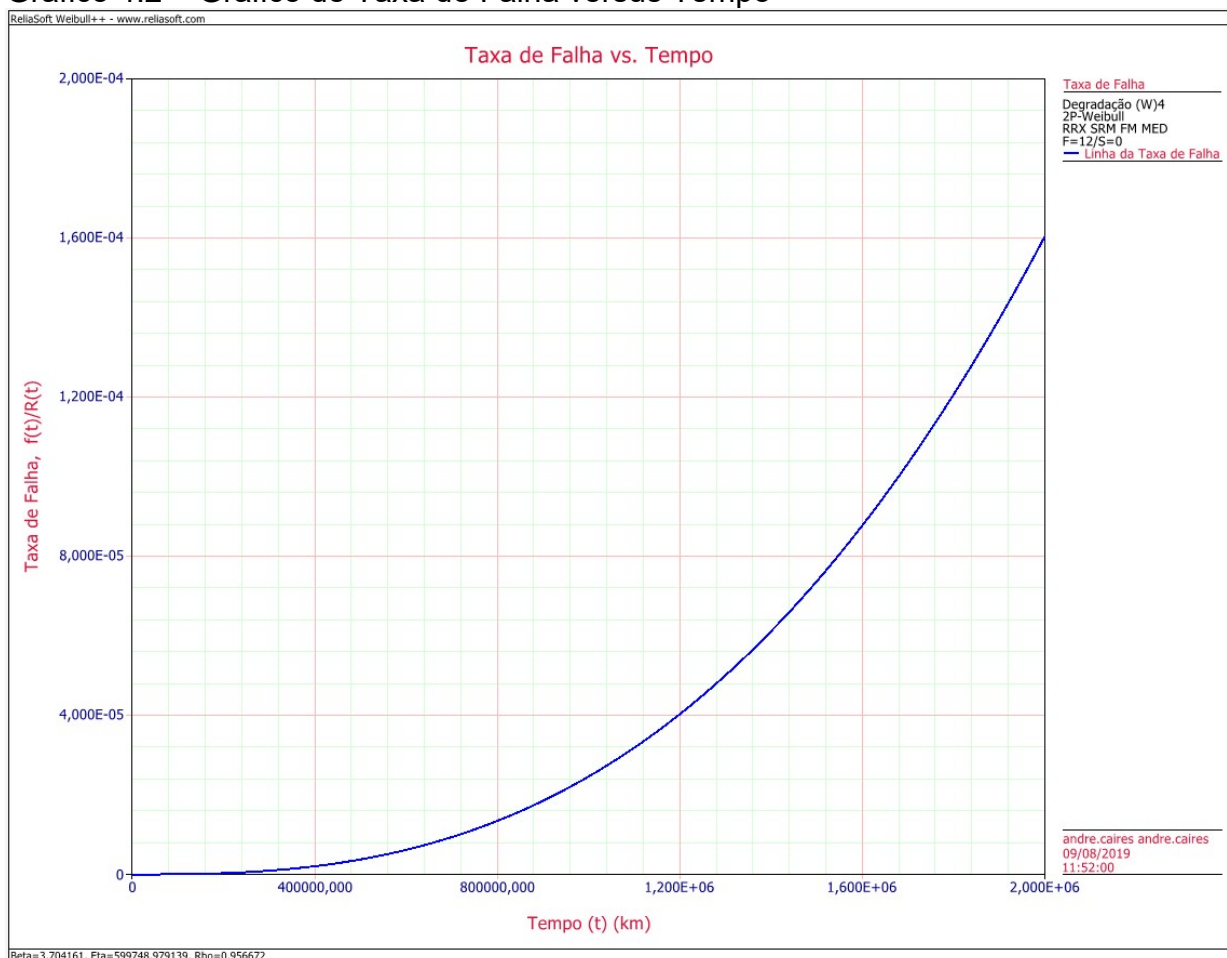
Quadro 4.3 – Relatório de Resultados de Degradação

Relatório de Resultados			
Tipo de Relatório	Resultados de Degradação		
Informações do Usuário			
Nome	andre.caires andre.caires		
Empresa			
Data	17/08/2019		
Parâmetros			
Distribuição	Weibull 2P		
Análises	MLE		
Método do IC	FM		
Ranqueando	MED		
Beta	1,928757		
Eta (km)	549866,4276		
Valor da LK	-166,159309		
F \ S	12 \ 0		
LOCAL VAR/COV MATRIX			
Var-Beta=0,212893	CV Eta Beta=12772,531521		
CV Eta Beta=12772,531521	Var-Eta=7,539244E+09		
Dados Brutos			
Número do Item	Condição F ou S	Tempo até F ou S (km)	Subset ID 1
1	F	187309,2959	Escova 03 -
2	F	187496,8609	Escova 04 -
3	F	190347,4607	Escova 06 -
4	F	191685,6292	Escova 05 -
5	F	266624,8397	Escova 02 -
6	F	337440,405	Escova 01 -
7	F	648788,8953	Escova 02 +
8	F	664523,0464	Escova 03 +
9	F	702414,486	Escova 04 +
10	F	787587,8286	Escova 06 +
11	F	820464,3098	Escova 01 +
12	F	840615,7815	Escova 05 +

Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

A função de risco ou taxa de falha representada por $f(t)$, é uma função muito utilizada em confiabilidade, sendo medida pelo número de falhas por unidade de tempo de operação do componente ou sistema, como demonstrado no gráfico 4.2.

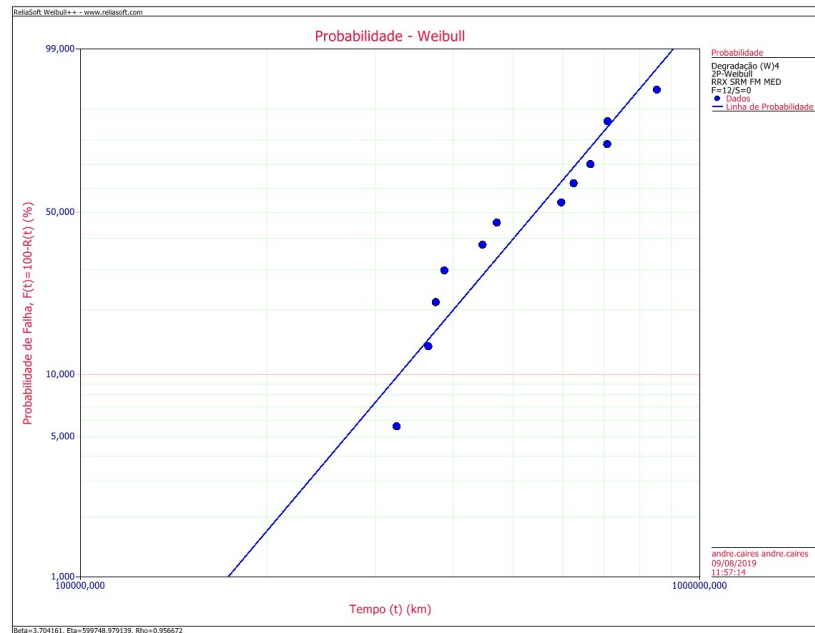
Gráfico 4.2 – Gráfico de Taxa de Falha versus Tempo



Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

O software Weibull ++ possibilita também a estimativa de probabilidade de falha em função do tempo, podendo realizar uma avaliação da disposição das falhas, pela análise do gráfico 4.3 uma das escovas apresenta um desgaste maior, de acordo com a probabilidade a falha irá ocorrer primeiro em comparação com as demais escovas, nesta condição, deve-se avaliar o risco, tempo para preventiva e estoque em caso de troca. Desta forma deve-se avaliar em adiar ou antecipar uma manutenção preventiva, para atuar de forma mais assertiva evitando uma possível perda de performance do sistema ou parada de linha.

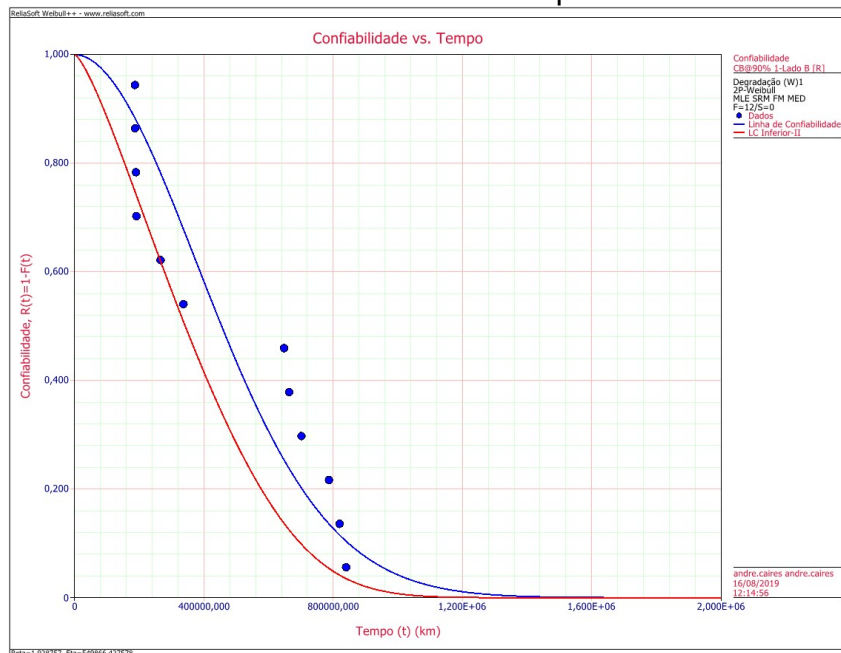
Gráfico 4.3 – Gráfico de Probabilidade - Weibull



Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

O gráfico 4.4 exibe o gráfico de confiabilidade em função do tempo, demonstrando a probabilidade do desgaste do componente seja menor que 25mm em diferentes momentos de operação (linha azul). O limite de confiança de 90% inferior de 1 lado também é mostrado na plotagem (linha vermelha).

Gráfico 4.4 – Gráfico de Confiabilidade versus Tempo - Weibull

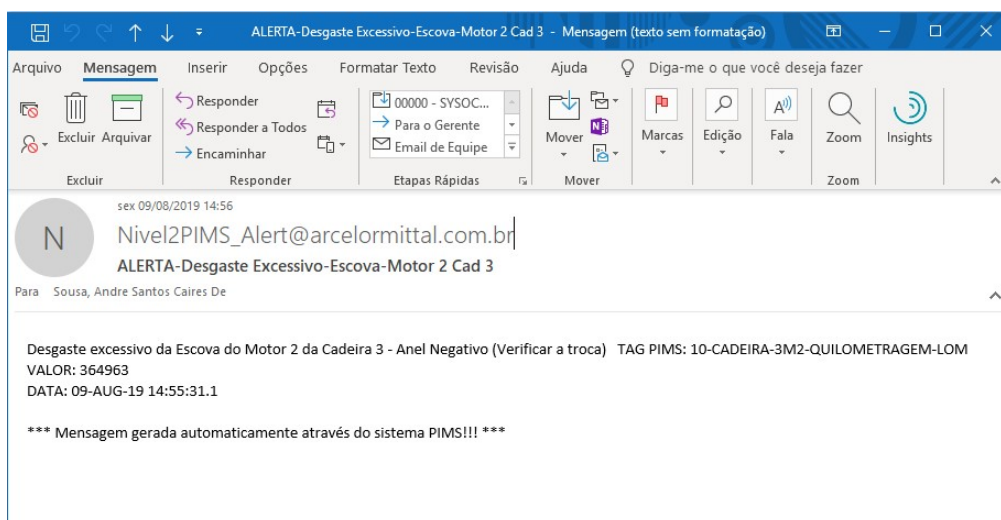


Fonte: Software Weibull ++ Reliasoft (2019).

Para o caso mais crítico foi criado um alerta por e-mail, como demonstrado na figura 4.11.

Quando o desgaste aproximar do valor crítico este alerta será enviado para as pessoas envolvidas e terá uma atuação com rapidez para evitar falha do equipamento e conseqüentemente perda da produção.

24.11 – Alerta por e-mail devido ao desgaste excessivo



Fonte: O autor (2019).

4.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi abordado o desenvolvimento do estudo de caso em questão, onde foi explanada e detalhado as etapas de levantamento e preparação dos dados, determinação dos modelos estatísticos e teste de aderência, determinando o tempo ótimo de uso de cada escova nos motores na linha de laminação.

Este desenvolvimento é muito importante para o presente estudo de caso, pois apresenta o resultado da análise de degradação aplicada ao processo produtivo, atingindo os objetivos da aplicação da teoria, que permitem o desenvolvimento da conclusão do objeto de pesquisa analisado.

O próximo capítulo apresentará a síntese dos resultados deste trabalho, que será formulada com base no conteúdo abordado no presente capítulo e apontará comentários conclusivos sobre os aspectos observados durante a realização deste estudo.

5 CONCLUSÃO

Foi constatado que a metodologia aplicada é coerente e eficaz com os dados quantitativos utilizados, no desenvolvimento do trabalho.

A aplicação da análise de degradação no processo produtivo da Laminação proporcionou, através dos resultados de confiabilidade a determinação das escovas mais críticas que possa ter impacto negativamente a performance deste processo.

5.1 DIFICULDADE ENCONTRADA

A etapa da análise de degradação que apresentou maior dificuldade para sua realização foi o levantamento e preparação dos dados.

Apesar de já existir um controle, não apresentava um padrão de levantamento dos dados, foi necessário criar um padrão de execução das atividades e treinamento para a manutenção.

Foram realizadas também entrevistas às pessoas envolvidas, com o objetivo de prover dados coerentes com a realidade e de não haver inconsistências que pudessem prejudicar a assertividade dos resultados da análise realizada.

Tal dificuldade reflete, em muitos casos, a falta de cobrança e a baixa conscientização dos responsáveis pela geração das informações.

Percebe-se, portanto, que os sistemas utilizados atualmente não estão devidamente configurados e preparados para proporcionar levantamentos de dados de confiabilidade de maneira ágil e estruturada para estudos de confiabilidade.

5.2 BENEFÍCIOS PARA A EMPRESA

A aplicação desta técnica neste processo produtivo gerou oportunidades e os seguintes benefícios para a empresa:

- Redução nos custos de manutenção e operação para mobilização de pessoal e material;
- Ótima oportunidade de aprendizado na utilização desta ferramenta de engenharia de confiabilidade;
- Estrutura para estudos de diferentes fabricantes de escovas;

- Otimização da execução das atividades de manutenção dos motores síncronos;
- Redução dos riscos de parada do equipamento devido ao desgaste das escovas;
- Percepção das reais dificuldades enfrentadas na elaboração de um estudo de confiabilidade quantitativa;
- Grande potencial para ser aplicada em outros equipamentos do processo com características de desgaste, como por exemplo, rodas de ponte rolante, correias e discos da máquina de solda;
- acesso as informações de desgaste das escovas por qualquer estação de trabalho e mobile;
- manutenção mais eficiente a fim de evitar quebras;
- Registro sistematizado e histórico de 5 anos;

Tais benefícios demonstram o grande potencial futuro que a engenharia de confiabilidade pode proporcionar para os ativos da empresa.

5.3 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A aplicação deste estudo de caso possibilitou a identificação de novas etapas que irão permitir a continuidade deste trabalho de modo a proporcionar melhores resultados de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, que são mostradas a seguir:

- Aplicação da metodologia nos demais motores síncronos, onde os mesmos já estão mapeados para a aplicação da técnica;
- Aplicação da metodologia de análise RAM na linha de Galvanização novamente no futuro de modo a comparar o antes e o depois evidenciando os ganhos tangíveis e intangíveis da aplicação da engenharia de confiabilidade;
- Aplicação da metodologia de análise de degradação em outros processos produtivos;
- Capacitação de mais pessoas em Engenharia da Confiabilidade, com o objetivo de torná-la bem difundida e utilizada na empresa como um todo;

- Implementar a técnica de degradação de forma automatizada na aplicação desenvolvida para registro de desgaste das escovas;
- Desenvolver a interface da aplicação com o sistema de manutenção para emissão automática de ordens de manutenção;

Estas sugestões de trabalhos futuros apontam para um novo patamar de conhecimento e utilização de ferramentas avançadas de confiabilidade, que com certeza, irão alavancar melhores resultados para a empresa, de modo a extrair-se o maior valor dos ativos, proporcionando o resultado esperado dos ativos instalados nas linhas de produção e garantindo a continuidade operacional do negócio.

REFERÊNCIAS

ABNT, 1994. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade.

ANDRE, S.; NORTHON, C. **Crane Equipment Monitoring in Vega**. ABM Week – 21º Automation & IT, 2017.

GORJIAN, N.; MA, L.; MITTINTY, M.; YARLAGADDA, P.; SUN, Y; **A review on reliability models with covariates**. **Proceedings of the 4th World Congress on Engineering Asset Management**. Anais... Athens, Greece, 2009.

KARDEC, A.; LAFRAIA, J. R. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

LIAO, H. **Degradation models and design of accelerated degradation testing plans**. The State University of New Jersey, 2004.

MEEKER, W. Q. & HAMADA, M; **Statistical tools for the Rapid Development & Evaluation of High-Reliability Products**: IEEE Transactions on Reliability, 44, nº 2, 1995 June, pp. 187-198.

NELSON, W; **Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analyses**. John Wiley & Sons, 1990.

POHL, I.; RIBEIRO, José Luís Duarte; CALCAGNOTO, J.; SILVA, M. H. M; **Modelos de degradação aplicados a melhoria da confiabilidade de produtos**. XVIII ENEGEP. Anais..., 1998.

RELIAWIKI.ORG. **Basics of System Reliability Analysis**. Disponível em: http://www.reliawiki.org/index.php/Basics_of_System_Reliability_Analysis. Acesso em: 20 jun. 2019.

RELIAWIKI.ORG. **Introduction to Life Data Analysis**. Disponível em: http://www.reliawiki.org/index.php/Introduction_to_Life_Data_Analysis Acesso em: 02 jun. 2019.

SMS/DEMAG. **Descritivo Funcional Laminador de Tiras a Frio**, 2002.

WEG. **Motores Síncronos**, 2019. Disponível em: Acesso em: 02 jun. 2019.

APÊNDICE A – DADOS DE MANUTENÇÃO DAS ESCOVAS DOS MOTORES

APÊNDICE A - O quadro do anexo A apresenta os dados levantados para gerar as análises de degradação das escovas dos motores síncronos:

- Data – dia que foi registrada a medição da escova;
- km – quilometragem medida automaticamente pelo sistema PIMS, ao ser registrada a medição;
- mm – valor da medição da escova;
- brush – identificação da posição da escova no motor;

Data	km	mm	brush
02/04/2019 09:04	25146	38.45	Escova 01 +
25/04/2019 10:58	69198	38.15	Escova 01 +
03/05/2019 19:16	83740	37.62	Escova 01 +
22/05/2019 09:43	117099	36.95	Escova 01 +
11/07/2019 10:43	195107	35.2	Escova 01 +
02/04/2019 09:04	25146	37.8	Escova 02 +
25/04/2019 10:58	69198	37.5	Escova 02 +
03/05/2019 19:16	83740	36.96	Escova 02 +
22/05/2019 09:43	117099	36.1	Escova 02 +
11/07/2019 10:43	195107	34.1	Escova 02 +
02/04/2019 09:04	25146	38.7	Escova 03 +
25/04/2019 10:58	69198	38.11	Escova 03 +
03/05/2019 19:16	83740	37.75	Escova 03 +
22/05/2019 09:43	117099	37.05	Escova 03 +
11/07/2019 10:43	195107	35.1	Escova 03 +
02/04/2019 09:04	25146	38.55	Escova 04 +
25/04/2019 10:58	69198	38.09	Escova 04 +
03/05/2019 19:16	83740	37.08	Escova 04 +
22/05/2019 09:43	117099	36.95	Escova 04 +
11/07/2019 10:43	195107	35.2	Escova 04 +
02/04/2019 09:04	25146	37.6	Escova 05 +
25/04/2019 10:58	69198	37.24	Escova 05 +
03/05/2019 19:16	83740	36.6	Escova 05 +
22/05/2019 09:43	117099	36	Escova 05 +
11/07/2019 10:43	195107	34.1	Escova 05 +
02/04/2019 09:04	25146	38.75	Escova 06 +
25/04/2019 10:58	69198	38.44	Escova 06 +
03/05/2019 19:16	83740	38.12	Escova 06 +
22/05/2019 09:43	117099	37.5	Escova 06 +
11/07/2019 10:43	195107	36	Escova 06 +
02/04/2019 09:04	25146	34.45	Escova 01 -
25/04/2019 10:58	69198	33.22	Escova 01 -
03/05/2019 19:16	83740	32.51	Escova 01 -
22/05/2019 09:43	117098	31.6	Escova 01 -
11/07/2019 10:43	195107	29.8	Escova 01 -

02/04/2019 09:04	25146	34.7	Escova 02 -
25/04/2019 10:58	69198	34.7	Escova 02 -
03/05/2019 19:16	83740	32.97	Escova 02 -
22/05/2019 09:43	117098	32.04	Escova 02 -
11/07/2019 10:43	195107	31.1	Escova 02 -
02/04/2019 09:04	25146	34.3	Escova 03 -
25/04/2019 10:58	69198	33.52	Escova 03 -
03/05/2019 19:16	83740	32.81	Escova 03 -
22/05/2019 09:43	117098	32.02	Escova 03 -
11/07/2019 10:43	195107	29.8	Escova 03 -
02/04/2019 09:04	25146	34.7	Escova 04 -
25/04/2019 10:58	69198	34.7	Escova 04 -
03/05/2019 19:16	83740	33.53	Escova 04 -
22/05/2019 09:43	117098	32.78	Escova 04 -
11/07/2019 10:43	195107	30.2	Escova 04 -
02/04/2019 09:04	25146	33.75	Escova 05 -
25/04/2019 10:58	69198	32.69	Escova 05 -
03/05/2019 19:16	83740	32.07	Escova 05 -
22/05/2019 09:43	117098	31.1	Escova 05 -
11/07/2019 10:43	195107	28.8	Escova 05 -
02/04/2019 09:04	25146	35.55	Escova 06 -
25/04/2019 10:58	69198	34.26	Escova 06 -
03/05/2019 19:16	83740	34.11	Escova 06 -
22/05/2019 09:43	117098	33.28	Escova 06 -
11/07/2019 10:43	195107	31.5	Escova 06 -