

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

OCTÁVIO MANGA EULOTÉRIO

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE MANDRIS DE UM LAMINADOR
DE TIRAS A QUENTE**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

OCTÁVIO MANGA EULOTÉRIO

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE MANDRIS DE UM LAMINADOR
DE TIRAS A QUENTE**

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



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE MANDRIS DE UM LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE

por

OCTÁVIO MANGA EULOTÉRIO

Esta monografia foi apresentada em 04 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. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

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

Dedico este trabalho a DEUS pela constante presença na minha vida.

À minha família pela paciência, apoio, incentivo e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela proteção e sabedoria durante o curso.

Ao meu orientador Professor Emerson Rigoni, pela dedicação e paciência e contribuições que me guiaram nesta trajetória.

A todos os professores da UTFPR e profissionais da Compass que contribuíram na conclusão da minha especialização.

Aos meus colegas de sala.

A minha família e amigos, pelo apoio no decorrer da especialização.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

EULOTÉRIO, Octávio. **Análise da confiabilidade de mandris de um laminador de tiras a quente**. 2019. 42p. Monografia (especialização em Engenharia da Confiabilidade) -Programa de Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Esta monografia apresenta um estudo sobre a aplicação de métodos da engenharia da confiabilidade em mandris de um laminador de tiras a quente (LTQ). Para a análise dos dados foram considerados dados do sistema de acompanhamento da produção (AP) e relatórios das equipes de turno da manutenção. Foram aplicados conceitos de análise de dados de vida (ADV) nos referidos dados citados

Palavras-chaves: Confiabilidade, dados de vida, mandril.

ABSTRACT

EULOTÉRIO, Octávio. **Análise da confiabilidade de mandris de um laminador de tiras a quente**. 2019. 42p. Monografia (especialização em Engenharia da Confiabilidade) -Programa de Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The present monograph demonstrates the application of reliability engineering methods to mandrels of a hot strip mill (LTQ). For the descriptive data analysis were considered data from the production monitoring system (AP) and maintenance shift team reports. Concepts of life data analysis (ADV) were applied in data cited.

Keywords: reliability, data analysis, mandrel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<u>Figura 1- Fluxograma básico de uma usina integrada</u>	6
<u>Figura 2- Layout básico de um laminador de tiras a quente</u>	7
<u>Figura 3- Desenho de conjunto de bobinamento</u>	8
<u>Figura 4- Imagem de um mandril da empresa siderúrgica</u>	8
<u>Figura 5- Desenho da extremidade do mandril. Destaque para principais componentes internos</u>	9
<u>Figura 6- Sistema de lubrificação de um mandril</u>	9
<u>Figura 7- Curva da banheira</u>	12
<u>Figura 8- Distribuição Exponencial</u>	14
<u>Figura 9- Distribuição Weibull</u>	15
<u>Figura 10- Curvas de distribuição Normal</u>	16
<u>Figura 11- Comparativo de tipos de dados</u>	18
<u>Figura 12- Gráfico do histórico dos mandris aplicados na bobinadeira N°1</u>	23
<u>Figura 13- Dados históricos dos mandris da bobinadeira N°2</u>	24
<u>Figura 14- Dados inseridos no Weibull 7 ++. Mandris antes dos desenvolvimentos</u>	26
<u>Figura 15- Dados inseridos no Weibull 7 ++ Mandris após os desenvolvimentos</u>	26
<u>Figura 16- Resultado do teste de aderência para campanhas dos mandris antes dos desenvolvimentos</u>	27
<u>Figura 17- Resultado do teste de aderência para campanhas dos mandris após os desenvolvimentos</u>	28
<u>Figura 18- Curva de confiabilidade de mandris conforme projeto original</u>	29
<u>Figura 19- Curva da taxa de falha de mandris conforme projeto original</u>	29
<u>Figura 20- Curva de confiabilidade de mandris após desenvolvimentos</u>	30
<u>Figura 21- Curva da taxa de falha de mandris conforme projeto original</u>	31
<u>Figura 22- Curvas de confiabilidade sobrepostas. Antes x depois dos desenvolvimentos</u>	32
<u>Figura 23- Curvas de taxa de falha sobrepostas. Antes x depois dos desenvolvimentos</u>	32
<u>Figura 24- Desenho do novo cabeçote do mandril em corte</u>	36
<u>Figura 25- Imagem do novo cabeçote do mandril com novo distribuidor de graxa montado</u>	36
<u>Figura 26- Imagem do novo distribuidor de graxa utilizado</u>	37
<u>Figura 27- Imagem cabeçote do mandril conforme projeto original</u>	37
<u>Figura 28- Desenho do novo cabeçote do mandril em corte. Destaque para as porcas tensionadoras</u>	38
<u>Figura 29- Desenho da extremidade do mandril em corte longitudinal</u>	38
<u>Figura 30- Vista da extremidade do mandril em corte transversal</u>	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados históricos dos mandris da bobinadeira N°1	34
Tabela 2- Dados históricos dos mandris da bobinadeira N°2	35
Tabela 3- Dados históricos dos mandris antes dos desenvolvimentos	37
Tabela 4- Dados históricos dos mandris depois dos desenvolvimentos	37

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

LDA	Life Data Analysis
AP	Acompanhamento da Produção
SISMANA	Sistema de Manutenção
SAP	Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados
LTQ	Laminador de Tiras a Quente
BQ	Bobina a Quente
FR	Forno de Reaquecimento
TA	Trem acabador
LD	Laminador Desbastador
RCM	Reliability Centered Maintenance
f.d.p	Função Densidade de Probabilidade
MTTF	Mean Time to Failure
MTBF	Mean Time Between Failure

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	TEMA	17
2.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	17
2.2	PRODUÇÃO DE BOBINAS A QUENTE EM UMA USINA SIDERÚRGICA INTEGRADA	17
2.2.1	Fluxo do Processo Siderúrgico.....	17
2.2.2	Fluxo do processo de Produção de Bobinas de Aço.....	18
2.2.3	A Área de Bobinamento	19
2.2.4	Mandris.....	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO	23
3.1	CONFIABILIDADE.....	23
3.1.1	A função de Confiabilidade.....	23
3.1.2	A Taxa de Falhas ou Taxa de Risco.....	24
3.2	DISTRIBUIÇÕES MAIS UTILIZADAS	25
3.2.1	Distribuição Exponencial	25
3.2.2	Distribuição Weibull	26
3.2.3	Distribuição Normal	28
3.3	TIPOS DE DADOS	29
3.4	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	30
3.5	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	31
4	ESTUDO DE CONFIABILIDADE QUANTITATIVA	32
4.1	PREMISSAS PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	32
4.2	FORMAÇÃO DA BASE DE DADOS.....	32
4.2.1	Sistema de manutenção (SISMANA)	33
4.2.2	Acompanhamento da Produção do Laminador de Tiras a Quente (AP).....	33
4.3	RESULTADOS HISTÓRICOS OBTIDOS.....	34
4.4	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	36
4.4.1	Tratamento dos dados.....	38
4.4.2	Análise dos dados do projeto original.....	40
4.4.3	Análise dos dados após desenvolvimentos.....	42
4.4.4	Análise comparativa	43
5	CONCLUSÕES	46

5.1	RESULTADOS DOS DESENVOLVIMENTOS	46
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução de empresas no cenário mundial proporciona uma acirrada competição em busca da excelência. A busca e utilização de ferramentas pelas organizações para gestão de seus ativos demonstra uma importante necessidade de desenvolvimento que hoje é enxergada de forma bastante diferente em relação à décadas passadas. A gestão de ativos deve proporcionar as organizações o alcance de resultados desejáveis de forma sustentável. Um programa de confiabilidade quando implementado com sucesso é visto como um método para obter vantagem competitiva.

Portanto, implementar novos métodos para tomada de decisões focados em informações quantitativas e qualitativas oriundas da análise da confiabilidade são bem recebidas pelas empresas que desejam atingir ou manter uma posição de destaque no seu ramo de atuação.

O cenário descrito não é diferente para empresas siderúrgicas. Proporcionar a satisfação de clientes, melhorar a qualidade de seus produtos, reduzir custos e prazos têm sido uma constante. O processo de laminação de tiras a quente exige alta qualidade do produto final e um alto grau de confiabilidade dos equipamentos do processo, ou seja, baixa ocorrência de falhas imprevistas, com conseqüente estabilidade do processo produtivo, redução de custos operacionais e de desperdícios. No processo de bobinamento, as tiras de aço são enroladas em forma de bobinas em condições bastante adversas, caracterizadas por altas velocidades, temperaturas, mix de produção extremamente variado e produção em alta escala. Para garantia de um processo de bobinamento estável e com produção de qualidade é de fundamental importância que os principais ativos da área das bobinadeiras, denominados mandris, tenham alto desempenho ou parâmetros de confiabilidade.

Desta forma, a proposta deste trabalho é fazer um estudo do comportamento das falhas de mandris das bobinadeiras, fazendo uso de modelos, ferramentas e metodologias de engenharia de confiabilidade, a fim de verificar quantitativamente sua evolução ao longo do tempo.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

As metodologias de engenharia de confiabilidade possuem necessidades específicas para sua utilização. A utilização dos conceitos requer máximo de atenção, tendo em vista que o tratamento adequado dos dados que irão garantir a qualidade dos resultados obtidos e estes serão a base de estudos, interpretações e até mesmo informações importantes para tomadas de decisões.

Estudos de engenharia quantitativa têm como base os conceitos de estatística aplicada. Para este trabalho foi utilizada uma base de dados oriunda dos sistemas de manutenção e de operação da empresa. O levantamento dos dados foi uma etapa do trabalho que demandou bastante esforço, tendo em vista que a empresa não possuía as informações devidamente estratificadas ou concentradas em uma única fonte, ou seja, de uma forma preparada para servir de base para um estudo de confiabilidade. Foram necessários inúmeros acessos e cruzamentos de dados para obtenção de um histórico dos equipamentos preciso e com riqueza de informações. Na sequência da fase de levantamento de dados históricos, foram feitas análises e estruturações de planilhas de maneira que estes fossem usados em simulações e levantamento de curvas de vida.

Foram considerados os históricos de tempos até a falha e as suspensões dos equipamentos como entrada para obtenção dos indicadores de confiabilidade. Os dados de suspensões foram basicamente relativos às manutenções preventivas, no intuito de buscar as melhores estimativas dos resultados dos equipamentos estudados.

Devido à presença de suspensões e algumas situações de base de dados com pequenas amostras, foi adotado para as análises dos parâmetros a estimativa pelo método computacional conhecida como o método da máxima verossimilhança (MLE).

O software utilizado neste trabalho foi o Weibull ++. Para a escolha da melhor distribuição de vida referente aos dados levantados, foi utilizada a ferramenta de assistente de distribuição.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Demonstrar de forma quantitativa a evolução da confiabilidade de mandris de uma empresa siderúrgica através do uso de estudos de engenharia de confiabilidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho deverá também atender aos seguintes objetivos específicos, para cumprimento de seu objetivo geral:

- Construir base de dados históricos das campanhas de mandris dos últimos 5 anos;
- Realizar estudo de análise de dados de vida (LDA) para confiabilidade;
- Analisar os resultados encontrados.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em função da criticidade e necessidade de evolução dos resultados de mandris, propostas e implantações de melhorias vem sendo desenvolvidas pela equipe de manutenção, baseando-se nas ocorrências de falhas e análise de componentes após o final de campanhas, caracterizando análises puramente qualitativas. As ações ou desenvolvimentos realizados nos mandris são tentativas de reagir aos modos de falha detectados durante as campanhas ou até mesmo nas manutenções corretivas realizadas em oficina.

Historicamente observa-se uma grande variedade de modos de falha. O elevado número de componentes internos que possuem movimentos relativos entre si (ocorrências de desgastes) dificulta as análises e o direcionamento dos estudos e desenvolvimentos de projetos de melhoria para aumento de confiabilidade e vida útil do ativo. Portanto, implementar novos métodos para análises adicionais é necessário.

Este trabalho busca utilizar informações oriundas de análise de confiabilidade de mandris, com o objetivo de avaliar a evolução da confiabilidade de mandris, direcionar ações futuras, reduzir custos e contribuir desta forma para a estabilidade operacional da produção.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os dados foram obtidos de sistemas informatizados de Acompanhamento da Produção (AP) e de manutenção (Sistema de Manutenção - SISMANA e Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados - SAP) e registros da equipe de manutenção (planilhas no Microsoft Office Excel).

Utilizando o programa Excel será realizada uma análise descritiva dos dados, para que sejam selecionadas as variáveis de interesse. Com o programa *Weibull⁺⁺*, será realizada a LDA utilizando o método da máxima verossimilhança, para ajuste paramétrico dos dados com o objetivo de encontrar a distribuição estatística conhecida que melhor se ajuste ao conjunto de dados dos mandris.

De posse desta distribuição pode-se analisar as métricas da confiabilidade: função distribuição de probabilidade “pdf” e a taxa de falha “h(t)”.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 constitui a introdução do trabalho contendo a apresentação da proposta, definição do tema, objetivos, justificativa e metodologia para o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 2 constitui na apresentação de informações básicas sobre a produção de bobinas à quente em uma usina siderúrgica.

No capítulo 3 será apresentada a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do trabalho no que diz respeito a engenharia da confiabilidade e análise de dados de vida.

No capítulo 4 será apresentada a aplicação do referencial teórico aos dados levantados e a discussão da análise de vida de mandris.

No capítulo 5 serão apresentadas as conclusões do estudo.

2 TEMA

2.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho aplica a análise de dados de vida (LDA) em mandris de bobinadeiras de uma empresa siderúrgica, componentes de fundamental importância no processo de produção de bobinas de aço.

Os mandris são equipamentos críticos que fazem o processamento de toda a produção de tiras de aço da linha de produção. Com isso, 50% da produção passam em cada um deles e qualquer ocorrência de indisponibilidade afeta diretamente nos resultados operacionais da planta. Na maioria das vezes, falhas mecânicas em mandris demandam paradas de produção para correções dos desvios.

Para desenvolvimento deste trabalho foram utilizados registros da equipe de manutenção e relatórios operacionais.

2.2 PRODUÇÃO DE BOBINAS A QUENTE EM UMA USINA SIDERÚRGICA INTEGRADA

A seguir serão descritas informações referentes ao processo de produção de bobinas a quente em uma usina siderúrgica integrada.

2.2.1 Fluxo do Processo Siderúrgico

O aço é uma liga ferro carbono que contém, no máximo, 2% de carbono. O ferro não é obtido puro na natureza, normalmente se encontra combinado ao oxigênio e a sílica, formando o minério de ferro.

O processo de produção do aço passa por três fases básicas: redução, refino e laminação.

A fase conhecida como redução é a primeira etapa de produção do aço. Ela ocorre nos altos-fornos, onde são colocadas as duas principais matérias-primas do processo, o minério de ferro e o carvão (que pode ser mineral ou vegetal). Com temperaturas que chegam a 1.500°C o ferro se liquefaz e se transforma no chamado

ferro gusa ou ferro de primeira fusão. Impurezas como calcário e sílica formam a escória, não aproveitada no processo de fabricação do aço, mas que é a matéria prima para a fabricação de cimento. (COSINA, 2018).

Em seguida, o ferro gusa ainda em estado líquido abastece a área de Aciaria e é transformado em aço líquido nos convertedores.

Finalmente, a terceira fase do processo é a laminação, assunto que será explorado com mais detalhes na seção 2.2.2 deste trabalho. Nesta fase, o aço líquido sofre conformação mecânica adquirindo a forma sólida de placas de aço na área de lingotamento contínuo e na sequência, entram no laminador de tiras a quente (LTQ), onde são transformadas em bobinas de aço laminadas a quente (BQ). A Figura 1 mostra um fluxograma básico de uma usina siderúrgica integrada.

Figura 1- Fluxograma básico de uma usina integrada

Fonte: Álbum interno da empresa siderúrgica.

Na Figura 1 pode-se observar as principais etapas do processo: preparação do minério e do carvão, redução do minério de ferro, refino e conformação mecânica.

2.2.2 Fluxo do processo de Produção de Bobinas de Aço

Conforme descrito anteriormente, as placas da área de lingotamento contínuo são encaminhadas para o LTQ. O processo de laminação se inicia no Forno de Reaquecimento (FR), onde as placas são reaquecidas até a temperatura de processamento (que variam de acordo com as características do material).

Após o reaquecimento, as placas vão para o Laminador Desbastador (LD), composto por uma única cadeira de laminação e que faz a redução de espessura da placa aquecida. Grande parte das usinas praticam redução de uma espessura inicial de 200mm a 250mm para 20mm a 40mm, onde a placa passa a se chamar esboço.

O esboço é encaminhado para o Trem Acabador (TA) que é formado por 5 cadeiras de laminação e reduz a espessura do esboço gradualmente até valores típicos entre 6mm a 19mm.

Após o TA, as tiras passam pela mesa de resfriamento, uma preparação para o processo posterior de bobinamento, onde as tiras são enroladas e transformadas em bobinas a quente. Um layout básico de uma laminação de tiras a quente é mostrado na Figura 2.

Figura 2- Layout básico de um laminador de tiras a quente

Fonte: Álbum interno da empresa siderúrgica.

Na Figura 2 pode-se observar as principais etapas do processo: reaquecimento, desbaste, acabamento, resfriamento e bobinamento.

2.2.3 A Área de Bobinamento

A área de bobinamento da empresa é composta por duas bobinadeiras que trabalham de forma intercalada. Há uma grande demanda de disponibilidade de ambas as bobinadeiras, considerando o alto ritmo de produção, com valores médios do índice de trabalho de 79% (referência dezembro/2018).

As bobinadeiras são equipamentos hidráulicos cuja finalidade é bobinar tiras de 1,0mm até 16mm de espessura, realizando um bobinamento com temperatura, formato e tensionamento adequados, gerando bobinas de qualidade e que atendam as necessidades dos clientes.

2.2.4 Mandris

Os mandris das bobinadeiras são os principais componentes do processo de bobinamento de tiras a quente. Possuem a função de receber as tiras, mantendo sua velocidade sincronizada com os demais equipamentos em todo processo de laminação e enrolá-las em forma de bobinas de aço.

O conjunto de bobinamento é composto basicamente por um redutor de acionamento, acoplamento e mandril, conforme pode ser visto na figura 3.

Figura 3- Desenho de conjunto de bobinamento

Fonte: Arquivo de desenhos da empresa siderúrgica.

Na foto a seguir (Figura 4), uma imagem de um mandril da empresa siderúrgica.

Figura 4- Imagem de um mandril da empresa siderúrgica

Fonte: Arquivo de fotos da empresa siderúrgica.

Os principais componentes de desgaste interno são responsáveis pelos movimentos de colapso e expansão dos mandris, movimentos necessários para tensionamento das tiras durante o bobinamento e também para retirada da bobina do mandril no final do processo.

O desgaste excessivo destes componentes proporciona o aumento das folgas internas e perda de qualidade das bobinas processadas.

Basicamente os movimentos de colapso e expansão são realizados com início no movimento do cilindro hidráulico, que movimentada a haste de expansão. A haste através de seus planos inclinados transmite a movimentação para as cunhas e molas. Finalmente, as cunhas e molas deslocam os segmentos. O movimento dos segmentos é limitado pelos pinos e elos. No desenho da Figura 5 são indicados os principais componentes de desgaste interno.

Figura 5- Desenho da extremidade do mandril. Destaque para principais componentes internos

Fonte: Arquivo de desenhos da empresa siderúrgica.

Outro sistema de destaque de um mandril é o seu sistema de lubrificação. Sistema composto basicamente por tubos e distribuidores de graxa que tem a função de garantir a lubrificação necessária para o perfeito funcionamento do equipamento. A Figura 6 ilustra o sistema de lubrificação de um mandril.

Figura 6- Sistema de lubrificação de um mandril

Fonte: Arquivo de fotos da empresa siderúrgica.

Durante as várias campanhas observadas, ficou clara a importância do perfeito funcionamento do sistema de lubrificação do mandril para garantia de uma vida útil do conjunto conforme esperado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONFIABILIDADE

Determinada como a probabilidade de um sistema ou item desempenhar a sua função primária e/ou secundária por um intervalo de tempo qualquer sem falhar e sob condições de uso determinadas. (MAZZEI, 2018)

3.1.1 A função de Confiabilidade

A função de confiabilidade $R(t)$ define a probabilidade de não ocorrer uma falha até o tempo t . Tomando-se t como uma variável aleatória contínua, a função de confiabilidade $R(t)$ pode ser obtida à partir de uma transformação simples da $F(t)$ dada por (1):

$$F(t_0) = P(t \leq t_0) = \int_{-\infty}^{t_0} f(s) ds \quad (1)$$

Esta é a função que define a probabilidade de ocorrência da falha até o tempo t_0 . Como a confiabilidade é a probabilidade de não-ocorrência da falha até o tempo t_0 , ou a probabilidade de não-falha, torna-se um evento mutuamente excludente em relação à probabilidade dada em (1). Desse fato conclui-se que a probabilidade de falha somada à probabilidade de não-falha (confiabilidade) deve resultar o valor 1. A função mostrada em (1) é também dado o nome de função desconfiabilidade, $Q(t)$, já que ela representa a probabilidade de falha (MARCORIN, 2002).

Portanto,

$$Q(t) + R(t) = 1 \quad (2)$$

$$R(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_{-\infty}^{t_0} f(s) ds \quad (3)$$

ou seja,

$$R(t) = P(t \geq t_0) = \int_{t_0}^{\infty} f(s) ds \quad (4)$$

3.1.2A Taxa de Falhas ou Taxa de Risco

A taxa de risco ou taxa de falhas de um produto define a sua probabilidade instantânea de falha, que é a probabilidade de o produto sobreviver ao intervalo de t a $t+dt$, dado que ele tenha sobrevivido até o tempo t .

A função taxa de falhas ou taxa de risco é dada por:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

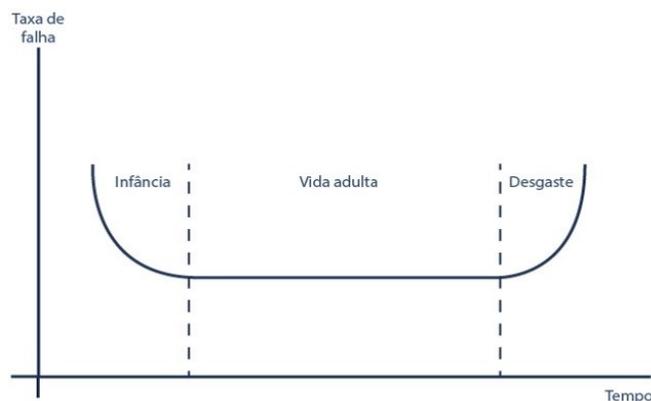
Pode-se também definir a taxa de falhas cumulativa como sendo:

$$H(t) = \int_{-\infty}^t \frac{f(s)}{R(s)} ds \quad (6)$$

A taxa de falhas não é necessariamente constante ao longo da vida de um produto. A representação gráfica da variação da taxa de falhas ao longo do tempo é comumente conhecida como “curva da banheira” (O’CONNOR, 1988; MÜLLER & SCHWARZ, 1986) ou “curva de mortalidade” (SMITH, 1986). Sua forma clássica está representada na Figura 7.

Na fase chamada de infância, problemas associados em geral ao processo de fabricação causam taxa de falhas alta em um produto novo. À medida que os problemas são sanados esta taxa vai decrescendo acentuadamente até se estabilizar em um valor de taxa de falhas aproximadamente constante. Aí se inicia a chamada vida útil do produto.

Figura 7- Curva da banheira



Fonte: NGI (2018).

Durante a vida útil, a taxa de falhas do produto é praticamente constante, onde as falhas ocorrem meramente ao acaso. Com a utilização do equipamento, as suas peças vão sofrendo ação dos desgastes e este entra em uma fase de taxas de falhas crescentes, conhecida como velhice ou desgaste. A caracterização destas fases é muito importante para a determinação de políticas de manutenção. Para manter a disponibilidade dos equipamentos, o tempo de vida útil deve ser mantido o mais longo possível. As partes do equipamento que estejam próximos de sua fase de desgaste devem ser trocadas, de forma a evitar paradas imprevistas de máquinas por desgaste. Uma técnica de confiabilidade pode ser utilizada para o gerenciamento da manutenção, com base em dados de confiabilidade, conhecida como RCM (*Reliability Centered Maintenance*).

3.2 DISTRIBUIÇÕES MAIS UTILIZADAS

A distribuição estatística é descrita pela f.d.p. (função densidade de probabilidade). As utilizações das funções mais usuais na análise de confiabilidade permitem a análise de dados de vida, tais como, função confiabilidade, função taxa de falha, função vida média e função vida mediana. Todas estas podem ser determinadas diretamente a partir das definições da f.d.p. ou $f(t)$.

Existem diferentes distribuições estatísticas, todas com o $f(t)$ pré-definido. Estas distribuições foram formuladas por estatísticos, matemáticos e engenheiros para modelar matematicamente ou representar certo comportamento. Por exemplo, a distribuição Weibull foi formulada por Walloddi Weibull. Muitas das distribuições que tendem a melhor representar os dados de vida são comumente chamadas de distribuições de vida e algumas destas são mostradas a seguir.

3.2.1 Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial frequentemente utilizada para componentes ou sistemas que apresentam uma taxa de falha constante. A f.d.p. da distribuição exponencial é definida como:

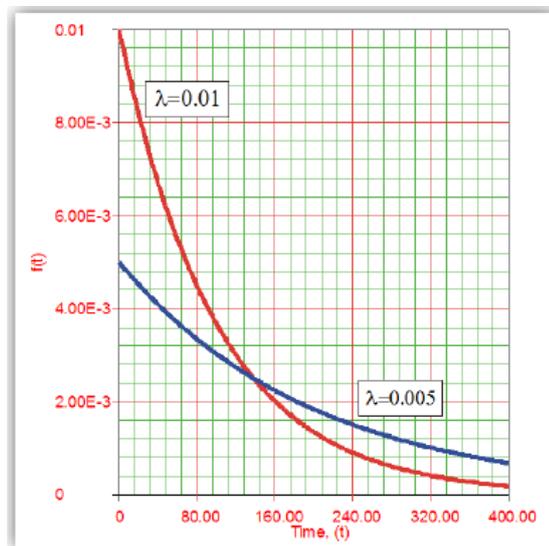
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad , t \geq 0 \quad (7)$$

$$f(t) = 0 \quad , t < 0$$

Onde t é a variável aleatória que representa o tempo. A letra grega (λ) representa o que é comumente referenciado como o parâmetro da distribuição.

Uma função densidade de probabilidade de falha é mostrada na Figura 8.

Figura 8- Distribuição Exponencial



Fonte: Apostila Análise de dados de vida (2018).

A distribuição Exponencial é importante em estudos de confiabilidade por ser a única distribuição contínua em função do risco constante (FOGLIATTO, 2009). Trata-se de um modelo apropriado para descrever a vida de sistemas complexos, como máquinas e equipamentos constituídos de diversos itens. Ela é considerada uma das mais simples em termos matemáticos.

3.2.2 Distribuição Weibull

Distribuição postulada por Ernest Hjalmar Wallodi Weibull (1951), físico sueco que no ano de 1939 apresentou um modelo sobre fadiga de materiais. Esta distribuição é amplamente empregada no estudo de confiabilidade, pois não possui uma forma definida, ou seja, pode ser usada no estudo de diversos casos em que

existam dados experimentais (PIAZZA, 2000). Weibull é composta por três parâmetros, α , β e γ . Esses parâmetros são responsáveis pela versatilidade desta distribuição. Por meio deles, muitos dados experimentais podem ser expressos matematicamente (DIAS, 2004).

A função densidade de probabilidade de falha para a distribuição Weibull triplicada é dada pela Equação 8.

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (8)$$

Onde: β = parâmetro de forma (ou inclinação)

η = parâmetro de escala (também chamado de vida característica)

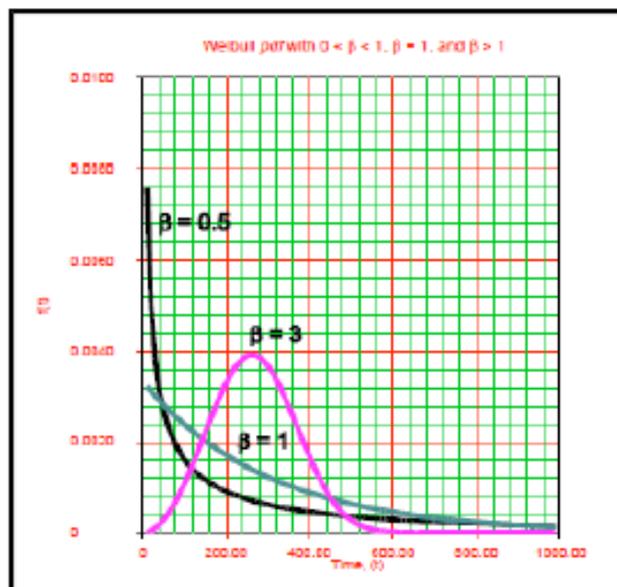
γ = parâmetro de localização (também chamado de vida mínima)

Se $\gamma = 0$, então temos a p.d.f. da distribuição Weibull com dois parâmetros dada pela equação 9:

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta} \quad (9)$$

Um exemplo de função de densidade de probabilidade de falha é mostrado na Figura 9.

Figura 9- Distribuição Weibull



Fonte: Apostila Análise da dados de vida (2018).

Pode-se observar que o parâmetro β é responsável pela forma da função. Ou seja, ele determina a “aparência” da distribuição. Para $\beta < 1$ o número de falhas decresce com o tempo. Para $\beta = 1$ o comportamento apresentado é quase linear. Para $\beta > 1$, a função densidade de probabilidade cresce rapidamente no começo da vida do componente.

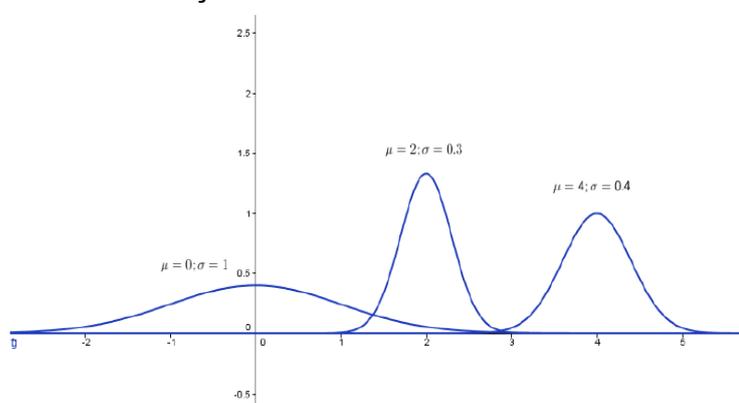
3.2.3 Distribuição Normal

A distribuição normal é a mais importante das distribuições de probabilidades. Conhecida como a “curva em forma de sino”, a distribuição normal tem sua origem associada aos erros de mensuração. É sabido que quando se efetuam repetidas mensurações de determinada grandeza com um aparelho equilibrado, não se chega ao mesmo resultado todas as vezes; obtém-se, ao contrário, um conjunto de valores que oscilam, de modo aproximadamente simétrico, em torno do verdadeiro valor. (CORREA, 2003)

O formato da Curva Normal dependerá dos parâmetros μ (média) e σ (desvio padrão). Ao variar esses dois parâmetros tem-se movimentos de traslação e achatamento no gráfico. Mesmo nessas variações, todas as representações normais são simétricas, tem formato semelhante ao contorno de um sino e a área total sob a curva é igual a 1. (DUARTE, 2010)

A Figura 10 mostra três variações da Curva Normal de acordo com os respectivos parâmetros μ e σ .

Figura 10- Curvas de distribuição Normal



Fonte: GONÇALVES, 2014

Pode-se observar pelas representações gráficas que o valor da média indica o centro da distribuição e o desvio padrão mede a dispersão do conjunto, indicando a variabilidade em relação ao centro, ou seja, quanto maior o desvio padrão mais achatado será o gráfico. (GOLÇALVES, 2014).

3.3 TIPOS DE DADOS

Dados são elementos que podem representar ou transmitir informações. Dentre os dados em estudo neste trabalho, os mais importantes são as medidas até a ocorrência e os eventos (falhas). A falha e a escala de medida constituem componentes básicos a serem definidos num estudo de confiabilidade (FREITAS; COLOSIMO, 1997, p. 69).

Na confiabilidade dados podem afetar na estimação do resultado, por este motivo devem ser apurados corretamente. Elas podem ser diferenciadas da seguinte forma:

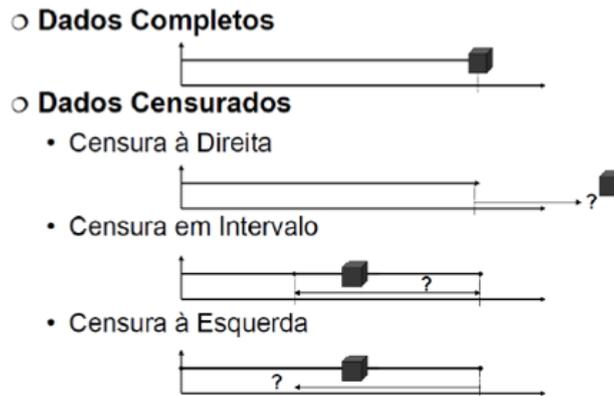
- a) Dados completos – todos os itens falharam no teste;
- b) Dados censurados – é a presença de informações incompletas ou parciais, pois testes não foram até todos os itens falharem por motivos diversos. Os dados censurados são significativos nas análises, pois fornecem informações do tempo de vida do item e sua omissão tornaria os cálculos estatísticos viciados com dados apenas não censurados. Dados censurados podem ser do tipo I, quando o teste é terminado após um período programado, antes de todos itens terem falhado. Podem ser do tipo II, quando uma quantidade de itens programados falhou e o teste é interrompido. Outro tipo de censura é o aleatório, quando um item falha de modo não esperado pelo teste e é retirado do ensaio. Apesar de a tratativa estatística ser geralmente a mesma para os tipos de censuras descritos, o uso de uma ou outra traz vantagens quando não temos informações de durabilidade, para o caso do tipo II, ou quando é necessário um planejamento de duração de testes, para o tipo I (FREITAS & COLOSIMO, 1997, p. 69).

Ainda sobre dados censurados, existem os chamados à direita ou suspensões, que são os mesmos do tipo I. Os censurados à esquerda são os mesmos do tipo II, mas são raros na prática. Há ainda os chamados de censura por

intervalo, quando um item em falha é descoberto dentro um período de intervalo de inspeção, este também é chamado “dado de leitura” (RYAN, 2009).

Na Figura 11 é ilustrado um comparativo dos tipos de dados.

Figura 11- Comparativo de tipos de dados



Fonte: Apostila Análise de dados de Vidas Reliasoft, p. 74

EBELING (2000, p.286) ressalta que a censura introduz dificuldades adicionais na análise estatística dos tempos de falha, pois, ao se ignorar unidades censuradas na análise, pode ocorrer a eliminação de informações valiosas e a consequente alteração do resultado.

3.4 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

Para a realização de um controle mais efetivo sobre as máquinas, no que se refere aos assuntos relacionados aos modos de falhas e a disponibilidade de um equipamento, surge a necessidade da elaboração de um planejamento de atividades da equipe de manutenção baseada em uma coleta de informações baseada em históricos (FILHO, 2005).

A análise de dados de vida utiliza de teorias estatísticas para construir modelos probabilísticos, a partir de dados de falhas (RELIASOFT, 2012). A vida do produto pode ser medida em horas, ciclos ou outra medida aplicada no período de sucesso da operação do produto. Frequentemente os pontos de dados de vida são chamados de tempo até a falha.

Também muitas vezes chamada de análise de Weibull, a análise de dados de vida faz previsões da vida dos produtos, à partir de uma amostra representativa. Ela pode ser usada para estimar características importantes do produto, tais como a confiabilidade, ou a probabilidade de falha em um tempo específico.

Para a análise é imprescindível coletar as informações de vida do produto, escolher a distribuição adequada para o modelo de vida do produto e estimar os parâmetros adequados para a distribuição de dados. Apesar de ser comumente utilizada a análise de Weibull, outras distribuições podem ser aplicadas para análise de dados de vida, como Exponencial, Lognormal e Normal.

Com a análise, é obtida uma variedade de gráficos e resultados. A probabilidade de que uma unidade irá operar com êxito em um determinado ponto determinado de tempo (LIFE DATA ANALYSIS, 2015).

Outras informações que podem ser extraídas dessa análise são: tempo médio até falhar (MTTF, do original Mean Time to Failure), tempo médio entre falhas (MTBF, do original Mean Time Between Failure), taxa de falha e garantia do produto.

3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado um referencial teórico da Engenharia de Confiabilidade, com destaque para os conceitos de uma função de confiabilidade, distribuições estatísticas mais utilizadas e teorias sobre análise de dados de vida.

A caracterização de cada uma das distribuições estatísticas mais utilizadas foi realizada de forma sucinta, concentrando-se em conceitos básicos, fundamentais para o entendimento e desenvolvimento das modelagens desenvolvidas no capítulo 4.

No próximo capítulo serão realizadas modelagens com a utilização de dados de vida dos mandris de uma empresa siderúrgica.

4 ESTUDO DE CONFIABILIDADE QUANTITATIVA

O estudo de engenharia de confiabilidade quantitativa foi realizado nos mandris de um laminador de tiras a quente.

O conjunto de mandris utilizado atualmente no laminador é constituído de 5 unidades, onde 4 unidades foram adquiridas originalmente em conjunto com o laminador em 2002. O quinto mandril foi adquirido em 2013, devido à baixa performance apresentada pelos mandris até então e o elevado tempo necessário para manutenções em oficina, o que impactava na disponibilidade de mandris reservas e consequentemente na estabilidade do processo produtivo.

4.1 PREMISSAS PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para definir critérios de acordo com o contexto operacional e simplificar as simulações, em casos onde os dados históricos não possuem a profundidade de detalhes necessária, algumas premissas foram adotadas:

- Na simulação foram considerados os componentes reparáveis como “tão bons quanto novos” ao retornarem à operação após o reparo. Não há registros ou referências para avaliação da eficiência dos reparos realizados;
- Quando os mandris apresentaram características abaixo dos parâmetros aceitáveis, o que acarretou a sua substituição, foram considerados como em falha, mesmo ainda não tendo deixado de executar as funções primárias. Ex.: Mandril substituído devido a problemas de qualidade ou ruído anormal nos rolamentos;

Aplicando estas premissas no tratamento dos dados históricos foi possível a simulação e análise do comportamento dos mandris neste cenário.

4.2 FORMAÇÃO DA BASE DE DADOS

No estudo dos mandris foi definido o intervalo de apuração dos dados de 6 anos, à partir de maio de 2013 até outubro de 2018. Neste intervalo foi possível realizar análises das vidas de mandris adequadamente.

Com este intervalo foram utilizados dados históricos de 24 campanhas de mandris, aplicados nas duas bobinadeiras do Laminador de Tiras a Quente.

Para levantamento dos referidos dados históricos dos mandris, diversas fontes foram pesquisadas e as informações registradas em cada uma foram correlacionadas. Esta atividade foi de fundamental importância, pois através dela foi possível organizar as informações de uma forma adequada para os estudos de confiabilidade.

A seguir são apresentados breves descritivos das fontes utilizadas.

4.2.1 Sistema de manutenção (SISMANA)

Este aplicativo é o CMMS (*Computerized Maintenance Management System*), sistema computadorizado de gerenciamento de manutenção da empresa siderúrgica, desenvolvido internamente. Nele concentram-se todas as informações referentes à manutenção dos ativos da empresa (dados técnicos, registros de reparos, planejamento e programação de manutenções).

4.2.2 Acompanhamento da Produção do Laminador de Tiras a Quente (AP)

O aplicativo de Acompanhamento da Produção do Laminador de Tiras a Quente (AP) é um aplicativo operacional, desenvolvido para registrar todos os dados referentes à operação do Laminador de Tiras a Quente da empresa siderúrgica. Funciona através do registro automático de qualquer intervalo acima de 180 segundos entre tiras processadas no Laminador. O aplicativo cria um evento, onde o operador registra a natureza e motivo do desvio.

Detalhes de manutenção não são tão bem descritos nos registros em função de ter sido desenvolvido para registros de informações operacionais, além disso, os referidos registros são atualizados por operadores, conseqüentemente não há descrições e organização dos registros voltados para uma análise de confiabilidade. Deste sistema foram extraídas todas as ocorrências de trocas dos equipamentos objetos deste trabalho.

4.3 RESULTADOS HISTÓRICOS OBTIDOS

Em um estudo de confiabilidade quantitativa, a qualidade da resposta depende diretamente da qualidade dos dados. Em função disso, a coleta e tratamento dos dados constitui uma das principais etapas do estudo. Visando assegurar a maior assertividade possível, foram utilizadas as informações de registros tanto do sistema da operação, como o da manutenção.

Através do cruzamento dos dados foi possível estratificar informações à partir de 2012. Importante ressaltar que a condição operacional anterior a 2012 era bastante distinta e a utilização dos dados e informações referentes a este período poderia contaminar a análise deste trabalho.

Os dados levantados para a análise dos mandris utilizados na bobinadeira N°1 são mostrados na Tabela 1.

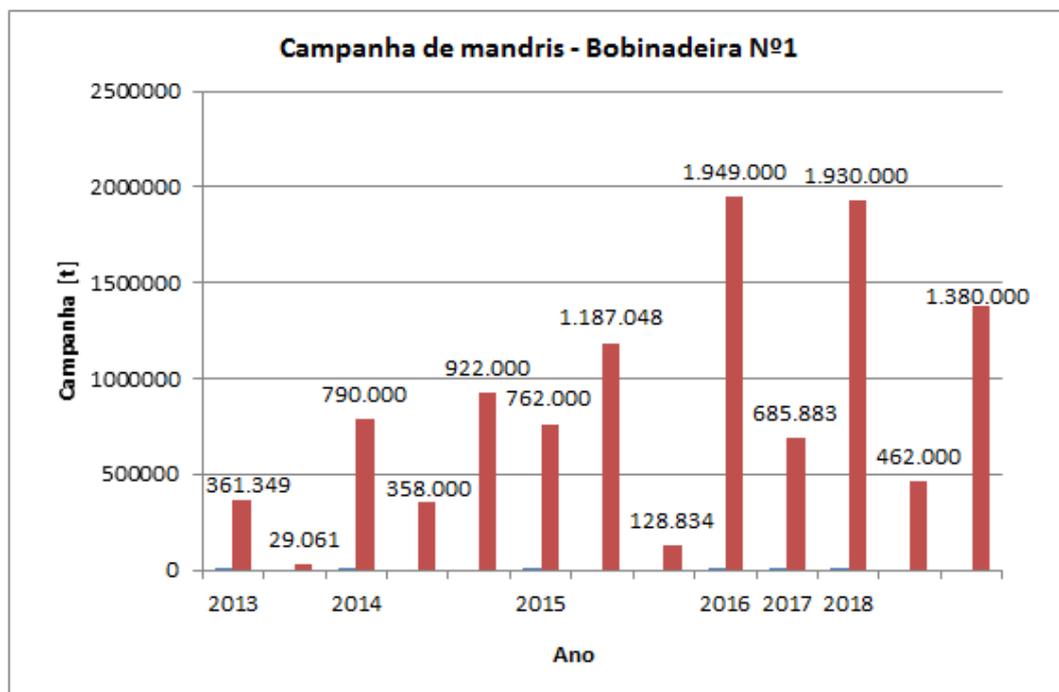
Tabela 1- Dados históricos dos mandris da bobinadeira N°1

Mandril	Entrada	Saída	Campanha [dias]	Campanha [t]
3	01/08/2013	08/10/2013	68	361.349
5	09/10/2013	15/10/2013	6	29.061
3	15/10/2013	24/03/2014	160	790.000
1	25/03/2014	15/06/2014	82	358.000
3	15/06/2014	01/11/2014	139	922.000
1	01/11/2014	02/03/2015	121	762.000
4	02/03/2015	26/10/2015	238	1.187.048
1	26/10/2015	26/11/2015	31	128.834
1	26/11/2015	28/10/2016	337	1.949.000
4	28/10/2016	28/02/2017	123	685.883
2	28/02/2017	27/01/2018	333	1.930.000
4	27/01/2018	18/04/2018	81	462.000
5	18/04/2018	Em operação	-	1.141.747

Fonte: Controles internos da empresa siderúrgica.

Para facilitar a visualização da evolução do comportamento dos mandris aplicados na bobinadeira N°1 no período considerado, um gráfico de barras foi elaborado, conforme Figura 12.

Figura 12- Gráfico do histórico dos mandris aplicados na bobinadeira N°1



Fonte: O autor.

Similarmente, a continuidade do trabalho foi realizada com o levantamento dos dados para a análise dos mandris utilizados na bobinadeira N°2, que são mostradas na Figura 13.

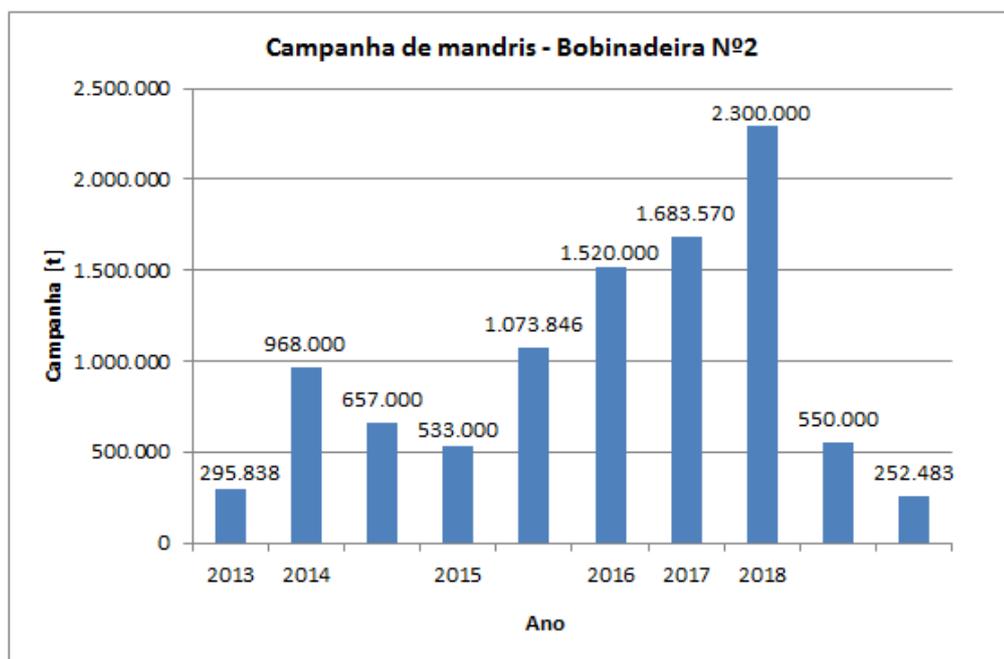
Tabela 2- Dados históricos dos mandris da bobinadeira N°2

Mandril	Entrada	Saída	Campanha [dias]	Campanha [t]
2	03/05/2013	24/06/2013	52	295.838
4	25/06/2013	06/01/2014	195	968.000
2	06/01/2014	26/08/2014	232	657.000
4	26/08/2014	27/01/2015	154	533.000
5	27/01/2015	17/08/2015	202	1.073.846
2	17/08/2015	29/06/2016	317	1.520.000
5	29/06/2016	19/04/2017	294	1.683.570
1	19/04/2017	28/05/2018	404	2.300.000
4	28/05/2018	08/09/2018	103	550.000
3	08/09/2018	17/10/2018	39	252.483
4	17/10/2018	Em operação	-	1.079.515

Fonte: O autor.

Para facilitar a visualização da evolução do comportamento dos mandris aplicados na bobinadeira N°2 no período considerado, também foi elaborado um gráfico de barras, conforme Figura 13.

Figura 13- Dados históricos dos mandris da bobinadeira N°2



Fonte: O autor.

Foram consideradas todas as intervenções corretivas e preventivas em que houve substituição de mandris de ambas as bobinadeiras do Laminador de Tiras a Quente da empresa siderúrgica.

4.4 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

Para a análise quantitativa dos mandris foram feitos dois estudos distintos. O primeiro considerando uma amostragem constituída pelas campanhas dos mandris que tiveram campanhas antes dos desenvolvimentos em seus projetos e procedimentos de manutenção. Já no segundo estudo foi considerada amostragem após este período.

Desta forma, para a execução da análise, os dados foram rearranjados conforme cenários descritos. Na Tabela 3 podem ser observados os dados das campanhas dos mandris antes dos desenvolvimentos.

Tabela 3- Dados históricos dos mandris antes dos desenvolvimentos

Mandril	Entrada	Saída	Campanha [dias]	Campanha [t]
3	01/08/2013	08/10/2013	68	361.349
5	09/10/2013	15/10/2013	6	29.061
3	15/10/2013	24/03/2014	160	790.000
1	25/03/2014	15/06/2014	82	358.000
3	15/06/2014	01/11/2014	139	922.000
1	01/11/2014	02/03/2015	121	762.000
2	03/05/2013	24/06/2013	52	295.838
4	25/06/2013	06/01/2014	195	968.000
2	06/01/2014	26/08/2014	232	657.000
4	26/08/2014	27/01/2015	154	533.000
5	27/01/2015	17/08/2015	202	1.073.846

Fonte: O autor.

Em seguida, os dados das campanhas dos mandris de depois dos desenvolvimentos foram agrupados de forma similar, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4- Dados históricos dos mandris depois dos desenvolvimentos

Mandril	Entrada	Saída	Campanha [dias]	Campanha [t]
4	02/03/2015	26/10/2015	238	1.187.048
1	26/10/2015	26/11/2015	31	128.834
1	26/11/2015	28/10/2016	337	1.949.000
4	28/10/2016	28/02/2017	123	685.883
2	28/02/2017	27/01/2018	333	1.930.000
4	27/01/2018	18/04/2018	81	462.000
2	17/08/2015	29/06/2016	317	1.520.000
5	29/06/2016	19/04/2017	294	1.683.570
1	19/04/2017	28/05/2018	404	2.300.000
4	28/05/2018	08/09/2018	103	550.000
3	08/09/2018	17/10/2018	39	252.483

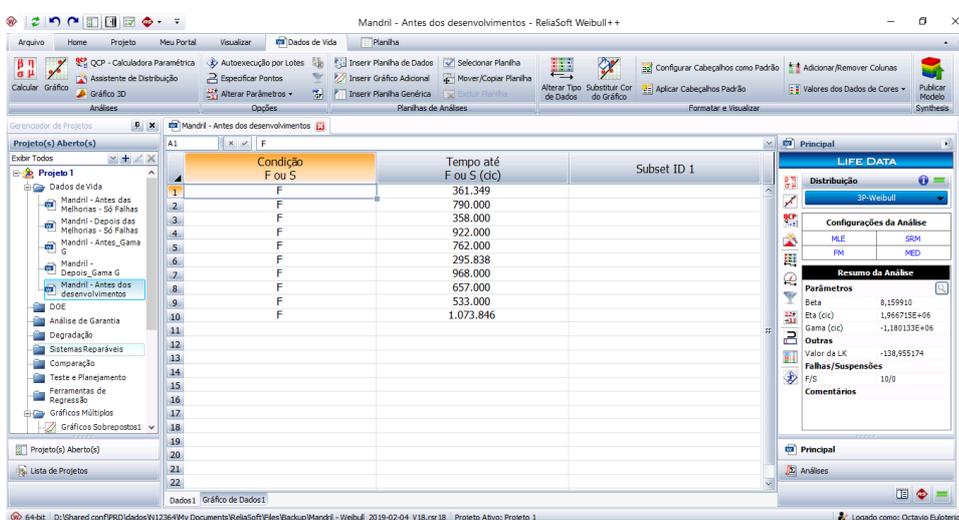
Fonte: O autor.

O rearranjo dos dados foi importante para entendimento e definição das amostras a serem analisadas, além de facilitar a etapa de inserção de dados no software, que será descrita a seguir.

4.4.1 Tratamento dos dados

Após abertura do software Weibull 7++ da Reliasoft, foi preenchida uma planilha padrão, que foi configurada para registrados de dados de tempo até as falhas, considerando os dados representativos para os modos de falha similares. Os dados das campanhas dos mandris antes dos desenvolvimentos foram inseridos conforme a Figura 14.

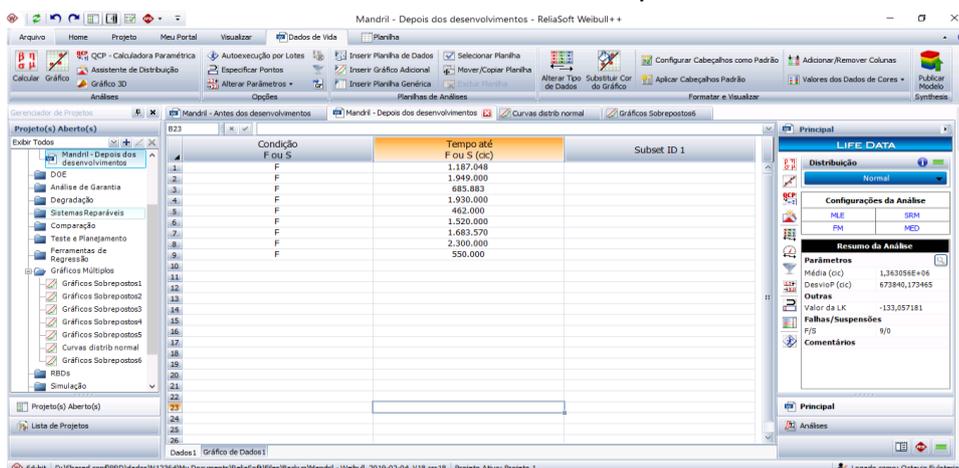
Figura 14- Dados inseridos no Weibull 7++. Mandris antes dos desenvolvimentos



Fonte: o autor utilização do software Weibull++, versão 11 – 2017.

O mesmo procedimento foi adotado para inserção dos dados das campanhas dos mandris após os desenvolvimentos, conforme Figura 15.

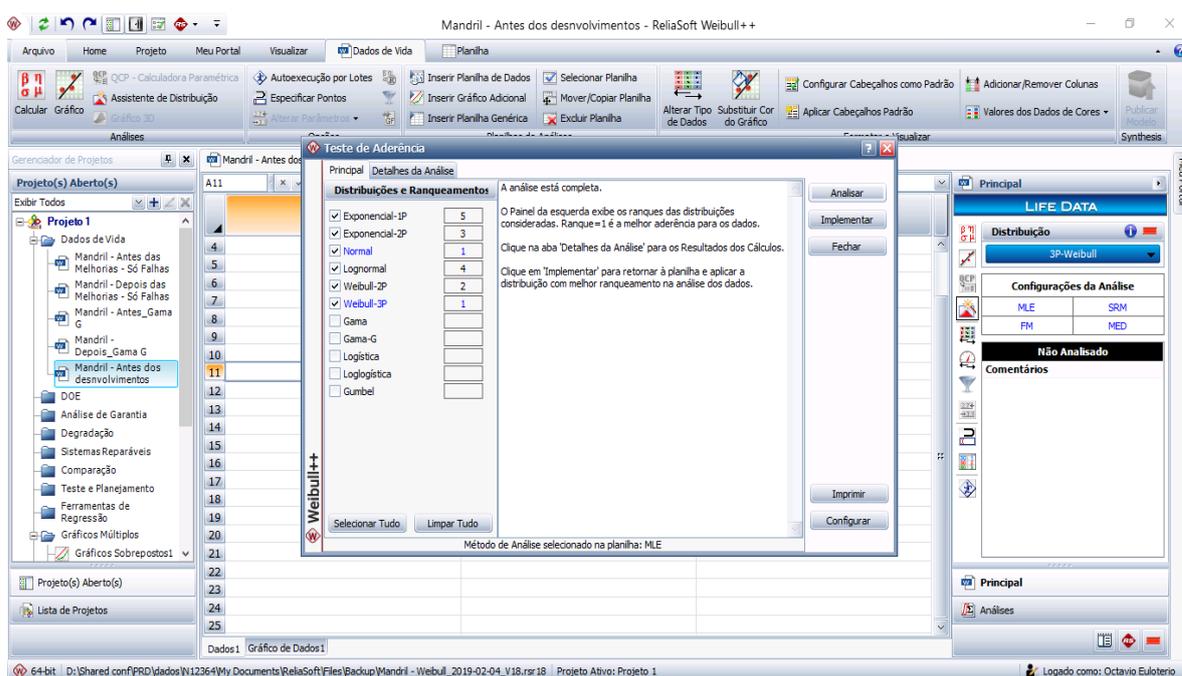
Figura 15- Dados inseridos no Weibull 7++. Mandris após os desenvolvimentos



Fonte: o autor utilização do software Weibull++, versão 11 – 2017.

Após a inserção dos dados foi realizado teste de aderência considerando as distribuições mais usuais, constatada a melhor opção para a análise a distribuição Weibull com 3 parâmetros, à partir desta foi possível definir seus respectivos parâmetros. Na figura 16 é mostrado o resultado encontrado para o teste de aderência das campanhas dos mandris antes dos desenvolvimentos.

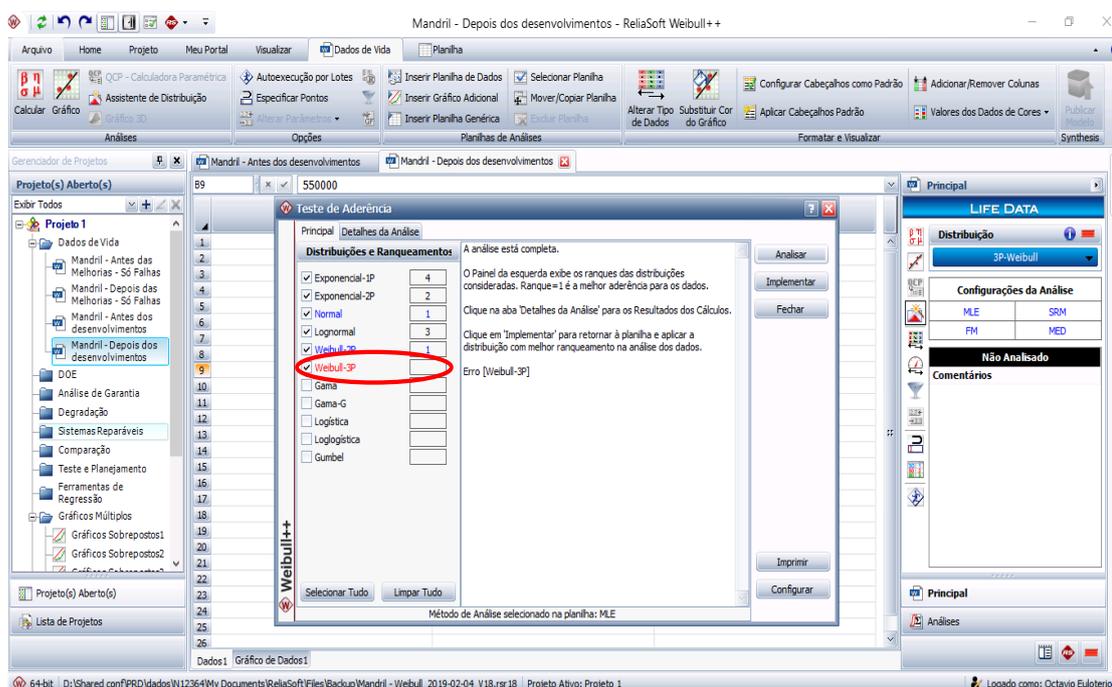
Figura 16- Resultado do teste de aderência para campanhas dos mandris antes dos desenvolvimentos



Fonte: o autor utilização do software Weibull++, versão 11 – 2017.

Para realização do teste de aderência das campanhas dos mandris após os desenvolvimentos foi adotado o mesmo procedimento e o resultado é mostrado na Figura 17.

Figura 17- Resultado do teste de aderência para campanhas dos mandris após os desenvolvimentos



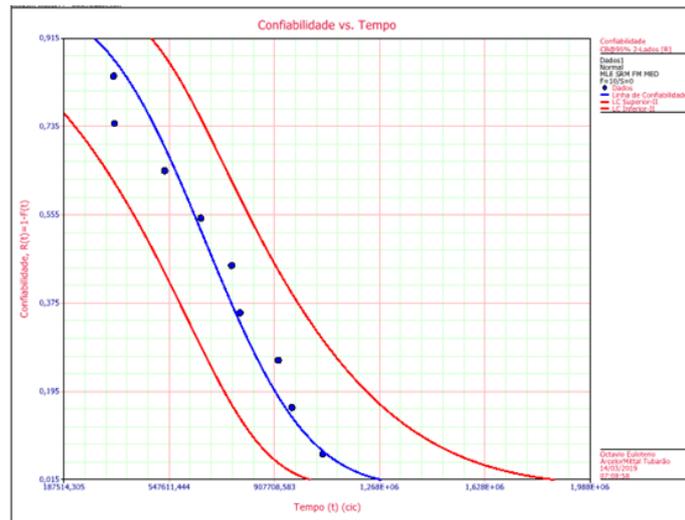
Fonte: o autor utilização do software Weibull++, versão 11 – 2017.

Conforme destaque das Figuras 16 e 17, a melhor distribuição indicada para os dados dos mandris antes dos desenvolvimentos foi a Weibull com 3 parâmetros, já para os dados dos mandris após os desenvolvimentos, esta não foi a indicada. Para o segundo caso, a distribuição colocada como primeira opção foi a distribuição normal. Desta forma, serão utilizadas distribuições normais para ambos os casos, visando facilitar as análises comparativas.

4.4.2 Análise dos dados do projeto original

Após inserção na planilha apenas com os dados de tempo até as falhas dos mandris com condição original (antes dos desenvolvimentos), foi obtida a curva de confiabilidade conforme mostrado na Figura 18 a seguir:

Figura 18- Curva de confiabilidade de mandris conforme projeto original

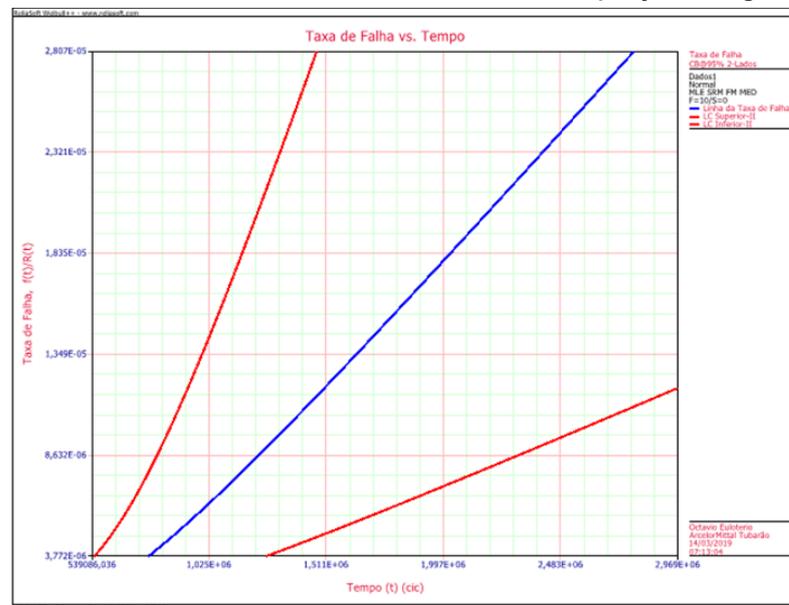


Fonte: o autor utilização do software Weibull++, versão 11 – 2017.

Os parâmetros obtidos foram: Média (cic)= 672103,3000 e Desvio padrão (cic)= 276840,1053.

Tomando como base os mesmos dados dos mandris conforme projeto original, uma curva da taxa de falhas foi gerada, mostrada a Figura 19.

Figura 19- Curva da taxa de falha de mandris conforme projeto original



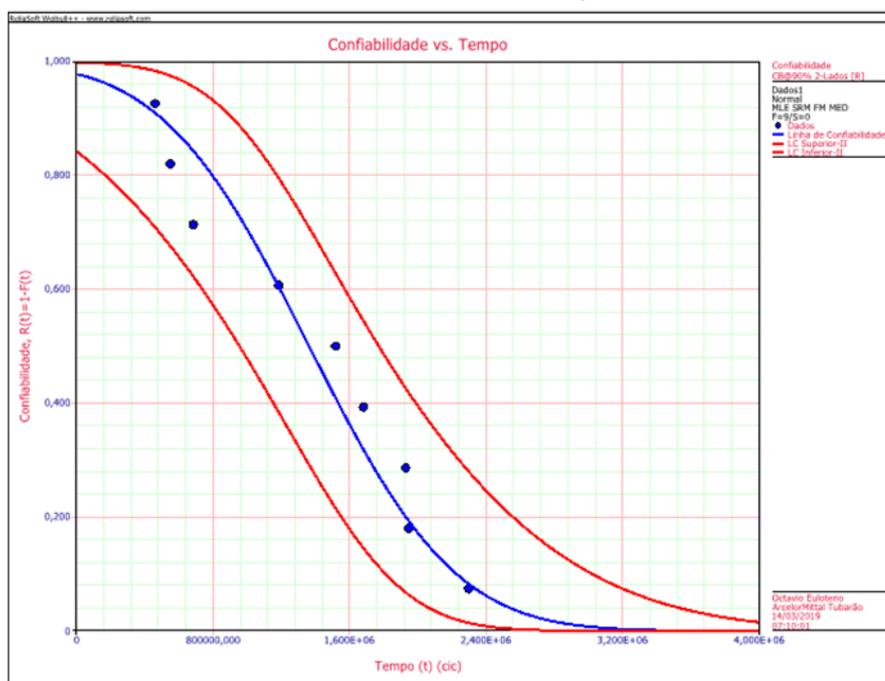
Fonte: o autor utilização do software Weibull++, versão 11 – 2017.

As curvas obtidas farão parte das análises comparativas entre dois cenários: um considerando mandris conforme projeto original e outro considerando os mandris após desenvolvimentos (melhorias) do projeto.

4.4.3 Análise dos dados após desenvolvimentos

Através da inserção da planilha apenas com os dados de tempo até as falhas dos mandris após os desenvolvimentos, foi obtida a curva de confiabilidade conforme Figura 20, à seguir:

Figura 20- Curva de confiabilidade de mandris após desenvolvimentos

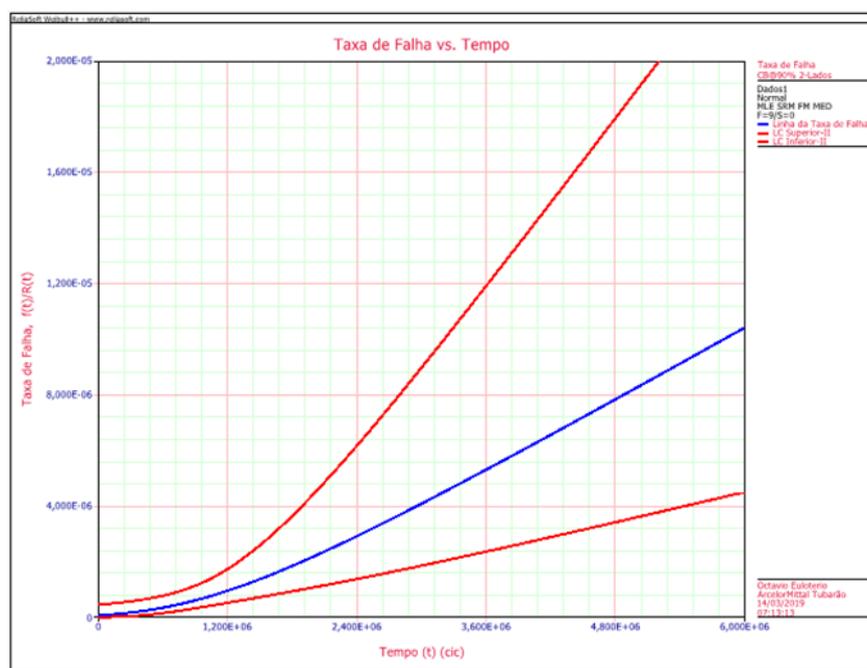


Fonte: o autor utilização do software Weibull++, versão 11 – 2017.

Os parâmetros obtidos foram: Média (cic)= $1,3630 \times 10^6$ e Desvio padrão (cic)= 673840,1735. O intervalo de confiança apresentado tem valores relativamente distantes da curva e uma redução desta incerteza pode ser obtida com a utilização de um maior número de amostras.

Tomando como base os mesmos dados dos mandris após os desenvolvimentos, uma curva da taxa de falhas foi gerada, mostrada na Figura 21.

Figura 21- Curva da taxa de falha de mandris conforme projeto original



Fonte: o autor utilização do software Weibull ++, versão 11 – 2017.

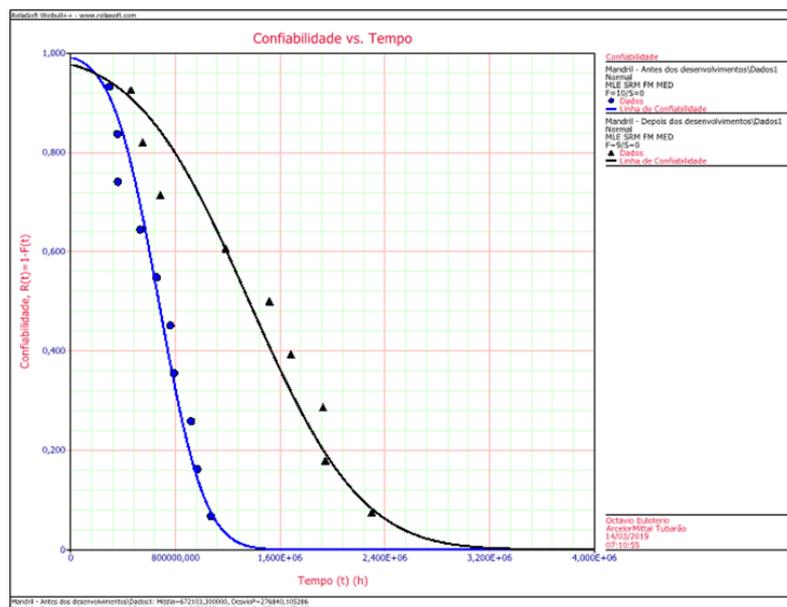
Conforme citado anteriormente, a curva da Figura 21 fará parte das análises comparativas entre os dois cenários considerados.

4.4.4 Análise comparativa

Para realização de uma análise comparativa, foram feitas sobreposições das curvas obtidas anteriormente, de forma a facilitar as análises e interpretações dos dados em ambos os cenários.

Inicialmente foram sobrepostas as distribuições de confiabilidade x tempo. O gráfico obtido é mostrado na Figura 22.

Figura 22- Curvas de confiabilidade sobrepostas. Antes x depois dos desenvolvimentos

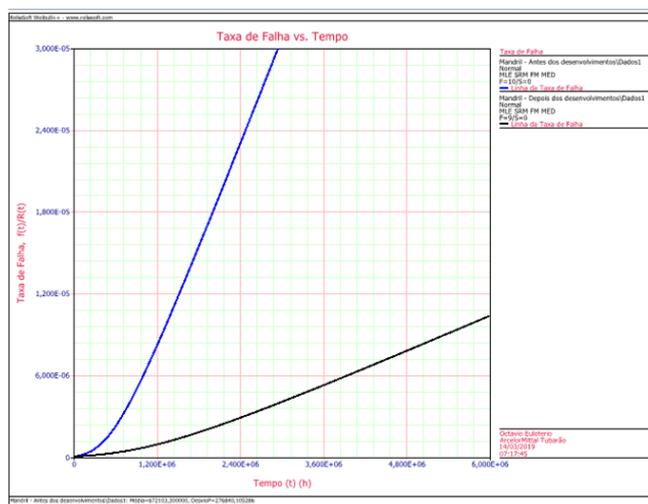


Fonte: o autor utilização do software Weibull ++, versão 11 – 2017

Conforme pode ser observado, para um mesmo tempo de missão, a curva depois dos desenvolvimentos apresenta uma confiabilidade maior.

Na sequência foram sobrepostas as curvas das taxas de falha. O gráfico obtido é mostrado na Figura 23.

Figura 23- Curvas de taxa de falha sobrepostas. Antes x depois dos desenvolvimentos



Fonte: o autor utilização do software Weibull ++, versão 11 – 2017

Através deste gráfico ficou evidente que após os desenvolvimentos a curva de falhas apresenta uma taxa de crescimento significativamente mais lenta.

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados do trabalho de aumento de confiabilidade de mandris de uma empresa siderúrgica e os comentários sobre os métodos que foram utilizados para realização das análises. O foco do trabalho foi a análise comparativa entre os parâmetros de confiabilidade de mandris conforme o projeto original e os parâmetros de mandris após a realização de desenvolvimentos. Havia evidências de melhoria dos resultados, porém apenas através de comparações dos valores das campanhas, medidas em toneladas, ao longo do tempo.

Foi necessária a dedicação de um tempo considerável para o levantamento e tratamento dos dados para elaboração do trabalho. O histórico dos equipamentos não era registrado de uma forma fácil e direta para consulta e aplicação das ferramentas de confiabilidade. As informações de falhas foram coletadas de diferentes sistemas, que são atualizados funcionários com funções diferentes, dificultando a estratificação dos dados e comprometendo a qualidade das informações.

Diante do exposto, a empresa já estuda o desenvolvimento de um sistema adequado para o registro dos dados com a qualidade necessária para viabilizar os estudos de confiabilidade. Desta forma será eliminada a necessidade de trabalhos desnecessários no momento do levantamento de dados, já que a fonte estará fornecendo informações devidamente registradas e com a qualidade requerida para a atividade.

5.1 RESULTADOS DOS DESENVOLVIMENTOS

Com o objetivo de aumentar o desempenho dos mandris da empresa siderúrgica, as ações para desenvolvimento foram concentradas nos modos de falha de maior impacto e de conhecimento da equipe de manutenção.

As modificações nos projetos foram realizadas em parcerias entre a equipe de manutenção, engenharia da empresa e o fornecedor do equipamento.

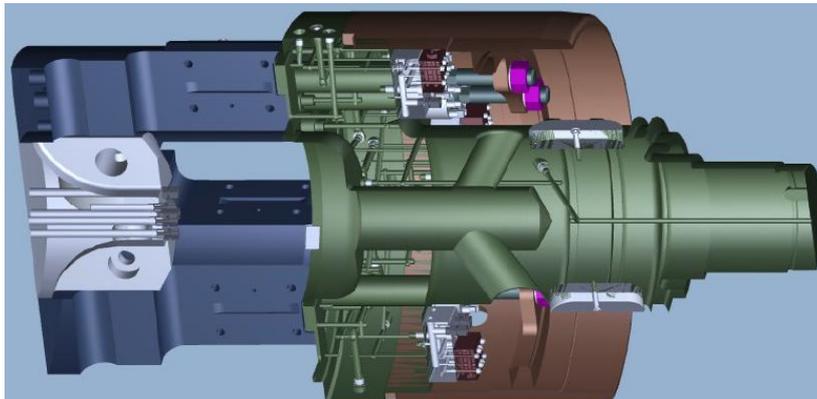
Através de análises detalhadas, foram feitos diversos tipos de alterações, como materiais aplicados, ajustes, procedimentos de recuperação e manutenção e até mesmo modificação completa do conceito do projeto original, como foi feito no cabeçote do mandril.

Os novos projetos também foram assuntos que demandaram muito esforço, pois muitas dificuldades foram encontradas. As soluções apresentadas para atendimento as ideias de modificações apresentadas pela equipe de manutenção, consistiam na substituição por completo do projeto original, ou seja, um novo equipamento. Estas soluções eram as mais práticas e imediatas, porém também eram as que exigiam altos investimentos e inviabilizavam economicamente os trabalhos. Por isso foi necessário grande esforço da equipe de manutenção da empresa siderúrgica, a fim de executar novos projetos de forma parcial, aproveitando ao máximo os ativos da empresa existentes, reduzindo o custo das implantações dos desenvolvimentos, viabilizando a realização das modificações e consequentemente otimizando os resultados dos equipamentos.

Vale ressaltar que o projeto do novo cabeçote dos mandris foi realizado em uma parceria da equipe de manutenção da empresa siderúrgica com o fornecedor. Este projeto foi baseado em uma especificação técnica elaborada pela equipe de manutenção, que descrevia os principais problemas e modos de falha do projeto original, bem como as sugestões de soluções. De posse da referida especificação, foram definidas e executadas as principais modificações, que foram:

a) Novo conceito de condução de graxa: com este novo conceito, foram eliminados os tubos utilizados no projeto original e que falhavam com frequência. O caminho da graxa passou a ser furos executados na estrutura dos cabeçotes dos mandris, conforme Figura 24.

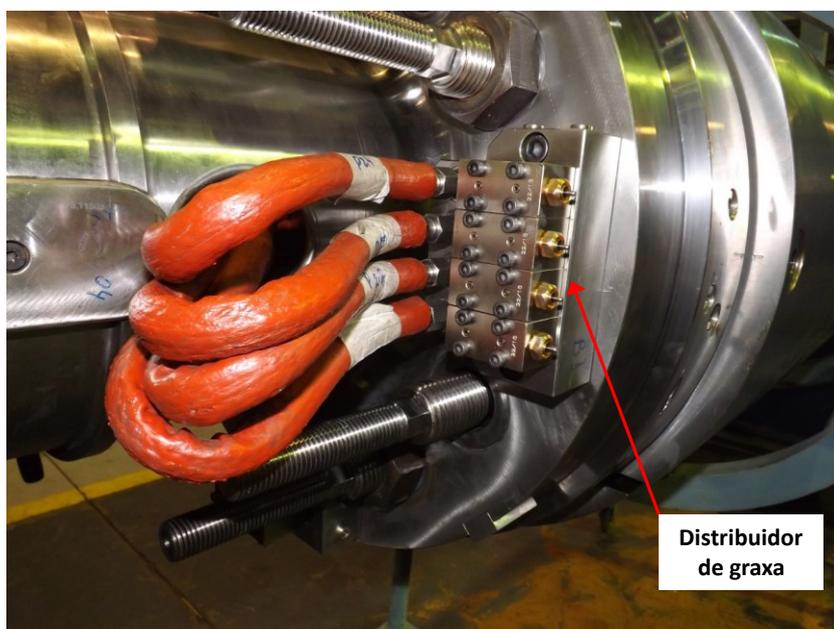
Figura 24- Desenho do novo cabeçote do mandril em corte



Fonte: Arquivo de desenhos da empresa siderúrgica.

b) Utilização de distribuidores de graxa com maior confiabilidade: os novos distribuidores aplicados, de fabricação alemã, eliminaram ocorrências de vazamento ou travamento. Uma imagem do novo cabeçote em fase de montagem, onde pode ser visualizado o novo distribuidor aplicado é mostrada na Figura 25.

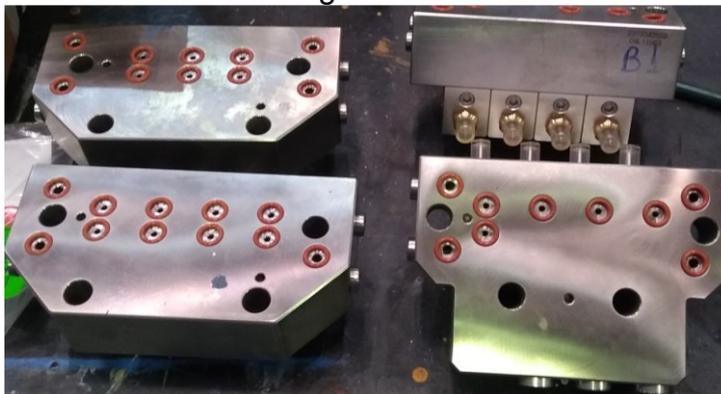
Figura 25- Imagem do novo cabeçote do mandril com novo distribuidor de graxa montado



Fonte: Arquivo de imagens da empresa siderúrgica.

Detalhes do novo distribuidor aplicado podem ser observados na imagem deste em bancada, antes da montagem no novo cabeçote, conforme Figura 26.

Figura 26- Imagem do novo distribuidor de graxa utilizado



Fonte: Arquivo de imagens da empresa siderúrgica.

c) Melhoria do travamento entre cabeçote e corpo do mandril: o sistema de travamento original do projeto, composto por tirantes e porcas também apresentava falhas que proporcionavam paradas dos mandris de longa duração. Na Figura 27 é mostrada a face de encaixe entre cabeçote e corpo do mandril, onde sedes do parafuso tinham as roscas deformadas com frequência (destaque em vermelho), permitindo afrouxamento e ocorrência de falhas.

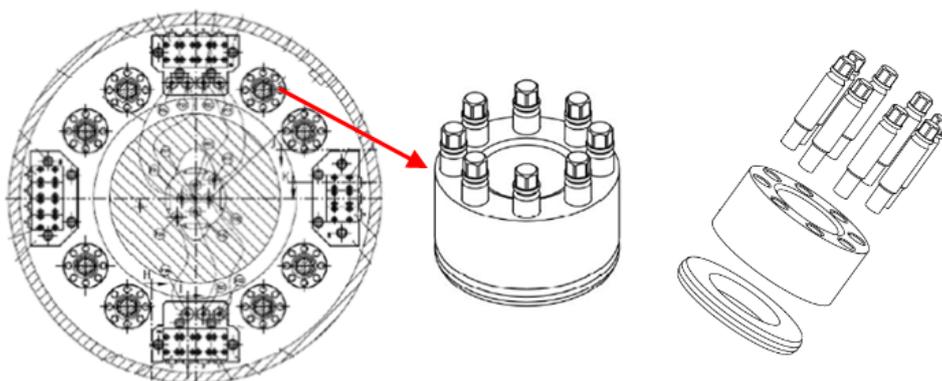
Figura 27- Imagem cabeçote do mandril conforme projeto original



Fonte: Arquivo de imagens da empresa siderúrgica.

Devido à vibração excessiva o sistema não era capaz de manter o tensionamento necessário. Este sistema foi substituído pelo sistema de porcas tensionadoras que eliminou o problema de afrouxamento. O novo sistema mostrado é mostrado na Figura 28.

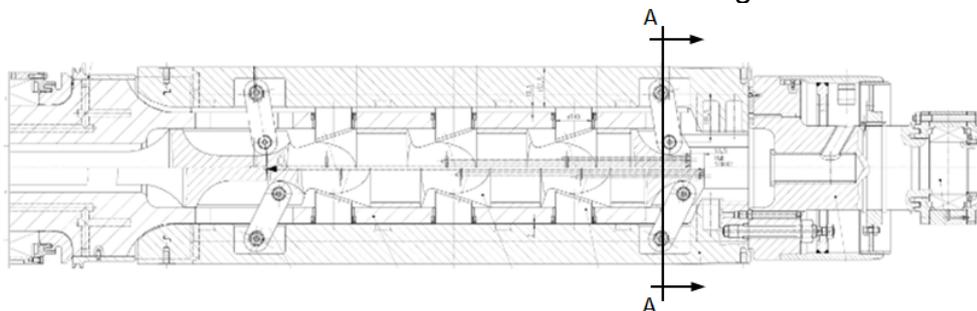
Figura 28- Desenho do novo cabeçote do mandril em corte. Destaque para as porcas tensionadoras



Fonte: Arquivo de desenhos da empresa siderúrgica.

d) Criação de novos pontos de lubrificação nos pinos e elos: com a criação dos novos pontos, passou a existir a relubrificação dos principais componentes responsáveis pelo movimento de colapso e expansão de mandris. O projeto original não permitia nenhum tipo de relubrificação. A Figura 29 mostra um desenho da extremidade do mandril em corte longitudinal.

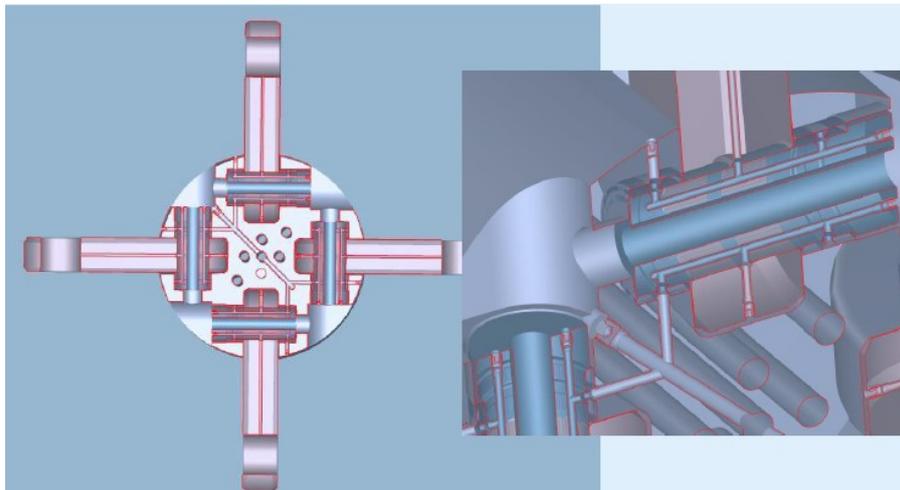
Figura 29- Desenho da extremidade do mandril em corte longitudinal



Fonte: Arquivo de desenhos da empresa siderúrgica.

Na Figura 30 é mostrada a vista do corte longitudinal “A-A” indicado na Figura 29. Através desta vista é possível visualizar os novos caminhos criados para a relubrificação de pinos e elos dos mandris.

Figura 30- Vista da extremidade do mandril em corte transversal



Fonte: Arquivo de desenhos da empresa siderúrgica.

A implantação de todos os desenvolvimentos aplicados aos mandris proporcionou o aumento de sua confiabilidade e de vida útil. No cenário com o projeto original eram reparados 4 mandris/ ano, em função das campanhas com menor desempenho e maior número de falhas imprevistas. No cenário atual, após implantação dos desenvolvimentos, são reparados 2 mandris/ ano. Esta melhoria de desempenho dos mandris representa uma grande redução de custo, considerando todos os ganhos de redução de consumo de sobressalentes, mão de obra de reparo em oficina e mão de obra para montagem e desmontagem dos mandris na área.

O estudo serve para empresa como base de comparação quantitativa da melhoria do desempenho dos mandris, bem como parâmetro para decisão da continuidade dos investimentos nos desenvolvimentos realizados, considerando que alguns deles foram implantados em apenas um conjunto em caráter de testes. Além disso, a dedicação do efetivo no desenvolvimento dos equipamentos é uma realidade da empresa. Com a disseminação da cultura de estudos de confiabilidade, os resultados obtidos em simulações poderão ser confirmados na prática, com a participação e entendimento de todos os colaboradores das equipes.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como possíveis trabalhos futuros no sistema estudado, podem ser citados:

- A realização da continuidade da análise quantitativa realizada neste trabalho, visando considerar um maior número de campanhas de conjuntos com cabeçotes modificados;
- Realizar estudo específico para aumento de confiabilidade de cilindros rotativos de mandris, considerando que após os cabeçotes, constituem-se dos componentes com maior impacto nas falhas de mandris.

REFERÊNCIAS

- BEM-DAYA, M.; You may need RCM to enhance TPM implementation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.6, n.2, p.82-85, 2000.
- BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2007.
- CATÁLOGO INTERPLEX CUP. Disponível em:
<www.interlub.com>. Acesso em: 29 out. 2018.
- CORREA, Sonia Maria Barros Barbosa. **Probabilidade e Estatística**, 2ª. ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 116p., 2003.
- <<http://www.cosina.com.br/processo.php>> Acesso em 13/12/18).
- DIAS, Acire., **Projeto mecânico de motores elétricos**. Florianópolis, UFSC, 2004.
- DUARTE, L. R. **A utilização do Software Geogebra no ensino da distribuição normal**: Uma aproximação entre a Geometria Dinâmica e a Educação Estatística. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- EBELING, C. E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.. Estados Unidos da América. McGraw-Hill Book Co. 1a Edição 2000. 486p.
- FOGLIATTO, F.S.; Ribeiro, J.L.D.; (2009), "Confiabilidade e manutenção industrial," Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- FREITAS, Marta A.; COLOSIMO, Enrico Antônio. **Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1997. 326 p. (Série Ferramentas da Qualidade, v. 12).
- GENADIS, T. C. A cost optimization model for determining optimal burn-in times at the module/system level of na electronic product. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v.13, n.9, p.61-74, 1996.
- GONÇALVES,P. H. **Uma abordagem da distribuição normal através da resolução de uma situação problema com a utilização do software Geogebra**. 2014. 102 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade federal de Goiás, Regional de Itajai, 2014.
- HUI, Y.V; LU, W.L. Cost optimization of accelerated burn-in. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v.13, n.7, p.69-78, 1996.

Lafraia, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LIFE DATA ANALYSIS. Disponível em:

<<http://www.weibull.com/basics/lifedata.htm>>. Acesso em: 10 out. 2018.

MARCORIN, Adilson José. Aplicação dos Métodos de Kaplan-Meier e Bootstrap na Análise de Confiabilidade de Produtos Baseada em Dados de Campo. Dissertação de Mestrado, 94p.. Universidade Metodista de Piracicaba, 2002.

MAZZEI, Denis. **LCCA Análise do custo do ciclo de vida**. [S.l.]: ReliaSoft, 2014. 224 p. (Apostila de treinamento).

MAZZEI, Denis. **LDA Análise de dados de vida**. [S.l.]: ReliaSoft, 2018. 458 p. (Apostila de treinamento).

<http://www.ngi.com.br>. Acesso em 18/12/18

O'CONNOR, P. D. T. **Practical Reliability Engineering**, 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1988.

PIAZZA, G., **Introdução a Engenharia de Confiabilidade**. Caxias do Sul: EDUCS, 2000.

PINTELON, L.; NAGARUR, N.; VAN PUYVELDE, F. Case study: RCM - yes, no or maybe?. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.05, n.3, p.182-191, 1999.

Reliasoft, **Análise dos dados de vida**. Disponível em: < <http://www.reliawiki.org>>; Acesso em: Out. 2018

RYAN, Thomas. **Estatística moderna para engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SU, C. T.; WU, C. L. Determination of optimal burn-in condition - a case study in switch mode rectifier. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v.16, n.8, p.772-782, 1999.