

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

WESLEY ARYON ROGÉRIO

**ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA APLICADA A PONTES DE
CARREGAMENTO DE CARGA LIQUIDA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

WESLEY ARYON ROGÉRIO

**ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA APLICADA A PONTES DE
CARREGAMENTO DE CARGA LIQUIDA**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

Co-orientador: Prof. Dr. Denis Mazei

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA APLICADA A PONTES DE CARREGAMENTO DE CARGA LIQUIDA

por

WESLEY ARYON ROGÉRIO

Esta monografia foi apresentada em 10 de novembro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno Wesley Aryon Rogério foi arguido (a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Orientador - UTFPR

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

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

Dedico este trabalho à minha família pelos momentos de ausência e ao meu pai Sr. Humberto Rogério (*in memoriam*), que este ano nos deixou com imenso exemplo de retidão, caráter e de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. Marcelo Rodrigues e ao Prof. Dr. Denis Mazzei, nos dedicaram importantes momentos na elaboração deste trabalho.

A todos os professores, que durante o curso que compartilharam importantes experiências profissionais e pessoais que enriqueceu ainda mais o curso.

Aos gestores da ArcelorMittal Tubarão que reconheceram na Confiabilidade uma excelente ferramenta para nos colocar na gestão eficiente e eficaz da gestão de ativos.

Aos meus colegas da ArcelorMittal que nos suportaram nas discussões e implementação de trabalhos, que nos ajudaram a implantar os conceitos quantitativos da confiabilidade, nos elevando a um nível diferenciado e dando resultados que nos suportaram nas demandas de elevação da produção para os cenários de 2017 e futuro.

Defenda a criação do conhecimento, a gestão do conhecimento e sua utilização dentro de sua organização. (OBERHETTINGER, David, 2016)

RESUMO

ROGÉRIO, Wesley Aryon. **Análise de Dados de Vida aplicadas a pontes Rolantes de Carregamento de Carga Líquida.** 2017. 43 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Em um momento desafiador de aumento de capacidade de produção na planta, iniciamos modificações estruturadas dedicadas à gestão do ativo Ponte Rolante na área da produção de aço líquido, e o ativo ponte rolante, que é responsável por transportar mais de 7 Milhões de toneladas de aço líquido/ano e que estavam com desempenho e indicadores de manutenção abaixo do que se espera para este tipo de equipamento.

Com os resultados gerados e as metodologias implantadas, apresentados neste trabalho, acima de tudo, estão nos gerando força e motivação para um profundo e estável trabalho de melhoria contínua em busca das melhores referências em manutenção de equipamentos de içamento de carga e confiabilidade quantitativa.

Elaborar uma pesquisa dos dados de falha, com base no histórico do equipamento e das intervenções não planejadas e de dados de falha. Tratá-los utilizando as técnicas de LDA e modelá-los aplicando técnicas de Análise de dados de Vida. Os dados serão pesquisados no sistema de CMMS atual de controle dos equipamentos. A pesquisa de algumas informações serão extraídas de forma manual e filtradas no sistema de boletim da produção e SISMANA (CMMS), objetivando realizar uma análise e direcionamento das ações e recursos com base nos números e gráficos atuais dos equipamentos de indicadores atuais dos equipamentos, visando o aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

Palavras-chave: Confiabilidade, Análise de Dados de Vida, Pontes Rolantes, MTBF, RGA

ABSTRACT

ROGÉRIO, Wesley Aryon. **Life Data Analysis of Overhead Cranes equipments.** 2017. 43 páginas. Monograph (Specialization Course in Reliability Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

At a challenging time to increase production capacity in the plant, we initiated structured modifications dedicated to the management of the active Rolling Bridge in the area of liquid steel production, and the active crane, which is responsible for transporting more than 7 Million tons of steel liquid / year and that were performing and performance indicators below what is expected for this type of equipment. With the results generated and the methodologies implanted, presented in this work, above all, are generating us strength and motivation for a deep and stable work of continuous improvement in search of the best references in maintenance of equipment of load lifting and quantitative reliability.

Conduct a survey of the failure data, based on equipment history and unplanned interventions and failure data. Treat them using LDA techniques and model them by applying Life Data Analysis techniques. The data will be searched in the current CMMS system of equipment control. The research of some information will be extracted manually and filtered in the system of production bulletin and SISMANA (CMMS), aiming to carry out an analysis and direction of the actions and resources based on the current numbers and graphs of the equipments of current indicators of the equipment, aiming increasing availability and reliability of equipment.

Palavras-chave: Reliability. Life Data Analises. CMMS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de produção x Área de atuação.....	18
Figura 2: Leiaut das principais pontes rolantes da Aciaria e Lingotamentos	19
Figura 3 Variável de estado $X(t)$ e seus estados TAF.	22
Figura 4 Relação probabilidade de falha ($F(x)$) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x	24
Figura 5 Relação probabilidade de falha ($F(x)$) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x	25
Figura 6 Representação de taxa de falha com distribuição exponencial.....	26
Figura 7 Representação de PDF com distribuição weibull	27
Figura 8 Considerações sobre a Taxa de Falhas.....	28
Figura 9 Sistema do Boletim da Produção – Módulo Parada.....	29
Figura 10 Sistema de coleta de dados da manutenção	30
Figura 11 Layout do sistema de acionamento da 41PR02 Planetário.....	31
Figura 12 Detalhe do acionamento do sistema de acionamento da 41PR02 Planetário	32
Figura 13 Probabilidade de Weibull Cabos da Elevação Principal	33
Figura 14 Probabilidade de Weibull Cabos da Elevação Principal	34
Figura 15 $R(t)$ Cabos de Aço Elevação Principal	34
Figura 16 Probabilidade de falha no tempo Cabos de Aço Elevação Principal	35
Figura 17 Probabilidade de Weibull.....	37
Figura 18 Confiabilidade $R(t)$ Planetário.....	37
Figura 19 Probabilidade de Falha no Tempo	38
Figura 20 Gráfico da PDF do redutor planetário.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Planilha dos dados de vida da Elevação Principal da 41PR02.....	30
Tabela 2 Dados de vida com suspensões a direita (F/S)	32
Tabela 3 Resultados da simulação do Weibull	40

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CMMS	Computerized Maintenance Management System
AMSAA	Army Materiel Systems Analysis Activity
AMT	ArcelorMittal Tubarão
DOE	Delineamento de Experimentos
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Análise dos Modos de Falha e Efeitos)
FTA	Fault Tree Analysis (Análise de Árvore de Falhas)
LDA	Life Data Analysis (Análise de Dados de Vida)
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MLE	Análise de Regressão e Máxima Verossimilhança (MLE).
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas
PNHP	Processo Não Homogêneo de Poisson
RCM	Reliability Centered Maintenance (Manutenção Centrada em Confiabilidade)
RDB	Reliability Block Diagram (Diagrama de Blocos de Confiabilidade)
RG	Reliability Growth (Crescimento da Confiabilidade)
RGA	Reliability Growth and Repairable Systems (Crescimento da Confiabilidade e Sistemas Reparáveis.)
SRA	System Reliability Analysis (Análise de Confiabilidade de Sistemas)

LISTA DE SÍMBOLOS

t - Variável Aleatória de Tempo.

λ - Parâmetro da Distribuição, ou Taxa de Falha.

β -Parâmetro de Forma da Curva de Distribuição de Falhas.

η - Vida Característica ou Parâmetro de Escala

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
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
2	MANUTENÇÃO NOS ATIVOS DE CARREGAMENTO DE GUSA DA ACIARIA ARCELORMITTAL TUBARÃO	17
2.1.1	A EMPRESA E A CONTEXTUALIZAÇÃO PONTE ROLANTE.....	17
2.1.2	OS ATIVOS DE CARREGAMENTO DE GUSA.....	18
2.2	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	19
3	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	20
3.1	INTRODUÇÃO.....	20
3.2	ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	20
3.3	ANALISE DE DADOS DE VIDA (<i>LDA – LIFE DATA ANALYSIS</i>).....	21
3.3.1	Tempo até a falha (TAF).....	21
3.3.2	Descrevendo confiabilidade.....	23
3.3.3	Taxa instantânea da falha e distribuição de tempos até a falha.	24
3.3.4	Análise de Confiabilidade de Sistemas.....	28
4	DESENVOLVIMENTO	28
4.1	CATALOGAÇÃO DOS DADOS POR SISTEMA DE CARREGAMENTO E COMPONENTE	30
4.1.1	Sistema de Carregamento - Equipamento: 41PR02 – Carregamento em 480 toneladas	30
4.2	SIMULAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	33
4.2.1	Resultados numéricos dos cabos da elevação principal:	35
4.2.2	Análise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02.....	36
4.2.3	Resultados numéricos do redutor Planetário:	39
4.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	40
5	CONCLUSÃO	40
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Frente a um plano de produção arrojado, a necessidade de melhorar os indicadores de manutenção de equipamentos. A Confiabilidade Quantitativa é uma ferramenta aplicável em quase todos os assuntos relacionados a desempenhos, comportamentos e indicadores do processo de gestão de ativos em uma indústria siderúrgica, como consequência o fortalecimento dos atendimentos as necessidades de subida de produção da empresa.

A manutenção ao longo do tempo vem se modernizando ainda mais com ferramentas estruturadas desde o aspecto de gestão até modernas técnicas de diagnósticos, que auxiliam a predição e a aplicação eficiente de recursos, que devido a competitividade mundial, está cada vez mais escasso. A análise da Confiabilidade é uma peça chave na gestão dos seus ativos e ela pode influenciar fortemente no seu resultado financeiro e operacional se for realizada de forma competente e com as metodologias adequadas e a análise de dados de vida, pode ser um forte aliado nas tomadas de decisões estratégicas.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Em função do impacto do ativo ponte rolante no processo, e seu impacto devidamente mapeado pelos indicadores de falhas, este trabalho será focado em analisar os dados de vida em componentes das pontes rolantes do sistema de carregamento de carga da Aciaria da ArcelorMittal Tubarão, localizada no município de Serra-ES.

A análise de confiabilidade quantitativa dos dados de vida de alguns componentes deste ativo servirá de base para estudos futuros e tomadas de decisões imediatas, relacionadas a alguns itens funcionais e rotinas, que atualmente são definidas de forma quantitativa. As decisões relacionadas a frequências de inspeção, manutenção e manutenções preventivas são tomadas baseadas no sentimento e na experiência das pessoas, de forma qualitativa, podem ser criticadas e rediscutidas com base nos números e no conhecimento das curvas do comportamento de alguns itens na função do ativo.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é mostrar de forma prática, uma abordagem sobre dados existentes e o comportamento do ativo evidenciado pelo modelamento estatístico de confiabilidade de forma que possa direcionar aos gestores a tomar decisões estratégicas relacionadas a atendimento ao “core” do processo produtivo.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho será de encontrar e determinar o levantamento de alguns indicadores, itens funcionais, do carregamento de gusa líquido, determinando os parâmetros de vida dos ativos e seus respectivos componentes.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para auxiliar nas respostas do objetivo principal, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Determinação dos indicadores de pontes;
- Encontrar a confiabilidade do sistema de carregamento;
- Associar o crescimento da confiabilidade a ações de processo de gerenciamento da manutenção.
- Mostrar exemplos práticos e factíveis aplicados a rotina de manutenção dos ativos da AMT.

1.3 JUSTIFICATIVA

Incorporar na gestão da rotina das manutenções os conceitos quantitativos da confiabilidade, de forma que a gestão possa tomar decisões sobre os ativos de forma mais estruturada. O entendimento quantitativo tem prospecção de gerar ganhos financeiros como, por exemplo, na aquisição de sobressalentes,

periodicidades de paradas programadas e maximizar a utilização da planta do ponto de vista produtivo.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os dados obtidos no sistema de gerenciamento da manutenção, coletados diretamente no boletim da produção e no sistema de gerenciamento da manutenção para realização da pesquisa. Para as análises realizadas, foram feitos levantamento dos dados de tempo até falha (*TAF*) e suspensão existentes no histórico da planta.

As informações serão simuladas no software Weibull++ da ReliaSoft para a obtenção dos gráficos e resultados dos indicadores e futuramente realimentá-los nos planos de manutenção e serviços do ativo, os quais já passaram recentemente pelo processo de revisão de planos com a ferramenta do RCM (Plano diretor de Gestão de Ativos AMT).

2 MANUTENÇÃO NOS ATIVOS DE CARREGAMENTO DE GUSA DA ACIARIA ARCELORMITTAL TUBARÃO

Neste capítulo serão apresentadas além de uma visão geral de uma planta siderúrgica, com foco na transformação do gusa em aço e o processo de transporte desta carga líquida, que é caracterizado como processo muito crítico.

2.1.1 A EMPRESA E A CONTEXTUALIZAÇÃO PONTE ROLANTE

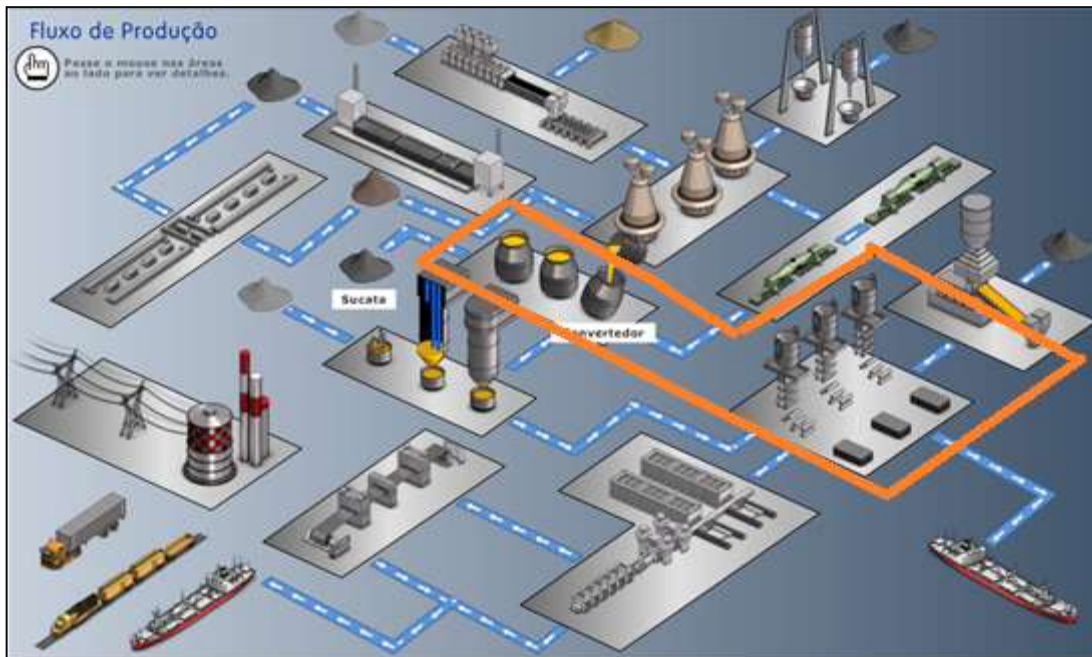
A ArcelorMittal Tubarão é uma usina integrada de produção de aço. Seu processo produtivo engloba:

- Recebimento, preparação e estocagem das matérias-primas;
- Fabricação de sinter, coque e gusa;
- Produção de aço líquido;
- Transformação do aço líquido em placas e destas em bobinas a quente;
- Embarque dos produtos acabados em sistema multimodal;

A unidade realiza também:

- Geração e distribuição de energia e gases do ar;
- Tratamento e distribuição de água;
- Beneficiamento de resíduos industriais transformados em coprodutos;
- Serviços de manutenção industrial, incluindo fabricação de peças;
- Desenvolvimento de novos produtos e Projetos de investimento de melhorias e ampliações.

Figura 1: Fluxo de produção x Área de atuação



Fonte: Material interno ArcelorMittal

A figura 1 mostra o fluxo de produção do aço da Usina com destaque nas áreas de Aciaria e Lingotamento Contínuo, responsáveis pela produção do aço e placas respectivamente.

2.1.2 OS ATIVOS DE CARREGAMENTO DE GUSA

Ao todo a área conta com 67 equipamentos de elevação de carga de grande / médio porte e 95 talhas, sendo que muitos destes impactam diretamente no processo produtivo quando da ocorrência de falhas ou indisponibilidade. Dentre os principais equipamentos estão as 5 pontes rolantes de carregamento / transporte de carga líquida com capacidade de 480t + 80t, além de ponte de carregamento de sucata (150t + 70t) e a ponte de transporte de panela vazia (160t + 50t). A figura 2 mostra o Layout dos principais equipamentos distribuídos na Aciaria / Lingotamentos.

Figura 2: Leiaute das principais pontes rolantes da Aciaria e Lingotamentos



Fonte: Material interno ArcelorMittal

2.2 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentadas as características e modo de operação das pontes rolantes no carregamento de convertedores para transformação do gusa em aço. As “pontes panelas” transportam 480 toneladas em ciclos de 70 vezes ao dia.

3 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

3.1 INTRODUÇÃO

Análise de dados de vida refere-se ao estudo e modelagem de vidas de produtos observados ou sistemas. Os resultados podem mostrar tempo de vida útil, como o tempo em que o produto funcionou com sucesso ou o tempo que o produto funcionou antes que ele falhasse.

Estas vidas podem ser medidas em horas, milhas, ciclos em falhas, ciclos de estresse ou qualquer outra medida com a qual a vida ou exposição de um produto pode ser medida. Ao realizar análise de dados de vida, também comumente referida como análise de Weibull, o praticante tenta fazer previsões sobre a vida de todos os produtos na população ajustando uma distribuição estatística (modelo) a dados de vida de uma amostra representativa de unidades (RELIAWIKI, 2017).

A distribuição parametrizada para o conjunto de dados pode então ser usada para estimar características de vida importantes do produto, como confiabilidade ou probabilidade de falha em um momento específico, a vida média e a taxa de falha.

Ao longo da história, principalmente durante as grandes guerras mundiais, os critérios de desempenho de armamentos eram validados e observados utilizando conceitos confiabilidade, para avaliação de itens funcionais dos equipamentos utilizados nos armamentos.

3.2 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

A engenharia de confiabilidade é o ramo da engenharia voltado para o estudo da confiabilidade de sistemas de forma geral, durante o ciclo de vida e pode ser tratada de forma qualitativa e/ou também de forma quantitativa. Com ela pode-se realizar sobre a vida de todos os produtos na população ajustando a uma distribuição estatística, chamada de modelo a dados de vida de uma amostra representativa de unidades.

A distribuição parametrizada para o conjunto de dados pode então ser usada para estimar características de vida importantes do produto, como confiabilidade ou probabilidade de falha em um momento específico, a vida média e a taxa de falha.

A análise de dados de vida possibilita:

- Dados de vida útil do produto.
- Selecione uma distribuição de vida que corresponda aos dados e modelar a vida útil do produto.
- Estimule os parâmetros que irão ajustar a distribuição aos dados.
- Gerar gráficos e resultados que estimam as características de vida do produto, como a confiabilidade ou a vida média.

3.3 ANALISE DE DADOS DE VIDA (*LDA – LIFE DATA ANALYSIS*)

3.3.1 Tempo até a falha (TAF)

O tempo até a falha consiste no tempo desde o momento em que a unidade é colocada em operação até a sua primeira falha. $t=0$ é o início de operação do sistema. O tempo até a falha é definido com uma variável aleatória T .

Fogliatto, 2009 descreve que o estado da unidade em um tempo t pode ser descrito por uma variável de estado $X(t)$, que é uma variável aleatória definida por dois estados: $X(t)=1$, no caso de a unidade estar operacional no tempo t , e $X(t) = 0$, no caso de a unidade estar não-operacional no tempo t . Segue, na figura 3, a relação entre a variável de estado $X(t)$ e o tempo até a falha T :

Figura 3 Variável de estado $X(t)$ e seus estados TAF.



Fonte: Fogliatto e Ribeiro, 2009.

Variável é usada para atribuição de valores correspondentes aos dados observados. Os dados não são necessariamente numéricos, uma vez que podem dizer respeito a atributos qualitativos na população. As variáveis são definidas conforme categorias:

- Variável aleatória: assume valores fora do controle do observador;
 - Variável aleatória Discreta: conjunto de variáveis quantitativas do grupo dos números inteiros naturais;
 - Variável aleatória Contínua: conjunto de variáveis quantitativas do conjunto não enumerável. Refere-se a dados de mensuração. Exemplo: diâmetro de peças e peso de recém-nascido;

Tempo até a falha nem sempre é medido de forma contínua, podendo ser valores discretos, como número de ciclos até a falha.

A função $F(t)$ a probabilidade acumulada de falha (1) da unidade em uma missão de duração menor ou igual a t . A densidade da probabilidade é definida da seguinte forma (2) :

$$F(t) = P(T \leq t) \int_0^t f(u)du, t > 0 \quad (1)$$

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2)$$

3.3.2 Descrevendo confiabilidade

A confiabilidade da unidade é definida como sua probabilidade acumulada de sucesso (FOGLIATTO, 2009). Assim em tempo t, a função de confiabilidade R(t) é:

$$N_0 = N_F(x) + N_S(x)$$

Assim:

$$R(x) = N_S(x) / N_0 \quad \text{e} \quad F(x) = N_F(x) / N_0$$

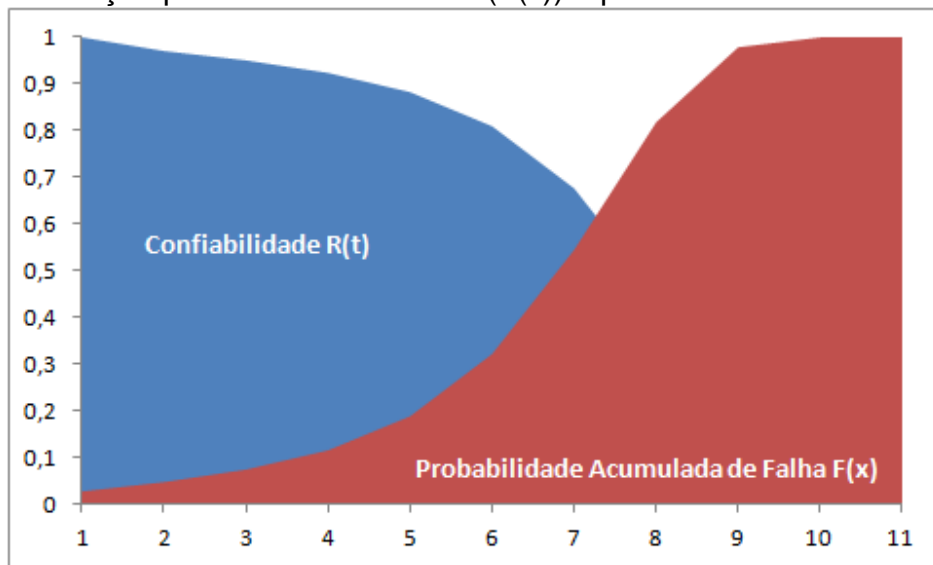
Onde R(x) é a Confiabilidade e F(x) é a Probabilidade Acumulada de Falha ou Não Confiabilidade.

Assim, a função de confiabilidade R(t) informa a probabilidade de a unidade apresentar sucesso na operação (isto é, ausência de falhas) no intervalo de tempo (0, t) e estar operando no tempo t. A função confiabilidade R(t) é também conhecida como função de sobrevivência.

Conclui-se, portanto que:

$$R(x) + F(x) = 1$$

Figura 4 Relação probabilidade de falha (F(x)) e probabilidade de sobrevivência



Fonte: adaptado de Reliasoft apresentação UTFPR, 2017.

3.3.3 Taxa instantânea da falha e distribuição de tempos até a falha (FOGLIATTO, 2009).

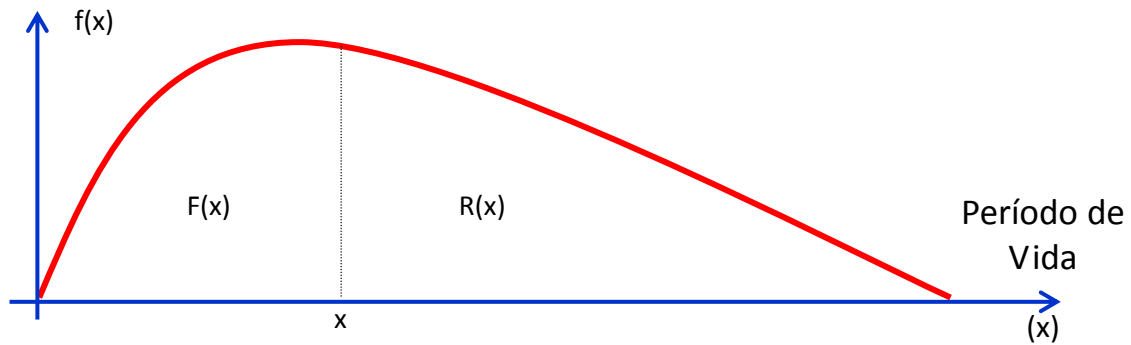
Com a derivação da função de Probabilidade Acumulada de Falha $F(x)$ ao longo do Período de Vida (x) tem-se a Função Densidade de Probabilidade de Falha $f(x)$ ou *Probability Density Function*, (PDF) sendo representado por:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{d(x)} = \frac{1}{N_0} \times \frac{dNF(x)}{dx} = - \frac{dR(x)}{dx} = - \frac{1}{N_0} \times \frac{dN_s(x)}{dx}$$

Integrando-se $f(x)$, ao longo do período de vida (x), tem-se:

$$F(t) = \int_0^x f(x) dx$$

Figura 5 Relação probabilidade de falha (F(x)) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x.



Fonte: adaptado de Reliasoft apresentação UTFPR, 2017.

Considerando que a área da curva $f(x)$ deve ser unitária, a equação da Confiabilidade pode ser reescrita como:

$$R(t) = \int_x^{\infty} f(x) dx$$

A Taxa Instantânea de Falha ou Probabilidade Condicional de Falha é dada por:

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{R(x)}$$

ou,

$$\lambda(x) = \frac{\text{Número de Falhas por Unidade do Período de Vida}}{\text{Número de Itens Expostos à Falha}}$$

De acordo com Fogliatto (2009), tempo até a falha de uma unidade entende-se o tempo transcorrido desde o momento em que a unidade é colocada em

operação até a sua primeira falha. Tais tempos podem ser conhecidos através do histórico de falhas do equipamento ou obtidos de verificações de desempenho do equipamento na área de operação ou em laboratório.

As principais distribuições de probabilidade frequentemente utilizadas para descrever tempos até a falha de componentes e sistemas são: Exponencial, Weibull, Gama e Lognormal.

A distribuição exponencial para os estudos de confiabilidade é única distribuição contínua com função de risco constante e destaca a simplicidade das expressões derivadas. Uma das propriedades da exponencial a ser destacada é para componentes sujeitos a cargas aleatórias ou choques de processo (Fogliatto, 2009).

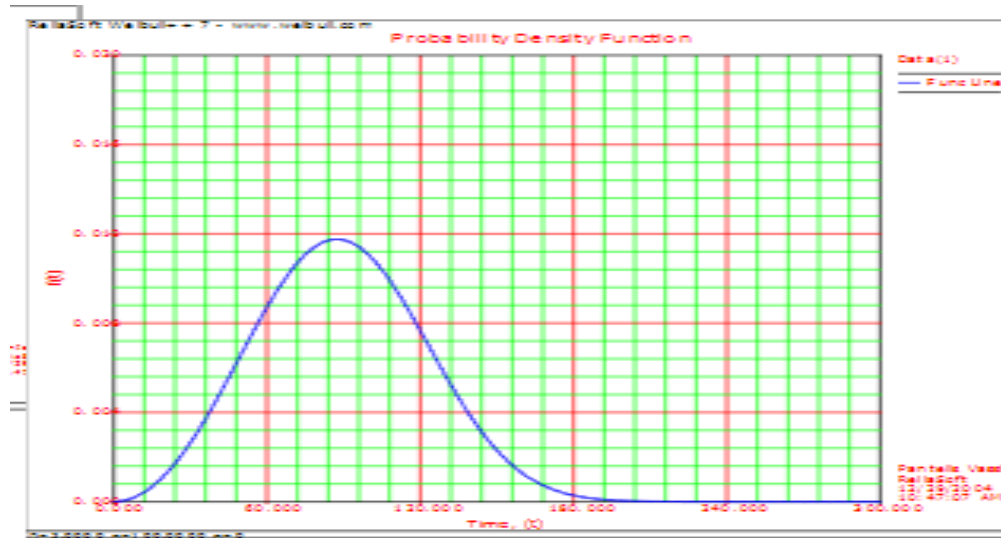
Distribuição de Weibull é uma das mais importantes na modelagem de confiabilidade devido a flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos. Na análise de tempos até a falha a suposição com distribuição de Weibull é um bom referencial de partida da análise. O parâmetro de forma define a função de risco. Quando $\gamma < 1$ o risco é decrescente. Quando $\gamma = 1$, o risco é constante e a Weibull transforma-se na distribuição exponencial. Quando $\gamma > 1$ o risco é crescente. A distribuição Weibull é atualmente a mais utilizada nas análises LDA e Engenharia de Confiabilidade, pois possui 3 parâmetros na sua forma completa e por isso modela uma grande variedade de modos ou comportamentos de falha.

Figura 6 Representação de taxa de falha com distribuição exponencial



Fonte: Reliasoft apresentação UTFPR, 2017.

Figura 7 Representação de PDF com distribuição weibull



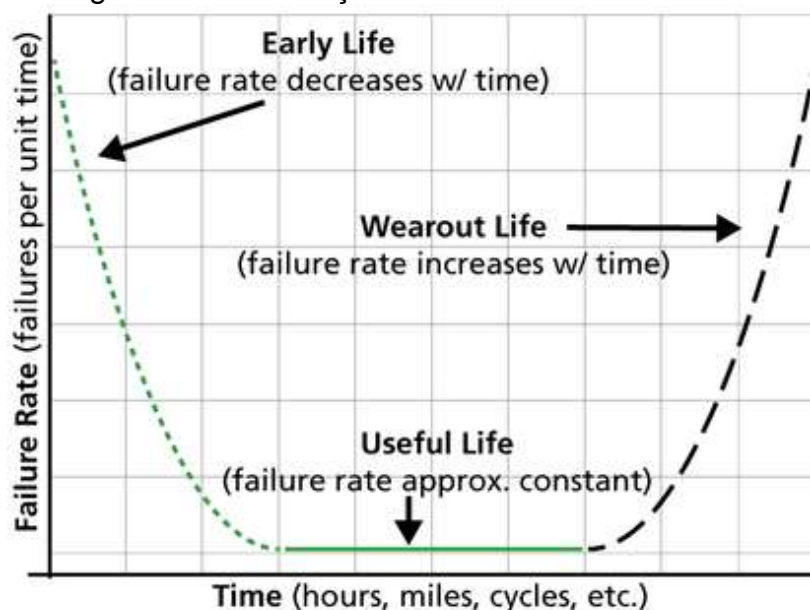
Fonte: Fogliatto e Ribeiro, 2009

A distribuição Gama é generalizada da distribuição exponencial. Seja uma unidade exposta a uma série de choques que ocorrem conforme um processo homogêneo, com intensidade γ .

O tempo até a falha T de uma unidade segue uma distribuição lognormal se $Y = \ln(T)$ for normalmente atribuído (Fogliatto, 2009). Esta distribuição é muito utilizada em modelagem de tempos de reparo de sistemas reparáveis. Observa-se que a função de risco da lognormal tem o formato invertido da curva da banheira, com o risco crescendo inicialmente e, após, decrescendo de forma assintota ao eixo x .

As falhas prematuras (mortalidade infantil) são falhas em equipamentos recém montados ou saindo de manutenção. As falhas por desgaste (fim de vida útil ou fim de vida econômica) são falhas em equipamentos com tempo elevado de uso. As falhas aleatórias ocorrem devido situações não usuais ou por influência externa ao funcionamento do equipamento.

Figura 8 Considerações sobre a Taxa de Falhas



Fonte: http://www.reliawiki.org/index.php/Life_Distributions

3.3.4 Análise de Confiabilidade de Sistemas

Para a Confiabilidade, um sistema não reparável é uma coleção de subsistemas ou componentes arranjados de maneira sequencial lógica, permitindo que o sistema cumpra sua função.

Um sistema reparável é uma coleção de subsistemas, equipamentos e itens ou componentes os quais possam ser reparados ou substituído afim de permitir que este sistema possa restabelecer as funções principais após sua falha funcional.

Um *Reliability Block Diagram* (RDB) é um diagrama de blocos representando um sistema e podem estar configurados em série, paralelo simples, combinado, reserva (*standby*), compartilhado (*load share*) e paralelo alternado (revezamento).

4 DESENVOLVIMENTO

Os dados apresentados neste trabalho foram coletados do sistema de gerenciamento da produção da ArcelorMittal Tubarão, levando em consideração todos os eventos de falha relacionados ao sistema de carregamento de convertedores, que impactaram de forma significativa na produção no período de

janeiro de 2016 até agosto de 2017. Nesta etapa também foram considerados os eventos de falhas, registrados no sistema de controle e gerenciamento da manutenção (CMMS).

A base de dados se refere a todos os eventos de falha, que fizeram com o que o ativo perdesse sua função principal, impedindo que a função Carregamento de Gusa fosse realizada. Não foram consideradas para efeito desta análise as falhas secundária, onde o ativo não perdeu sua função efetiva, como por exemplo, trocas planejadas baseada na condição ou efetivamente algum evento de falha que propagou a perda da função que permitiram de forma concomitante que o ativo não atendesse a produção.

A escolha dos itens abaixo foi ranqueado considerando o impacto e o custo de cada item funcional no ativo e na produção, que servirá como sustentação para análises futuras de tomada de decisão.

Informações dos sistemas integrados de monitoração dos ativos da AMT. Indicando a fonte dos dados de controle da produção e manutenção.

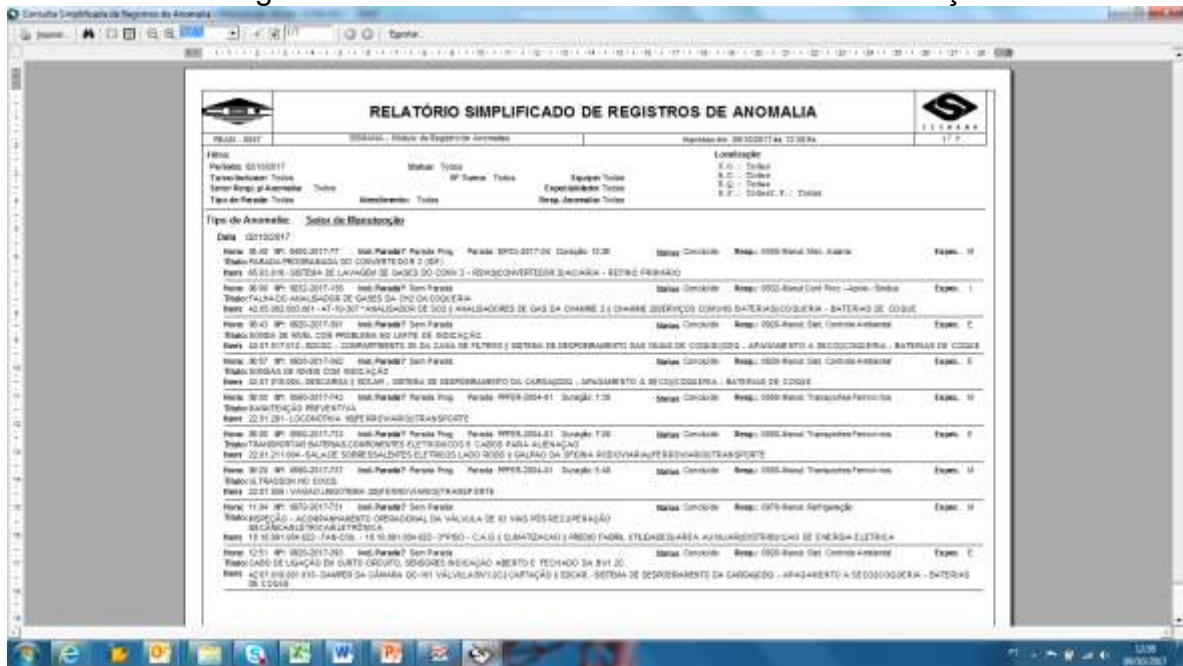
Figura 9 Sistema do Boletim da Produção –

Data e Hora Início	Data e Hora Fim	Módulo	Descrição do Motivo	Relatório	Local	Tempo
12/10/17 00:01	12/10/17 00:14	00	INSTRUMENTOS - LIQ DEFORMAVEIS E OCIOSO		Área - Conversador B1	00:13
12/10/17 00:26	12/10/17 00:24	70	FRATURA ESCÓRVA NO LI		Área - Conversador B1	00:04
12/10/17 00:27	12/10/17 00:21	70	FRATURA ESCÓRVA NO LI		Área - Conversador B1	00:04
12/10/17 00:52	12/10/17 00:50	84	FRATURA LAMPA-CORR CASCO		Área - Conversador B1	00:01
12/10/17 01:06	12/10/17 01:07	81	RESCALDO PERDA REFRATÓRIO DO LI		Área - Conversador B1	00:14
12/10/17 01:52	12/10/17 01:57	84	FRATURA FANAL - BARRAS DENS		Área - Conversador B1	00:05
12/10/17 02:02	12/10/17 02:06	84	FR-CORTE CARGÃO BOCA-LE		Área - Conversador B1	00:04
12/10/17 02:24	12/10/17 02:38	82	INSTRUMENTOS - LIQ DEFORMAVEIS E OCIOSO		Área - Conversador B1	00:02
12/10/17 02:32	12/10/17 02:08	70	FRATURA ESCÓRVA NO LI		Área - Conversador B1	00:04
12/10/17 02:38	12/10/17 02:10	70	FRATURA ESCÓRVA NO LI		Área - Conversador B1	00:17
12/10/17 02:33	12/10/17 02:24	82	FRATURA SOB LI - INFLUÊNCIAS		Área - Conversador B1	00:11
12/10/17 02:38	12/10/17 01:38	83	FRATURA ESCÓRVA LI - QUALIDADE SÓLID		Área - Conversador B1	00:27
12/10/17 02:42	12/10/17 01:42	82	INSTRUMENTOS - LIQ DEFORMAVEIS E OCIOSO		Área - Conversador B1	00:18
12/10/17 04:34	12/10/17 04:36	82	FRATURA PARALAS CAUSADA ERETEAR		Área - Conversador B1	00:02
12/10/17 04:42	12/10/17 04:40	82	FRATURA PARALAS CAUSADA ERETEAR		Área - Conversador B1	00:01
12/10/17 05:02	12/10/17 05:02	82	FRATURA PARALAS CAUSADA ERETEAR		Área - Conversador B1	00:01
12/10/17 05:38	12/10/17 05:21	85	FRATURA - F	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:11
12/10/17 06:10	12/10/17 06:16	86	MAQUINA FORTES VÁZIO	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:04
12/10/17 06:20	12/10/17 06:24	86	FRATURA LAMPA-CORR PORTE DE ESCÓRVA	TRABALHO	Área - Conversador B1	00:02
12/10/17 06:43	12/10/17 06:48	70	FRATURA ESCÓRVA NO LI	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:05
12/10/17 07:38	12/10/17 07:18	81	FRATURA PARALAS CAUSADA OPERACIONAL	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:02
12/10/17 07:53	12/10/17 07:52	82	INSTRUMENTOS - LIQ DEFORMAVEIS E OCIOSO	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:18
12/10/17 07:57	12/10/17 08:08	78	FRATURA PARALAS CAUSADA OPERACIONAL	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:09
12/10/17 08:21	12/10/17 08:34	82	INSTRUMENTOS - LIQ DEFORMAVEIS E OCIOSO	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:11
12/10/17 08:26	12/10/17 08:31	82	INSTRUMENTOS - LIQ DEFORMAVEIS E OCIOSO	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:02
12/10/17 08:38	12/10/17 08:14	81	FRATURA PARALAS CAUSADA OPERACIONAL	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:06
12/10/17 08:57	12/10/17 08:52	82	INSTRUMENTOS - LIQ DEFORMAVEIS E OCIOSO	OPERACIONAL	Área - Conversador B1	00:05

Fonte: Boletim da Produção Módulo Parada

Relatorio simplificado de anomalias

Figura 10 Sistema de coleta de dados da manutenção



Fonte: Boletim da Produção Módulo Parada

4.1 CATALOGAÇÃO DOS DADOS POR SISTEMA DE CARREGAMENTO E COMPONENTE

4.1.1 Sistema de Carregamento - Equipamento: 41PR02 – Carregamento em 480 toneladas

- Dados de vida do item funcional Cabo de Aço da Elevação Principal:

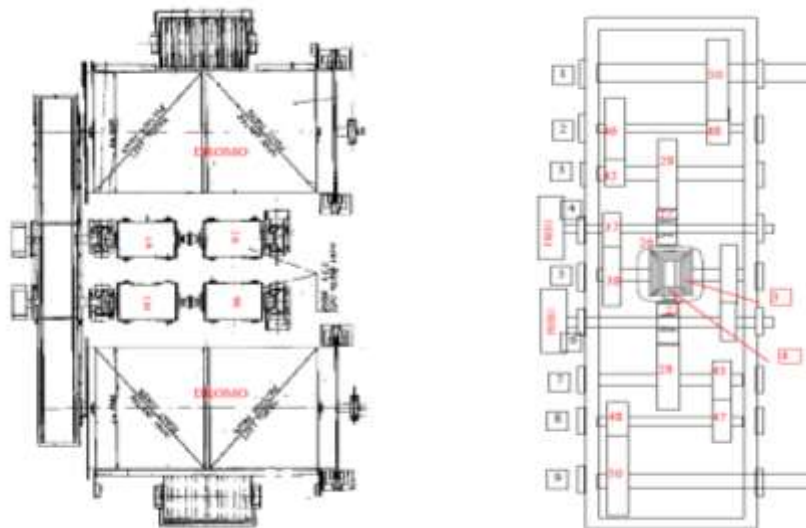
Tabela 1 Planilha dos dados de vida da Elevação Principal da ponte rolante da 41PR02 Carregamento de convertidores

CABO AÇO IÇAMENTO PRINCIPAL 41PR02		
2 x Ø36 mm x 690 m > DIR > cód.10167547		2 x Ø36 mm x 690 m > ESQ > cód.10167547
Penúltima Troca	Troca Atual	TAF (Dias)
11/06/2010	10/03/2011	272
10/03/2011	16/12/2011	281
16/12/2011	26/09/2012	285
26/09/2012	21/05/2013	237
21/05/2013	08/08/2013	79
08/08/2013	05/02/2014	181

05/02/2014	17/11/2014	285
17/11/2014	06/08/2015	262
06/08/2015	15/03/2016	222
15/03/2016	04/10/2016	203
04/10/2016	24/11/2016	51
24/11/2016	08/06/2017	196

- Dados do item funcional Redutor Planetário: Configuração do sistema com capacidade de elevação em 480ton. O sistema é composto por um sistema de acionamento em 4 motores (2 eixos motrizes), conectados em série mecanicamente acionados por conversores CA/CC.

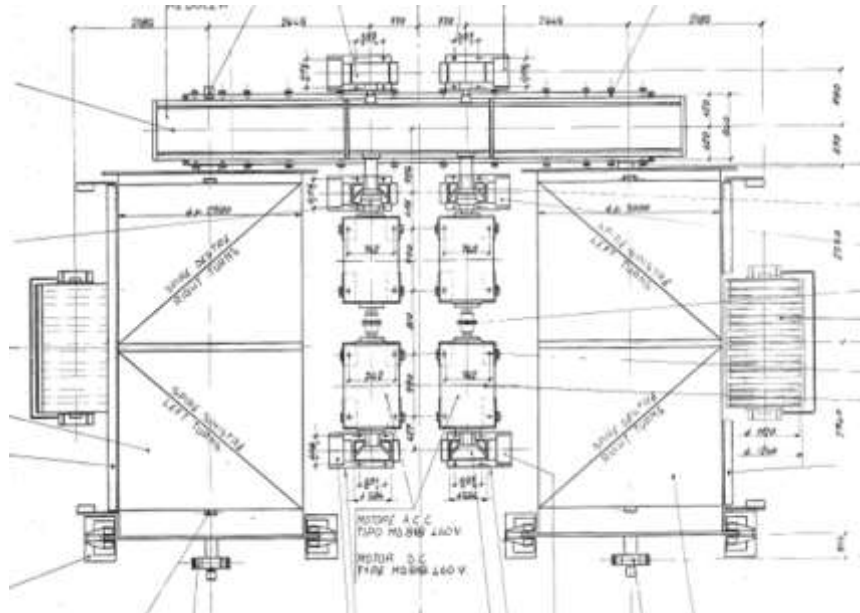
Figura 11 Leiaute do sistema de acionamento da 41PR02 Planetário



Fonte: Material interno ArcelorMittal

Detalhe do acionamento do planetário:

Figura 12 Detalhe do acionamento do sistema de acionamento da 41PR02 Planetário.



Fonte: Material interno ArcelorMittal

- Dados de vida do item funcional Redutor Planetário:

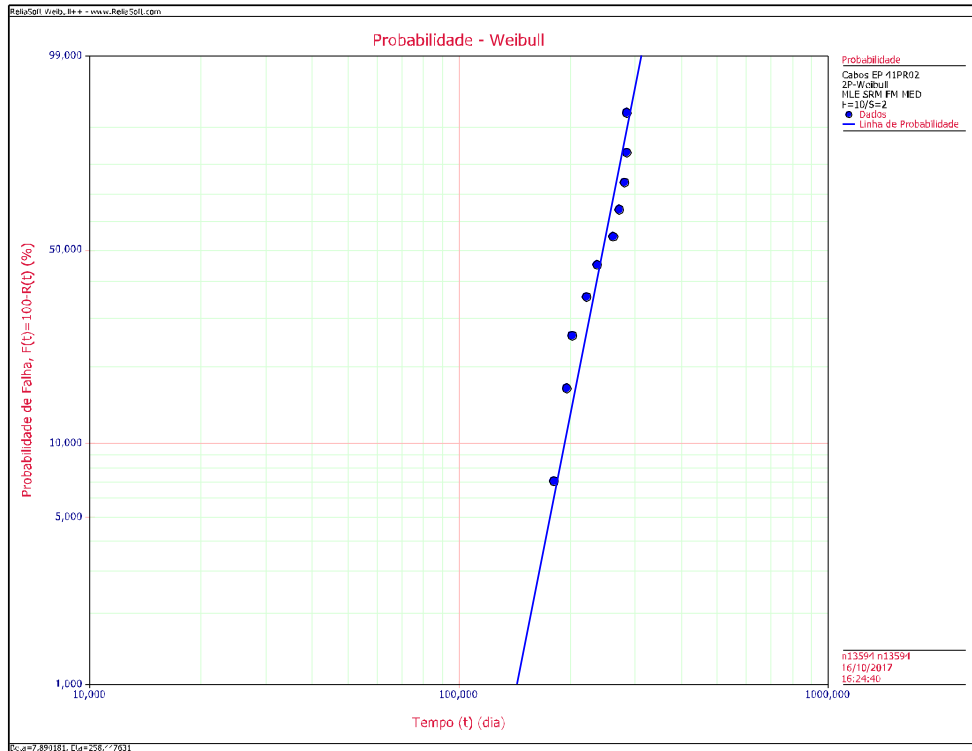
Tabela 2 Dados de vida com suspensões a direita (F/S)

REDUTOR PLANETÁRIO			
cód. 10964755 (Codificação)			
Penúltima Troca	Troca Atual	TAF(Dias)	F/S
	30/06/2005		
30/06/2005	25/04/2008	1030	F
25/04/2008	21/01/2013	1732	F
25/02/2013	12/03/2014	380	F
12/03/2014	16/10/2015	583	F
16/10/2015	16/10/2017	731	S

4.2 SIMULAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

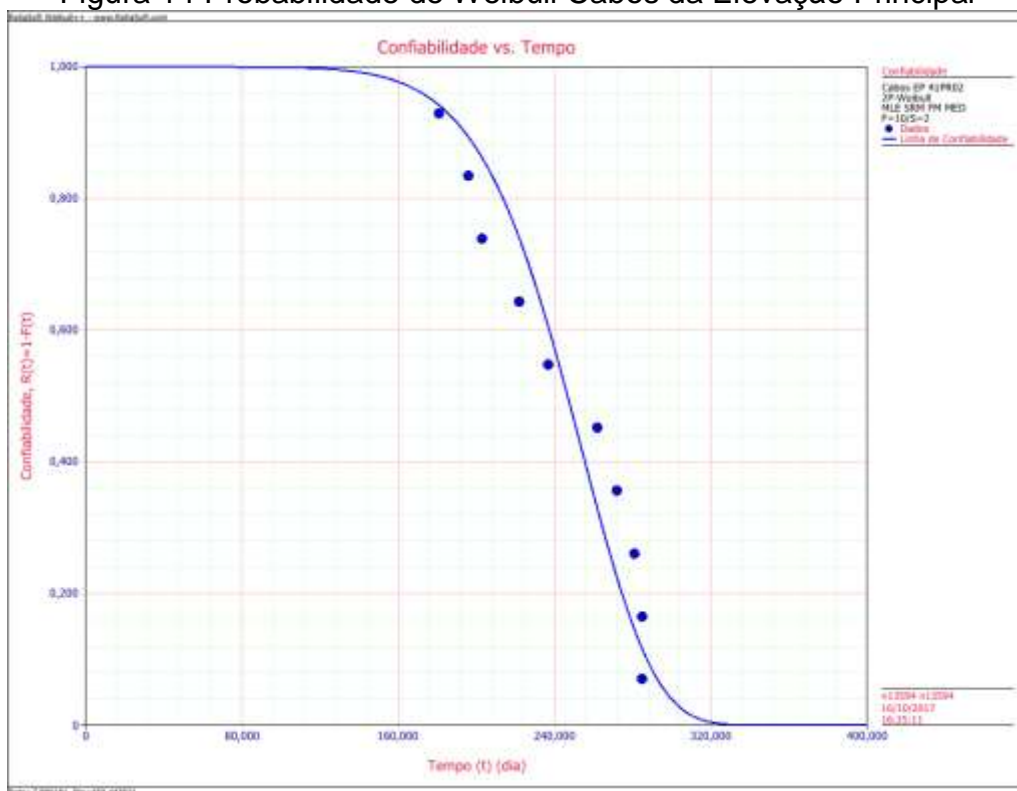
- Resultados gráficos da Simulação do Cabo de Aço da Elevação Principal:

Figura 13 Probabilidade de Weibull Cabos da Elevação Principal



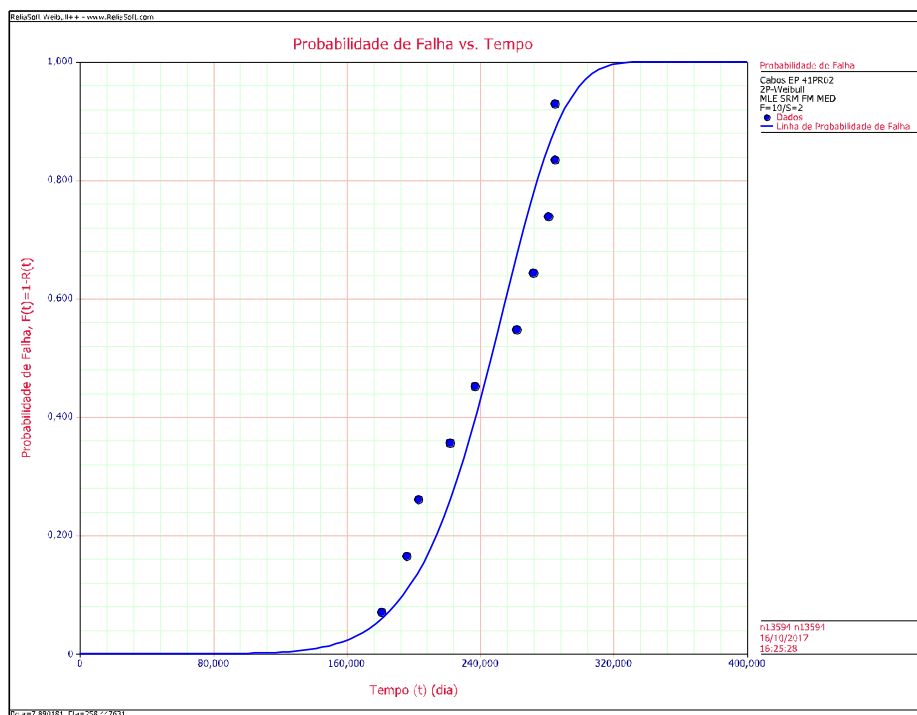
Fonte: Software WEIBULL ++ ReliaSoft (2017).

Figura 14 Probabilidade de Weibull Cabos da Elevação Principal



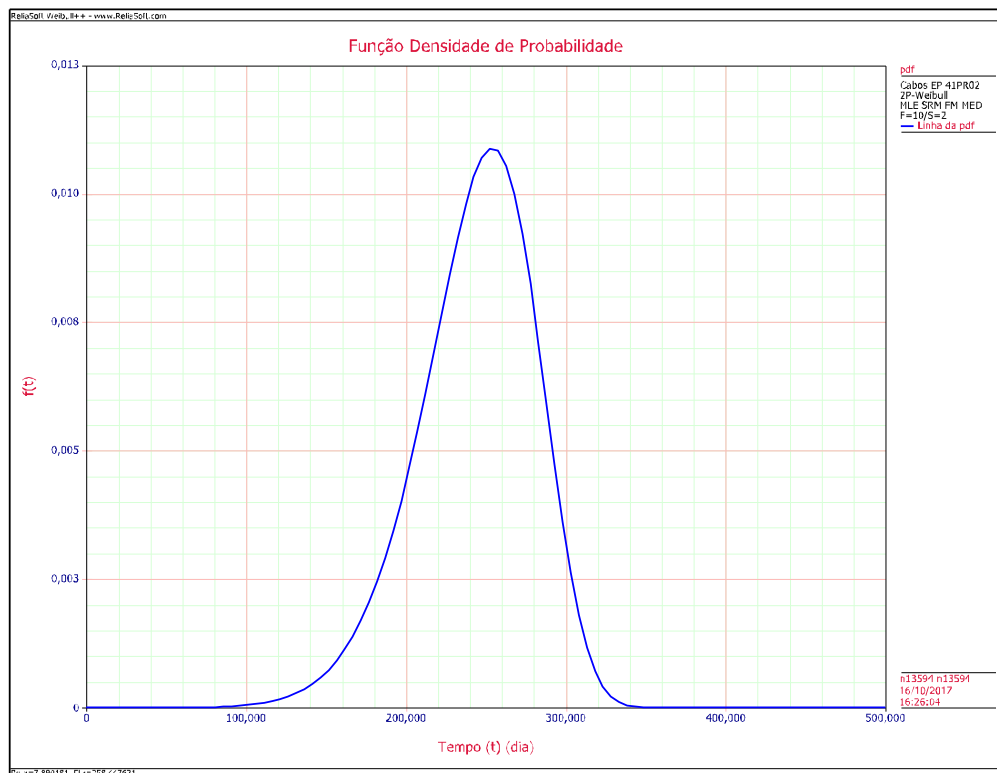
Fonte: Software WEIBULL ReliaSoft (2017).

Figura 15 R(t) Cabos de Aço Elevação Principal



Fonte: Software WEIBULL ReliaSoft (2017).

Figura 16 Probabilidade de falha no tempo Cabos de Aço Elevação Principal



Fonte: Software WEIBULL ReliaSoft (2017).

4.2.1 Resultados numéricos dos cabos da elevação principal:

NOTA: Considerou-se para os resultados do cabo de aço, uma vida estimada em 9 meses

Analise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02

Confiabilidade

$$R(t=270) = 0,243648$$

Analise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02

Prob. de Falha

$$Q(t=270) = 0,756352$$

Analise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02

Confiabilidade Condicional

$$R(t_1=51|t_2=270) = 0,003966$$

Analise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02

Prob. de Falha Condicional

$$Q(t_1=51|t_2=270) = 0,996034$$

Analise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02

Tempo de Garantia

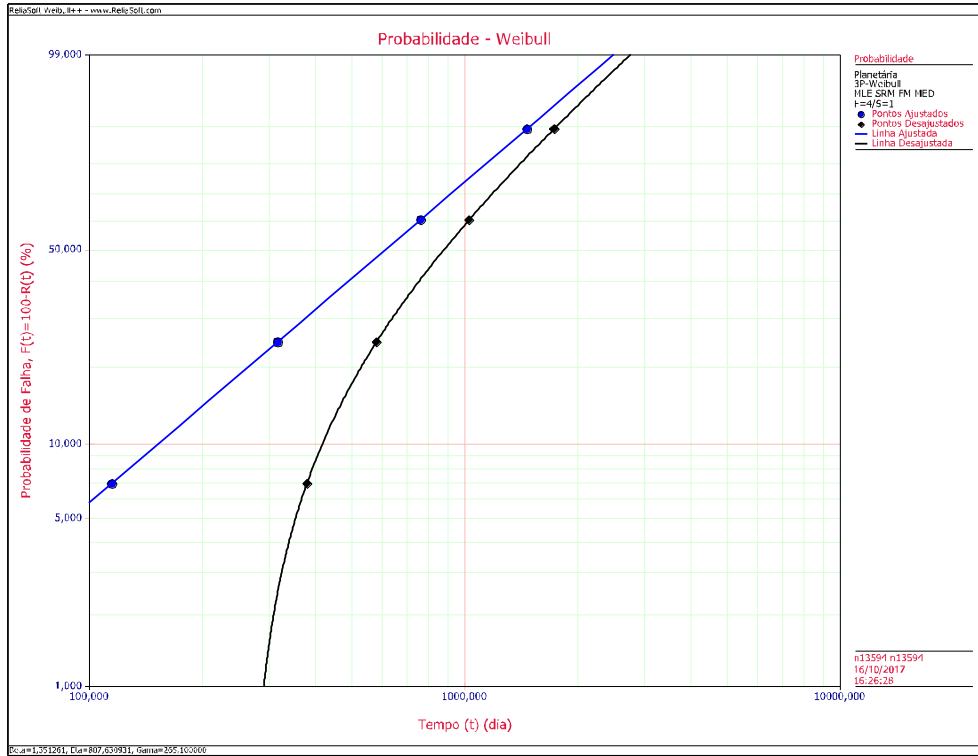
$$t(R=0,85) = 205,287581 \text{ dias}$$

4.2.2 Analise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02

Vida BX%

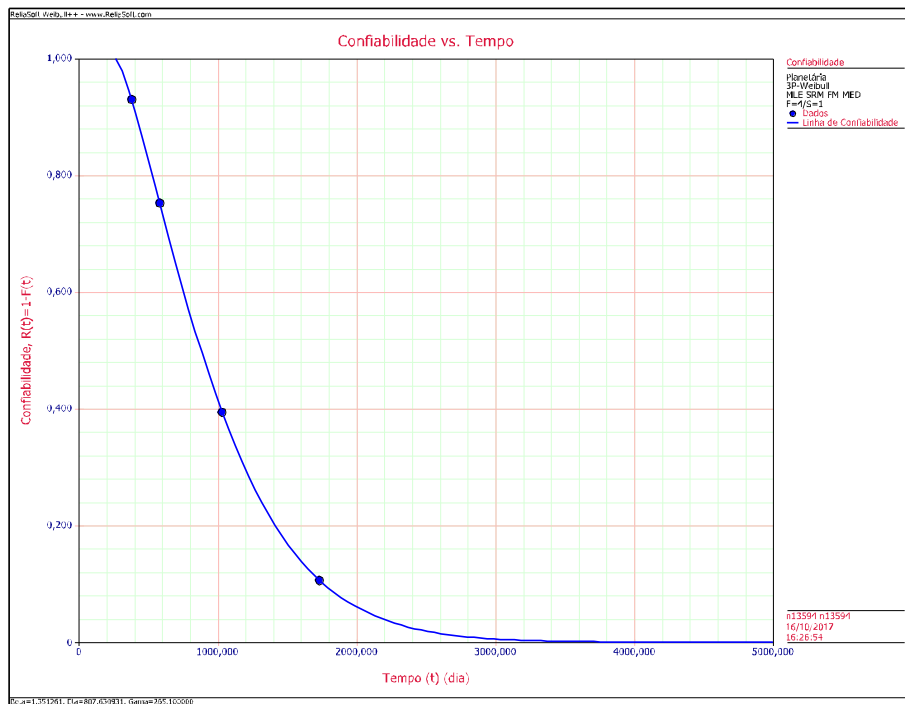
Resultados Gráficos da Simulação do redutor Planetário:

Figura 17 Probabilidade de Weibull



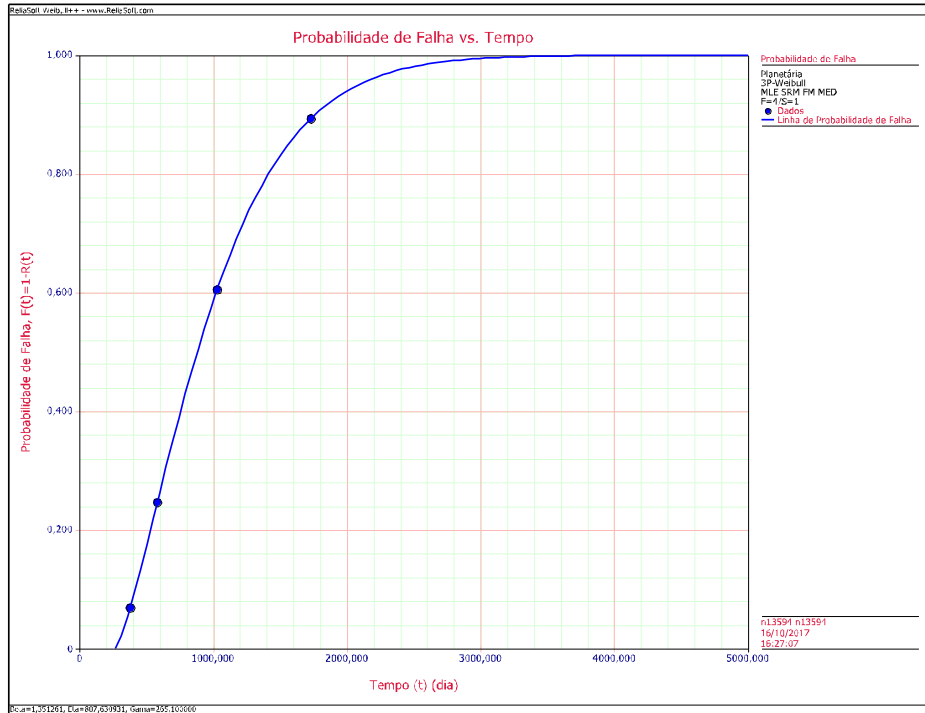
Fonte: Software WEIBULL ++ ReliaSoft (2017).

Figura 18 Confiabilidade R(t) Planetário



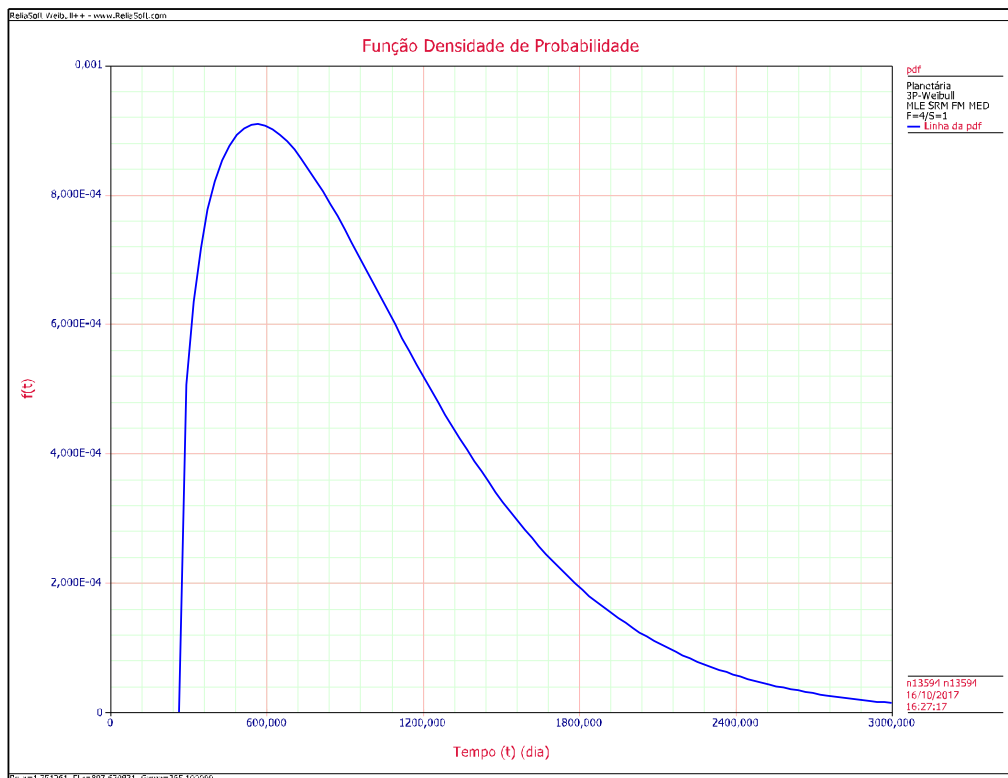
Fonte: Software WEIBULL ReliaSoft (2017).

Figura 19 Probabilidade de Falha no Tempo



Fonte: Software WEIBULL ReliaSoft (2017).

Figura 20 Gráfico da PDF do redutor planetário



Fonte: Software WEIBULL ReliaSoft (2017).

4.2.3 Resultados numéricos do redutor Planetário:

NOTA: Considerou-se para os resultados da planetária, uma vida estimada em 2,5 anos

Planetária da 41PR02\Planetária

Confiabilidade

$$R(t=912) = 0,476675$$

Planetária da 41PR02\Planetária

Prob. de Falha

$$Q(t=912) = 0,523325$$

Planetária da 41PR02\Planetária

Confiabilidade Condicional

$$R(t_1=731|t_2=912) = 0,205410$$

Planetária da 41PR02\Planetária

Prob. de Falha Condicional

$$Q(t_1=731|t_2=912) = 0,794590$$

Planetária da 41PR02\Planetária

Tempo de Garantia

$$t(R=0,85) = 475,595554 \text{ dias}$$

Planetária da 41PR02\Planetária

Vida BX%

$$\text{Vida B10\%} = 417,837736 \text{ dias}$$

Planetária da 41PR02\Planetária

Vida Média

$$\text{MTTF} = 1005,565056 \text{ dias}$$

Planetária da 41PR02\Planetária

Vida Média Restante

MRL = 539,164932 dias

Planetária da 41PR02\Planetária

Taxa Falha

Taxa de Falha = 0,001548/dia

4.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado os resultados das simulações dos dados de tempo até falha no formato e suas devidas suspensões. Aos dados foram simulados os testes de aderência ao sistema para as curvas que melhor se ajustem a massa de dados no sistema do software Weibull++ - ReliaSoft (2017).

Conseguindo obter o modelo de comportamento estatístico de dois itens funcionais de criticidade elevada da ponte 41PR02 que compõem parte do sistema de carregamento.

5 CONCLUSÃO

As principais dificuldades encontradas na elaboração foram, a coleta e a qualidade dos dados para simulação, bem como realizar uma correlação entre os dados obtidos e a dinâmica dos equipamentos em campo.

Resultado do Modelamento dos dados obtido:

Tabela 3 Resultados da simulação do Weibull

Relatório de Resultados Simplificado	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Análise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02	
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 2P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Rankeando	MED
Beta	7,890181
Eta (dia)	258,447631

Valor da LK	-50,188573
F \ S	10 \ 2
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=4,335748	CV Eta Beta=7,079653
CV Eta Beta=7,079653	Var-Eta=118,853000
Analise dados de vida dos Cabos EP da 41PR02\Cabos EP 41PR02	
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 2P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Beta	7,890181
Eta (dia)	258,447631
Valor da LK	-50,188573
F \ S	10 \ 2
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=4,335748	CV Eta Beta=7,079653
CV Eta Beta=7,079653	Var-Eta=118,853000

- Com a aplicação das estratégias de LDA, foi possível utilizar e aplicar conceitos para traduzir o comportamento dos dados em conhecimento aplicável à dinâmica dos equipamentos.

No caso do cabo de aço, como é o nosso caso ($\beta=7,89$) em que o beta é maior do que 1, indicando que o cabo de aço degrada por fadiga após um determinado tempo de vida dos cabos. O tempo médio entre falhas (MTTF) de 258,44 dias. Outro aspecto importante foi conseguir correlacionar a taxa de degradação por fadiga com ritmo de produção. A vida atual desejada para este ativo é de 9 meses, mas os dados indicam que a vida esperada para uma confiabilidade de no mínimo 85%, não ultrapassa os 7 meses. Em função do custo do item funcional e com os dados de vida obtidos, é possível realizar uma previsão orçamentária, bem como criar parâmetros de controle para desenvolver fornecedores futuros que proponham desempenho superior ao instalado.

Nos resultados do redutor planetário, constatou-se que as ações recentes direcionam para uma vida esperada superior a atual, que hoje é considerada com base em vida de 657 dias. Os dados nos indicam uma confiabilidade de 79,45%.

Fazendo a análise de confiabilidade para o exemplo em que $Beta = 1,35$ significa que 63% dos componentes da planetária sobrevivem após um período de 807 dias, ou melhor dizendo, após 27 meses. Outra conclusão importante é realizar a previsão de componentes em estoque nos possibilitando sinalizar eventuais necessidades de elevação de estoque do ativo.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estes dados de vida, obtidos pela LDA, permitem modelar estatisticamente os modos de falhas, com informações consistentes e de processos reais. Futuramente propõe-se implementar uma simulação completa da confiabilidade do ativo utilizando diagrama de blocos funcionais RDB como também a árvore de falhas para se encontrar pontos ótimos de operação e de troca destes itens que representam um custo de estimado fixo de 20% do *budget* anual da estrutura de manutenção do ativo pontes rolantes. Usar os dados para realização de uma avaliação sistêmica do crescimento da confiabilidade ao longo do tempo, correlacionando-a as ações de melhorias de equipamentos ou de gestão.

REFERÊNCIAS

RELIASOFT, Synthesis Análise – Disponível em: http://www.reliawiki.com/index.php/Introduction_to_Life_Data_Analysis acessado em 20 outubro 2017.

ARCELORMITTAL TUBARÃO – Quem somos. Disponível em: <http://tubarao.arcelormittal.com/quem-somos/arcelor-mittal-tubarao/nossa-historia/index.asp>. Acesso em 30 maio 2017.

ARCELORMITTAL TUBARÃO, Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos da ArcelorMittal Aços Planos América do Sul, 2017.

KARDEC, A; NASCIF, J. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

MARIANO, Carlos Henrique, Sistemas Reparáveis – Material Didático Disciplina Análise de Dados de Vida – Especialização em Engenharia da Confiabilidade Turma Vitória E. Santo, 2016.

MOUBRAY, J. Reliability-centered maintenance: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

RELIASOFT, Synthesis Análise – Disponível em: http://www.reliasoft.com.br/images/reliability_tools_empower_pt.png, acessado em 10 outubro 2017.

WEIBULL ++, Versão 11. Tucson, AZ, USA, Relisoft Corporation, 2017.

RIGONI, Emerson, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Material Didático Disciplina Manutenção Centrada na Confiabilidade e LDA, Especialização em Engenharia da Confiabilidade Turma Vitória E. Santo, 2017.