

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DANIELE ALINE PESSOA DA ROCHA

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS COM APOIO DA LÓGICA
PARACONSISTENTE PARA O ESTUDO DE CASO DA CONFIABILIDADE DE
ATIVOS INDUSTRIAIS**

SANTOS/SP

2019

DANIELE ALINE PESSOA DA ROCHA

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS COM APOIO DA LÓGICA
PARACONSISTENTE PARA O ESTUDO DE CASO DA CONFIABILIDADE DE
ATIVOS INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada a Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me. Willy Ank de Moraes e coorientação do Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho.

SANTOS/SP

2019

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

620.00 R572a	Rocha, Daniele Aplicação de métodos estatísticos com apoio da lógica paraconsistente para estudo de caso da Confiabilidade de Ativos Industriais/Daniele Aline Pessoa da Rocha- 2019 95p. Orientador: Prof. Me. Willy Ank de Moraes Orientador: Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2019. 1. Análise dos Dados de Vida. Confiabilidade. Probabilidade de Falha. Distribuição Weibull. Lógica Paraconsistente. I. Moraes, Willy Ank de. II. Da Silva Filho, João Inácio, III. Aplicação de Métodos Estatísticos com Apoio da Lógica Paraconsistente para o Estudo de caso da Confiabilidade de Ativos Industriais.
-----------------	--

*Dedico este trabalho à minha querida mãe
pelo incentivo, ao meu pai e aos meus irmãos
que me apoiaram de diversas maneiras durante
esta importante etapa de minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus orientadores professores Willy Ank de Moraes e João Inácio da Silva Filho, pela ajuda, direcionamento, incentivo e confiança. Obrigada por terem me ensinado tanto e pela experiência proporcionada através da realização deste trabalho, espero levar esses ensinamentos para a minha vida profissional daqui pra frente.

O apoio e paciência da Sandra e Imaculada, sempre me ajudando com as questões burocráticas.

Todos os professores que lecionaram as disciplinas que tive o prazer de cursar durante a obtenção de créditos do programa, obrigada pelos ensinamentos.

Aos meus colegas mestrandos Anderson, Bruno e Estevan pelo apoio e amizade.

Aos Colegas de Trabalho e amigos, William e Laurindo que me apoiaram durante a minha passagem profissional por Cubatão. Obrigada pelo apoio, carinho e aprendizado que me proporcionaram, com certeza foram de grande contribuição para a conclusão deste trabalho.

Finalizando gostaria de agradecer, a minha família: Meus pais, Lu, Trap, Natália, JP, Gugu, Teteu, Juju, Guilherme, Hugo e Pedro, vocês são o meu porto seguro, a minha maior riqueza e inspiração. Obrigada aos meus amigos Mariana, Tiago e Sofia pelo carinho e acolhimento em Santos.

“Que nada nos limite, que nada nos defina, que nada nos sujeite. Que a liberdade seja nossa própria substância, já que viver é ser livre. Porque alguém disse e eu concordo que o tempo cura, que a mágoa passa, que decepção não mata. E que a vida sempre, sempre continua”.

Simone de Beauvoir

RESUMO

Ativo é um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. Sendo assim a Gestão de Ativos tem ganhado destaque em grandes corporações que buscam a excelência em seus processos. A Engenharia de Confiabilidade se apresenta como um método eficaz para suportar a gestão de ativos, pois proporciona o acompanhamento do ciclo de vida de ativos, utilizando ferramentas estatísticas, isto contribui para que a definição de estratégias e tomadas de decisão sejam mais assertivas. Porém, frequentemente os dados coletados possuem imperfeições, tornando-se imprescindível realizar o saneamento destes dados a fim de realizar uma análise coerente. No presente trabalho foram analisados dados de uma Planta Industrial de Fertilizantes, que está em operação desde 1966, contemplando o período de Jan/2012 a Dez/2017, durante a qual a maioria dos ativos avaliados não possuíam uma instrumentação automatizada para a aquisição e armazenamento de parâmetros operacionais. Nesta análise foram aplicados três modelos estimadores da probabilidade de falhas $P(x)$, Kaplan-Meier, Johnson e Bernard, servindo para gerar uma distribuição de Weibull, utilizada para a análise dos dados de vida dos ativos. Posteriormente, empregou-se os conceitos da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de 2 valores (LPA2v), para determinar o nível de incertezas ou contradições, considerando duas fontes de dados (manual e automatizada) de um dos ativos analisados. Os resultados apresentados pelas duas fontes, demonstraram um comportamento dos dados de vida semelhantes e um nível baixo de contradição, contudo a fonte de dados automatizada apresentou uma maior correlação das suas amostras do que a fonte de dados manual.

Palavras Chave: Análise de Dados de Vida. Engenharia de Confiabilidade. Gestão de Ativos. Distribuição de Weibull. Lógica Paraconsistente.

ABSTRACT

An asset is an item or something with real or potential value to an organization. Therefore, Asset Management has become a matter of importance in large corporations that seek excellence in their processes. Reliability Engineering presents itself as an effective method to support asset management since it enables the asset life cycle monitoring by using statistical tools. This results in more assertive decision-making and strategies definition. However, the data collected usually present with imperfections, making it necessary to carry out the cleaning of the data in order to perform a coherent analysis. In the current work, we analyzed data from an Industrial Fertilizer Plant that has been in operation since 1966. We covered the period from Jan 2012 to Dec 2017, when most of the evaluated assets did not have automated instrumentation for acquisition and storage of operational parameters. We analyzed the life data of the assets by applying three models of the probability of failure $P(x)$ to generate a Weibull distribution: Kaplan-Meier, Johnson, and Bernard. Afterward, the concepts of paraconsistent annotated logic with annotation of two values (PAL2v) were used to determine the level of uncertainties or contradictions, considering two sources of data: manual vs. automated. The results presented by the two sources of data showed similar behaviors of asset life data and a low level of contradiction. However, the automated data source showed a higher correlation of its samples than the manual data source.

Keywords: Life Data Analysis. Reliability Engineer. Probability of Failure. Weibull Distribution. Paraconsistent Logic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Atividades Gestão de Ativos. Adaptado de (ABNT NBR ISO 55.000, 2014).	22
Figura 2. Gráfico parâmetro “ β ” distribuição Weibull 3P.....	28
Figura 3. Gráfico parâmetro “ η ” distribuição Weibull 3P.....	28
Figura 4. Gráfico parâmetro “ γ ” distribuição Weibull 3P.....	29
Figura 5. Curva da Banheira (RELIASOFT, 2001).	31
Figura 6. Efeito “ β ” na Curva da Banheira (adaptado CROWE et al., 2001).	32
Figura 7. Gráfico de Regressão Linear Curva Ajustada (MINITAB, 2018).	34
Figura 8. Exemplo de Aplicação da Distribuição Weibull (MOYANO et al., 2016).....	36
Figura 9. Reticulado finito de “quatro estados” (DA SILVA FILHO, 2006).....	41
Figura 10. Reticulado finito de <i>Hasse</i> (DA SILVA FILHO et al., 2008).....	42
Figura 11. QUPC (a) e Reticulado $\mathcal{L}$ (b) (DA SILVA FILHO, 2008).....	44
Figura 12. Representação Grau de Certeza e Grau de Contradição.	47
Figura 13. Representação Reticulado LPA2v com 12 Estados Lógicos.....	48
Figura 14. Algoritmo Para-Analisador Definição Estados Lógicos.	49
Figura 15. Representação de um Sistema de Análise LPA2v (DA SILVA et al., 2008).	51
Figura 16. Exemplo de Hierarquia Utilizada na Análise do Ciclo de Vida.	54
Figura 17. Método Obtenção de Dados para Análise Paraconsistente.	57
Figura 18. Gráfico Distribuição Weibull - “Secador S-A”.	62
Figura 19. Gráfico Distribuição Weibull - “Correia Transportadora CT-E”.	63
Figura 20. Gráfico Distribuição Weibull - “Fornalha F-A”.....	65
Figura 21. Gráfico Distribuição Weibull - “Correia Transportadora CT-A”.	65
Figura 22. Gráfico Distribuição Weibull - “Correia Transportadora CT-D”.	66
Figura 23. Gráfico Distribuição Weibull - “Exaustor EX-A”.	67
Figura 24. Gráfico de Regressão Linear (a) Coleta PIMS (b) Coleta Manual.....	68
Figura 25. Gráfico de Distribuição Weibull Comparativo PIMS x Manual.	69
Figura 26. Gráfico de Probabilidade de Falha $P(x)$ - (a) Coleta PIMS (b) Coleta Manual.	71
Figura 27. Gráfico de Reticulado 4 estados lógicos.	72
Figura 28. Gráfico de Reticulado Paraconsistentes 12 estados lógicos.....	73

Figura 29. Gráfico Confiabilidade $C(x)$ para $\gamma < 0$ – (a) Secador S-A e (b) Correia Transportadora CT-E.	74
Figura 30. Gráfico Taxa de Falhas Ativos Parâmetro Weibull $\gamma > 0$	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Atividades Engenharia de Confiabilidade (DHILON, 2006).	25
Quadro 2. Disposição dos Dados para Quantificação da Probabilidade $P(x)$	55
Quadro 3. Resultados Métodos de Quantificação da Probabilidade $P(x)$	60
Quadro 4. Resultados para " $\gamma \leq 0$ ".	62
Quadro 5. Resultados para " $\gamma > 0$ ".	63
Quadro 6. Definição Fonte de Dados Análise LPA2v.....	70
Quadro 7. Entrada de Parâmetros para Análise LPA2v.	70
Quadro 8. Cálculo Grau de Certeza e Grau de Contradição para Análise LPA2v. ...	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3P	Tri paramétrica ou três parâmetros
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
f.d.p.	Função da Densidade de Probabilidade
GA	Gestão de Ativos
<i>ICA</i>	<i>International Copper Association</i>
<i>IEEE</i>	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>LDA</i>	<i>Life Data Analysis</i>
LP	Lógica Paraconsistente
LPA	Logica Paraconsistente Anotada
LPA2v	Logica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores
<i>MILR</i>	<i>Military Reliability Specification</i>
NBR	Norma Brasileira
<i>PIMS</i>	<i>Process Information Management System</i>
<i>SAMP</i>	<i>Strategic Asset Management Plan</i>
TAG	Etiqueta ou identificação do ativo
TI	Tecnologia da Informação
TPF	Tempo para Falha
<i>TTF</i>	<i>Time to Failure</i>
<i>USAF</i>	<i>United States Air Force</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$\sim$	– Símbolo lógico de negação
$<$	– Menor
$>$	– Maior
$\in$	– Pertence
$ $	– Tal que
$\approx$	– Aproximado
$\leq$	– Menor ou Igual
$\subset$	Está contido
$\textcircled{R}$	– Marca Registrada
μ	– Grau de Crença
A	– Inclinação da reta
B	– Valor de intersecção ou coeficiente linear
$C(x)$	– Função Confiabilidade
F	– Estado Lógico Falso
$f(x)$	– Função da densidade de probabilidade
G_c	– Grau de Certeza
G_{ct}	– Grau de contradição
$\mathcal{L}$	– Reticulado finito munido novo sistema de coordenadas
P	– Proposição P
$P(x)$	– Probabilidade de Falha
$Q_f \rightarrow T$	– Quase-falso tendendo a Inconsistente
$Q_f \rightarrow \perp$	– Quase-falso tendendo a Indeterminado
$Q_v \rightarrow T$	– Quase-verdadeiro tendendo a Inconsistente
$Q_v \rightarrow \perp$	– Quase-verdadeiro tendendo a Indeterminado
$\mathfrak{R}$	– Conjunto números reais
$R(x)$	– Taxa de Falhas
R^2	– Coeficiente de Determinação
T	– Estado Lógico Inconsistente
$T \rightarrow f$	– Inconsistente tendendo a Falso

$T \rightarrow v$	– Inconsistente tendendo a Verdadeiro
V	– Estado Lógico Verdadeiro
V_{icc}	– Variável inferior de controle de certeza (C2)
V_{icct}	– Variável inferior de controle de contradição (C4)
V_{scc}	– Variável superior de controle de certeza (C1)
V_{scct}	– Variável superior de controle de contradição (C3)
x	– Período de Vida (tempo ou ciclo)
X	– Variável independente
Y	– Variável dependente
β	– Parâmetro de forma ou dispersão
γ	– Parâmetro de localização
η	– Parâmetro de escala ou deslocamento
λ	– Grau de Descrença
τ	– Reticulado finito
$\perp$	– Estado Lógico Paracompleto ou Indeterminado
$\perp \rightarrow f$	– Indeterminado tendendo a Falso
$\perp \rightarrow v$	– Indeterminado tendendo a Verdadeiro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivo	19
1.2	Objetivos Secundários.....	19
1.3	Justificativa e Relevância do Tema.....	20
1.4	Organização da Dissertação.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Gestão de Ativos	21
2.2	Engenharia de Confiabilidade.....	23
2.3	Distribuições de Probabilidade Utilizadas pela Confiabilidade.	25
2.4	Distribuição Weibull – 3 Parâmetros	26
2.4.1	Taxa de Falhas	30
2.4.2	Método Estimador de Parâmetros Weibull (Regressão Linear).....	32
2.4.3	Exemplo Prático de Aplicação da Distribuição Weibull	35
2.5	Lógica Clássica e Não Clássica.....	36
2.6	Lógica Paraconsistente	37
2.7	Lógica Paraconsistente Anotada	39
2.8	Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de Dois Valores.....	40
2.8.1	Quadrado Unitário no Plano Cartesiano associado ao reticulado LPA2v	43
2.8.2	Grau de Certeza “Gc” e Grau de Contradição “Gct”	45
2.8.3	Algoritmo Para-Analisador	47
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
3.1	Tempo para Falha	54
3.2	Quantificação da Probabilidade de Falha P(x).....	55
3.3	Análise Lógica Paraconsistente - LPA2v	57
4	RESULTADOS	59
4.1	Resultados Parâmetro Weibull “ $\gamma \leq 0$ ”	61
4.2	Resultados Parâmetro Weibull “ $\gamma > 0$ ”	63
4.3	Resultados Análises LPA2v.....	67
4.3.1	Determinação da P(x) Weibull para Sistemas Especialistas	69
5	DISCUSSÃO.....	74
6	CONCLUSÕES.....	78
6.1	Trabalhos futuros.....	79
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICE A - Planilhas Operacionais do Processo de Granulação.	84
	APÊNDICE B – Tela de Acompanhamento Sistema PIMS.	94

1 INTRODUÇÃO

A análise dos dados de vida de ativos industriais é uma ferramenta amplamente utilizada em Engenharia de Confiabilidade para se avaliar o comportamento e definir estratégias de manutenção para ativos industriais. Com a análise dos dados de vida é possível quantificar a característica de vida de um ativo, determinando o seu nível de sobrevivência através da identificação da probabilidade de falha e comportamento da taxa de falhas (RELIASOFT, 2005).

Pela ABNT NBR ISO 55.000 (2014): “Ativo é um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. Este valor pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro, e inclui a consideração de riscos e passivos. Ele pode ser positivo ou negativo, em diferentes estágios da vida do ativo. Os ativos físicos geralmente referem-se a equipamentos, estoques e propriedades de posse da organização. Os ativos físicos são o oposto de ativos intangíveis, que são ativos não físicos, como contratos, marcas, ativos digitais, direitos de uso, licenças, direitos de propriedade intelectual, reputação ou acordos. O agrupamento de ativos referidos como um sistema de ativo também pode ser considerado como um ativo”.

Já a confiabilidade de um ativo, corresponde a sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito conforme especificação, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais e operacionais predeterminadas (LEEMIS, 1995). Para a quantificação da confiabilidade e probabilidade de falha, a distribuição de Weibull é uma distribuição de probabilidade contínua que se torna apropriada devido a sua flexibilidade e capacidade de representação de amostras de Tempos para Falha que possuem comportamentos de vida variados, como por exemplo, taxa de falhas constante, estritamente crescente e estritamente decrescente. Outra característica que torna a distribuição Weibull bastante usual em engenharia de confiabilidade é sua aplicabilidade mesmo para um tamanho pequeno de amostras (FOGLIATTO et al., 2009).

O atual panorama mundial faz com que os resultados financeiros das empresas estejam atrelados a influências externas, tornando o lucro cada vez

mais suscetível as oscilações de mercado, economia e política. Sendo assim o controle e monitoramento das variáveis internas é essencial para a empresa se manter competitiva e garantir lucro, mesmo com um cenário de baixa de preços. A Gestão de Ativos suportada pela Engenharia de Confiabilidade é uma prática aplicável para o controle das variáveis internas de uma empresa, pois se propõe a realizar um controle integrado de uma planta industrial, abrangendo de forma organizada e controlada todos os ativos instalados, com a aplicação de métodos, instrumentação e ferramentas de qualidade visando a maximização produtiva com menor custo através da implementação de estratégias operacionais eficientes (RELIASOFT, 2010).

Conforme se eleva o nível de instrumentação para a gestão de ativos, o conceito de indústria 4.0 poderá se tornar uma realidade dentro das corporações, por oferecer a integração entre sistemas e redução de custos através da automatização da manutenção, evitando paradas não programadas e baseando as paradas programadas na medição das condições em tempo real dos componentes. A indústria 4.0 tem como uma das principais ferramentas tecnológicas, a Internet das Coisas, ou IoT – *Internet of Things* que é responsável pela conexão dos sistemas de gestão com as máquinas ou ativos. Estima-se que até 2022, a IoT será responsável por uma economia de até US\$ 1 trilhão por ano, principalmente com a redução do custo de manutenção, segundo a consultoria Gartner (ATECH, 2019). Outra tendência da automação da manutenção, é o aprendizado de máquina (*Machine Learning*), tornando possível o monitorando juntamente com o aprendizado sobre o funcionamento do ativo, com isso será mais fácil prever falhas e tomar ações pró ativas com relação a estratégia a ser adotada para a eliminação do problema (ATECH, 2019).

Considerando os cenários, atual e futuro, a qualidade dos dados adquiridos sempre será extremamente importante para a veracidade dos resultados das análises de engenharia de confiabilidade, que servem de entradas para a gestão de ativos. Contudo, na realidade é possível se deparar com situações em que os dados são pouco confiáveis e/ou a quantidade de amostras é baixa (DA ROCHA et al.; 2018a).

Além dessas situações, outro fator que impacta no resultado das análises é o nível de contradição ou inconsistência, uma vez que se tratam de informações reais obtidas de fontes distintas, o que irá exigir modelos que representem adequadamente a realidade destes ativos, que pode gerar na maioria das vezes, informações incompletas, contraditórias e difusas, tornando os algoritmos baseados em lógica clássica incapazes de oferecer respostas completas em tempo hábil para as tomadas de decisão (ABE, 2011b).

Um dos meios amplamente aplicados para tratar situações contraditórias é a aplicação de lógicas paraconsistentes, uma vez que elas consideram mais estados do que as lógicas clássicas que trabalham de forma binária. As Lógicas Paraconsistentes nasceram da necessidade de se encontrar meios de dar tratamento às situações contraditórias (DA SILVA FILHO, 2006).

Portanto, o presente trabalho buscou conciliar a Análise de Dados de Vida com a Lógica Paraconsistente, no intuito de se verificar a aderência dos dados de falhas com a realidade de um conjunto de ativos avaliados e o nível de contradição quando se admite duas ou mais fontes distintas de informações reais.

1.1 Objetivo

Analisar os dados de falhas de ativos instalados em uma planta industrial, utilizando o modelo de distribuição Weibull, com três Parâmetros, a fim de se determinar o comportamento de vida destes ativos e levantar através da aplicação da lógica paraconsistente anotada com anotação de 2 valores, LPA2v, o nível de incertezas ou contradições presentes nos resultados oriundos das análises realizadas, quando se compara duas fontes de dados distintas.

1.2 Objetivos Secundários

- a. Utilizar três métodos para a quantificação da probabilidade $P(x)$, Kaplan-Meier, Johnson e Bernard para avaliar a probabilidade de falha dos ativos analisados, a fim de se avaliar, pela maior aderência do modelo de Weibull aos dados empregados, indicada pelo coeficiente de determinação R^2 , qual destes métodos possui a maior correlação com o tamanho das amostras e características dos dados coletados;

- b. Também empregar o coeficiente de determinação R^2 , para determinar o parâmetro Weibull de vida inicial “ γ ” do ativo avaliado;
- c. Determinar a condição e a confiabilidade dos dados coletados para um destes ativos analisados pelo uso da lógica paraconsistente anotada com anotação de dois valores (LPA2v).

1.3 Justificativa e Relevância do Tema

A necessidade de se aprimorar técnicas para o saneamento ou tratamento de dados é de extrema relevância para que haja uma Gestão de Ativos eficiente, pois, sem conhecer, monitorar e controlar os ativos de forma precisa torna-se impossível aplicar estratégias que garantam a funcionalidade, baixo custo e condições operacionais dentro das metas produtivas de uma planta industrial. A engenharia de confiabilidade, aplicada juntamente com a lógica paraconsistente, apresentam-se como uma solução potencial para a análise mais aprofundada dos dados adquiridos de diversas fontes, podendo assim proporcionar uma tomada de decisão mais assertiva, baseada em dados que descrevam com mais fidedignidade a realidade do ativo ou processos envolvidos.

1.4 Organização da Dissertação

A dissertação foi estruturada em seis partes principais: a) Introdução, contendo uma breve explanação acerca do tema e justificativa, b) Objetivos do presente trabalho; c) Fundamentação Teórica; d) Métodos utilizados para realização das análises; e) Resultados e Discussão Final; f) Conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão de Ativos

Entende-se a Gestão de Ativos (GA) como um conjunto de atividades que uma organização ou empresa utiliza para que seus ativos alcancem os resultados e objetos esperados de forma sustentável (KARDEC et al., 2014). A gestão de ativos pode ser considerada o início de uma nova era no gerenciamento de empresas, algo a ser praticado por quem busca excelência nos seus processos.

A Gestão de Ativos transcende a barreira dos limites operacionais para influenciar nas estratégias de uma organização. Praticar a gestão de ativos de acordo com as normas técnicas, significa ter um padrão internacional para obter valor através do uso dos ativos, com o objetivo de obter o equilíbrio do desempenho, dos custos envolvidos e dos riscos associados a um determinado processo (ICA, 2015).

Para a implementação da GA, segundo a ABNT NBR ISO 55.001 de 2014, a organização deve definir quais são limites e aplicabilidade do sistema de gestão de ativos, estabelecendo assim um escopo. Este escopo deve estar alinhado com o SAMP (*Strategic Asset Management Plan*) e com a política para a gestão de ativos, considerando os seguintes itens listados a seguir:

- a. As questões externas e internas referidas que são pertinentes para as suas finalidades;
- b. As partes interessadas que são pertinentes ao sistema de gestão de ativos;
- c. Os requisitos e expectativas destas partes interessadas em relação à gestão de ativos;
- d. Os critérios para a tomada de decisão em gestão de ativos;
- e. Os requisitos das partes interessadas para o registro de informações financeiras e não financeiras pertinentes à gestão de ativos, e como relatá-las tanto interna quanto externamente.
- f. As interações com outros sistemas de gestão;
- g. A organização deve definir o portfólio de ativos coberto pelo escopo de

seu sistema de gestão de ativos.

- h. O escopo deve estar disponível como uma informação documentada.

Os objetivos da gestão de ativos devem ser desenhados para atender às necessidades de cada organização, o que pode incluir a abordagem de subconjuntos de objetivos e pode variar para as diferentes atividades executadas para atender aos requisitos de partes interessadas. Recomenda-se ainda que a organização considere as informações ou dados de fontes internas e externas à organização, incluindo contratados, seus fornecedores-chave, reguladores e outras partes interessadas (ABNT NBR ISO 55.002, 2014).

No diagrama da Figura 1 a seguir é possível visualizar as etapas a serem adotadas para a implementação da Gestão de Ativos. Deste diagrama, as etapas mais internas, relacionadas ao “Portfólio de Ativos”, “Atividades do Ciclo de Vida” e “Sistema de Gestão de Ativos”, podem ser abordadas pela Engenharia de Confiabilidade, empregando ferramentas de análise de probabilidade e Lógica Paraconsistentes pela característica destes dois métodos em identificar comportamento dos dados de vida e as suas possíveis contradições.



Figura 1. Diagrama Atividades Gestão de Ativos.
Adaptado de (ABNT NBR ISO 55.000, 2014).

2.2 Engenharia de Confiabilidade

A história da engenharia da confiabilidade pode ser rastreada desde a Segunda Guerra Mundial, quando os alemães relataram ter introduzido o conceito de confiabilidade para melhorar a confiabilidade de seus foguetes V1 e V2. Em 1950, o Departamento de Defesa dos EUA estabeleceu um comitê específico sobre confiabilidade e, em 1952, foi transformado em um grupo permanente chamado Comitê Consultivo para Confiabilidade de Equipamentos Eletrônicos (*AGREE*), que divulgou seu relatório em 1957 (DHILLON, 2006).

Em 1954, um simpósio nacional sobre confiabilidade foi realizado pela primeira vez nos Estados Unidos, e em 1957 a Força Aérea dos Estados Unidos (*USAF*) lançou a primeira especificação militar (MILR-25717 [*USAF*]), “Programa de Garantia de Confiabilidade para Equipamentos Eletrônicos”. Em 1962, o primeiro programa de mestrado em engenharia de confiabilidade do sistema foi iniciado no Instituto de Tecnologia da Força Aérea, em Dayton, Ohio (DHILLON, 2006).

No início da década de 60, o interesse dos norte-americanos, motivado pela Guerra Fria, esteve focado no desenvolvimento de mísseis intercontinentais e na pesquisa espacial no intuito de se levar o primeiro homem à Lua, que acarretou em avanços na área da confiabilidade, uma vez que havia risco humano envolvido. Em 1963, surgiu, nos Estados Unidos, a primeira associação que reunia engenheiros de confiabilidade e o primeiro periódico para divulgação de trabalhos na área, o *IEEE – Transactions on Reliability*, impulsionando também a publicação de diversos livros de engenharia de confiabilidade. Na década de 1970, o estudo da confiabilidade, esteve centrado na análise do risco associados a construção e operação de usinas nucleares e na sequência foram se consolidando com a aplicação da confiabilidade nas mais diversas áreas, tais como: Análises de risco e segurança, Qualidade, Otimização da Manutenção, Proteção Ambiental e Projeto de Produtos (FOGLIATTO et al., 2009).

A ABNT NBR 05462 (1994) define confiabilidade como: “A capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. Segundo Lafraia (2001) a confiabilidade sempre foi historicamente desejada:

“A confiabilidade é uma característica historicamente buscada por projetistas e construtores de todos os sistemas. O que há de novo são as ações para quantificar a confiabilidade. É um movimento similar, e provavelmente tão importante quanto o movimento de séculos atrás para quantificar as propriedades dos materiais”.

Portanto, as análises de confiabilidade, podem ser divididas em duas categorias amplas:

- (i) Qualitativa: destina-se a verificar os vários modos de falha e as causas que contribuem para a falta de confiabilidade de um produto ou sistema;
- (ii) Quantitativa: utiliza dados reais de falha (obtidos, por exemplo, de um programa de teste ou de operações de campo) em conjunto com modelos estatísticos adequados para produzir estimativas quantitativas de confiabilidade do produto ou do sistema (WILEY, 2003).

De formar geral então entende-se que a confiabilidade se trata de uma grandeza que pode ser quantificada indicando a probabilidade de um ativo ou item não falhar em um determinado período de tempo, sob condições operacionais adequadas e recomendadas pelos projetistas e fabricantes, assim destacam-se alguns conceitos (RODRIGUES, 2006):

1. Probabilidade: Calculada estatisticamente. A confiabilidade é uma probabilidade e é ela que caracteriza a diferença entre ativos da mesma natureza. A probabilidade permite quantificar a possibilidade de um ativo operar sem falhar em um determinado intervalo de tempo.
2. Desempenho da Função Requerida: Determinado padrão de uso ou cumprimento de uma missão ou realização de um serviço esperado. A função requerida é o mínimo admissível antes que a função não seja satisfeita.
3. Condições de Uso: Regime de trabalho (Sobrecarga, Alívio, Ajuste Inadequado, etc). Considerando também condições ambientais (Temperatura, pressão, vibração, radiações, etc) e as condições de

manutenção (preventiva, preditiva ou corretiva).

4. Determinado Período de Tempo: Ciclo de vida, tempo de funcionamento entre manutenções ou substituições, quilometragem, número de ciclos, etc. A confiabilidade decresce ao longo do tempo e/ou uso, porém deve ser relacionada as intervenções de manutenção.

Atualmente em uma economia globalizada e competitiva, se torna claro que apenas as nações que lideram a tecnologia liderarão o mundo. No âmbito da tecnologia, pode-se incluir, pesquisa, desenvolvimento e fabricação, bem como manutenibilidade, manutenção e confiabilidade. Vários estudos indicam que para muitos tipos de produtos e sistemas grandes e sofisticados, os custos de manutenção e suporte são responsáveis por 60% a 75% dos custos de ciclo de vida do ativo. Sendo assim, a aplicação da engenharia de confiabilidade se apresentam como solução viável para a redução destes custos, no Quadro 1 a seguir é possível visualizar as atividades que suportam a engenharia de confiabilidade em um processo produtivo (DHILON, 2006):

Quadro 1. Atividades Engenharia de Confiabilidade (DHILON, 2006).

Item	Atividades
1	Coletar, Monitorar e analisar dados de confiabilidade.
2	Gerenciar peças de reposição.
3	Estabelecer bancos de dados de falhas.
4	Disponibilizar ferramentas adequadas para manutenção.
5	Elaborar documentos de engenharia e manutenção.
6	Revisar documentos técnicos em relação a qualquer mudança de engenharia.
7	Desenvolver propostas de mudança de engenharia.
8	Fornecer mão de obra qualificada.
9	Desenvolver suportes de manutenção para os vários níveis de manutenção.

2.3 Distribuições de Probabilidade Utilizadas pela Confiabilidade.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), as principais distribuições estatísticas utilizadas para modelar os Tempos para Falha ou dados de vida de um ativos são as distribuições: Exponencial, Weibull, Gamma e Log-normal (cita-se também a distribuição Normal, porém a consideram pouco aplicada a estudos

de confiabilidade). A seguir apresenta-se uma breve descrição sobre estas distribuições (FOGLIATTO et al., 2009) (RELIASOFT, 2001).

- I. A distribuição exponencial é a única distribuição contínua, aplicada principalmente quando a ocorrência de falha for relativamente constante no tempo, indicando a mesma confiabilidade para qualquer tempo;
- II. A distribuição Weibull é a distribuição mais utilizada em engenharia de confiabilidade, devido a sua flexibilidade e característica de se assemelhar a outras distribuições estatísticas. Outra característica relevante da distribuição de Weibull é que ela modela dados de vida de ativos que apresentam diferentes modos de falhas;
- III. A distribuição Gamma modela sistemas que possuem componentes que operam de forma independente, define o tempo para falha de um sistema ou ativo que opera com componentes em paralelo, como bombas ou compressores, considerando o tempo total até que o último componente venha a falhar;
- IV. A distribuição Log-normal é uma distribuição assimétrica deslocada para a esquerda, muito utilizada no tempo até reparo em unidade reparáveis. Por isso a distribuição log-normal é na maioria das vezes utilizada análise de confiabilidade em ciclos até a falha por fadiga, resistências de materiais e no projeto probabilístico com cargas variáveis. Quando o logaritmo natural dos tempos para falha são normalmente distribuídos, entende-se que os dados seguem uma distribuição log-normal.

2.4 Distribuição Weibull – 3 Parâmetros

Por mais de meio século, a distribuição de Weibull atraiu a atenção de estatísticos que trabalham com teoria e métodos, bem como em vários campos da estatística aplicada. Foram escritos centenas ou até mesmo milhares de artigos sobre esta distribuição e as pesquisas ainda estão em andamento. Juntamente com as distribuições normal, exponencial, a distribuição de Weibull é sem qualquer dúvida, o modelo mais popular nas estatísticas modernas. O grande interesse para os estatísticos teóricos é devido ao seu grande número de

características especiais e aos praticantes devido à sua capacidade de se adequar a dados de vários campos, desde dados de vida a dados climáticos ou observações feitas em economia e administração de empresas. hidrologia, na biologia ou nas ciências da engenharia (RINNE, 2008).

A distribuição Weibull é uma das distribuições mais utilizadas em engenharia de confiabilidade, devido a sua característica de mudar de forma, ela pode modelar uma grande variedade de dados de vida. A função da densidade de probabilidade para a distribuição Weibull com três parâmetros pode ser definida pela Equação 1, para: $f(x) \geq 0$, $x \geq \gamma$, $\beta > 0$, $\eta > 0$, $-\infty < \gamma < \infty$ (RELIASOFT, 2001).

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

Onde:

β = Parâmetro de forma ou dispersão;

η = Parâmetro de escala ou deslocamento;

γ = Parâmetro de localização.

O parâmetro “ β ” indica a forma da curva de densidade da distribuição Weibull, portanto conforme se varia o valor deste parâmetro tem-se curvas similares ao de outras distribuições, considerando-se $\eta = 10$ e $\gamma = 200$, têm-se (DIAS, 2009):

$\beta = 1$: Distribuição de Weibull é idêntica à distribuição exponencial;

$\beta = 2$: Distribuição de Weibull é idêntica distribuição de Rayleigh;

$\beta = 2,5$: a Distribuição de Weibull é idêntica distribuição log-normal e

$\beta = 3,6$: Distribuição de Weibull é idêntica distribuição normal.

Analisando o gráfico da Figura 2 é possível visualizar as curvas da distribuição Weibull 3P, assemelhando-se a de outras distribuições à medida que se varia o parâmetro de forma “ β ” (DA ROCHA et al., 2019).

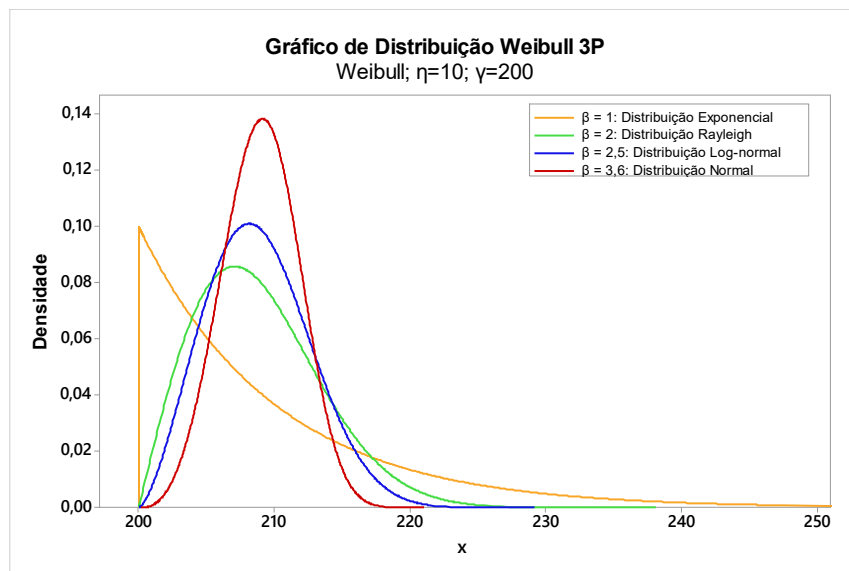


Figura 2. Gráfico parâmetro “ β ” distribuição Weibull 3P.

O parâmetro de escala “ η ” corresponde ao tempo de vida ou ciclo de vida de um ativo e conforme o seu valor aumenta nota-se uma atenuação da curva o que indica uma vida mais longa, conforme Figura 3 (RELIABILITY, 2005) (DA ROCHA, 2018b).

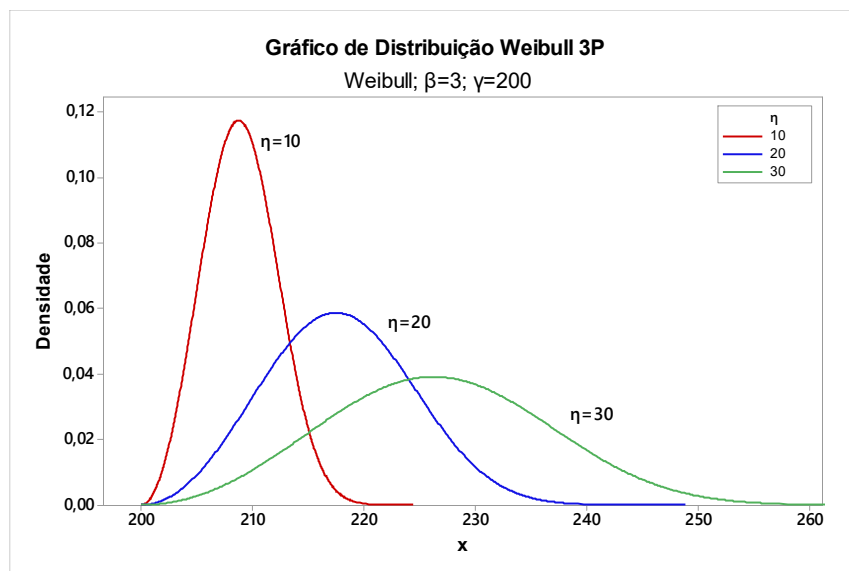


Figura 3. Gráfico parâmetro “ η ” distribuição Weibull 3P.

O Parâmetro de localização “ γ ” determina a vida mínima, ou seja, o intervalo de tempo mínimo em que o ativo analisado não apresentou falhas, podendo ser

nulo quando se trata de uma distribuição Weibull de dois parâmetros (LEMES, 2006). O Gráfico da Figura 4 descreve o deslocamento da curva devido a diferentes valores de “ γ ” com relação ao tempo “ x ”.

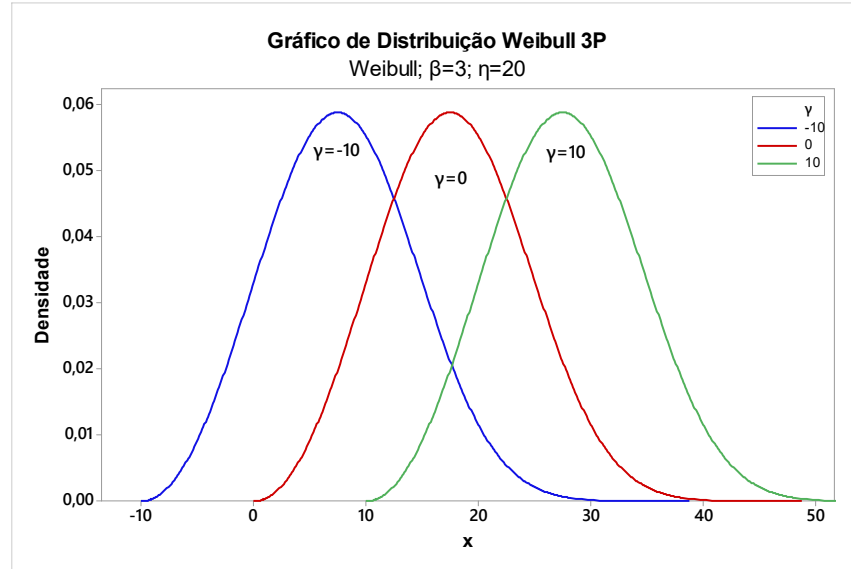


Figura 4. Gráfico parâmetro “ γ ” distribuição Weibull 3P.

A função confiabilidade pode ser expressa pela Equação 2, sendo que a função da densidade de probabilidade $f(x)$ mais utilizada para este cálculo é a da distribuição Weibull três parâmetros conforme Equação 1 (TAVARES, 2015).

$$C(x) = 1 - \int_0^x f(x) dx \quad (2)$$

Onde:

$C(x)$ = Confiabilidade;

$f(x)$ = Função da densidade de probabilidade (f.d.p.);

x = Período de vida.

Fazendo a substituição da $f(x)$ da Equação (1) na Equação (2) obtém-se a Equação 3:

$$C(x) = 1 - \int_0^x \left(\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \right) dx \quad (3)$$

Após o cálculo da integral da Equação 3 tem-se a Equação 4, utilizada para a determinação da confiabilidade. Observa-se que as variáveis são os três parâmetros Weibull (β , γ , η) além do período de vida “x”.

$$C(x) = e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

Considerando que a confiabilidade é a probabilidade de um ativo não falhar em um determinado período de tempo e condições, tem-se a Equação 5 para probabilidade de falha $P(x)$ que representa o inverso da confiabilidade $C(x)$ (DA ROCHA et al., 2018a).

$$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (5)$$

2.4.1 Taxa de Falhas

Define-se taxa de falhas $R(x)$ como a razão entre a função densidade de probabilidade $f(x)$ e a função confiabilidade $C(x)$. Sendo assim a Equação 6 representa matematicamente a taxa de falhas adotando-se a distribuição Weibull 3P para este cálculo (SIMONETTI, 2009). Conforme a ABNT NBR 05462 de 1994, a falha pode ser definida seguinte maneira:

“A falta de capacidade de um ativo ou item em desempenhar sua função requerida. Sendo a falha a perda de função ou funcionalidade de um ativo”.

$$R(x) = \frac{f(x)}{C(x)} \Rightarrow R(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (6)$$

A taxa de falhas de um ativo é graficamente representada através da curva da banheira, contendo três distribuições (conforme Equação 6) distintas sobrepostas que indicam os comportamentos de “mortalidade infantil”, “vida útil” e “desgaste” (GUZZON, 2009). Conforme observa-se na Figura 5, a curva da banheira consiste em três períodos: I) “Infância” ou “Mortalidade Infantil”, com uma taxa de insucesso decrescente; II) “Vida Útil” ou “Vida normal”, com uma taxa de insucesso relativamente baixa; III) “Velhice” ou “Desgaste”, apresenta uma taxa de falha crescente (WILKINS, 2002a) (KARDEC, 2001).

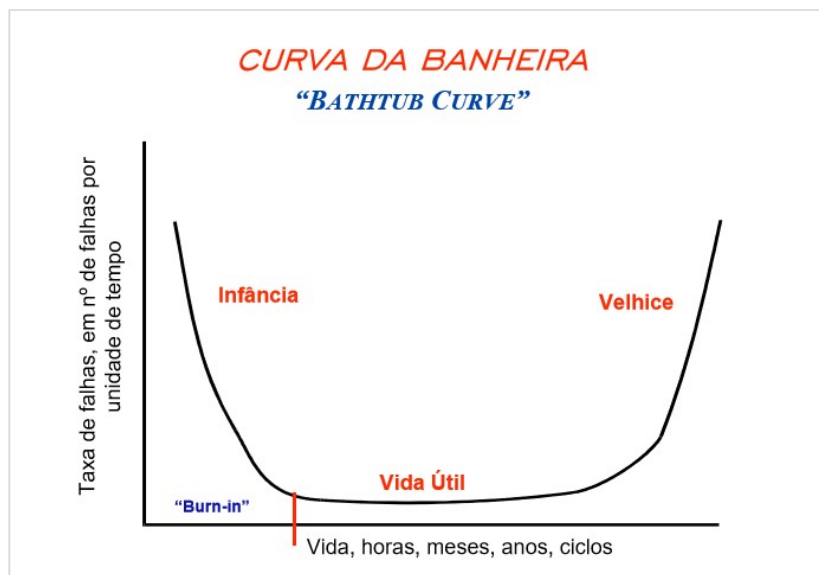


Figura 5. Curva da Banheira (RELIASOFT, 2001).

Alguns especialistas em confiabilidade gostam de salientar que produtos reais não exibem taxas de falhas constantes. Isso é bem verdade para uma parte mecânica em que o desgaste é o principal “modo de falha”. Todos os tipos de peças, mecânicas e eletrônicas, estão sujeitas a falhas de mortalidade infantil por defeitos intrínsecos. Mas há situações comuns em que existe um verdadeiro potencial de falha aleatória (WILKINS, 2002b). Segundo Moubray (1997), modo de falha pode ser definido como:

“Qualquer evento que pode levar um ativo (sistema ou processo) a falhar, ou seja, o modo de falha é qualquer evento que causa uma falha funcional”

A distribuição Weibull pode representar qualquer um dos três períodos indicados na curva da banheira, de acordo com o valor assumido para parâmetro de forma “ β ”, conforme observa-se na Figura 6 (GUZZON, 2009).

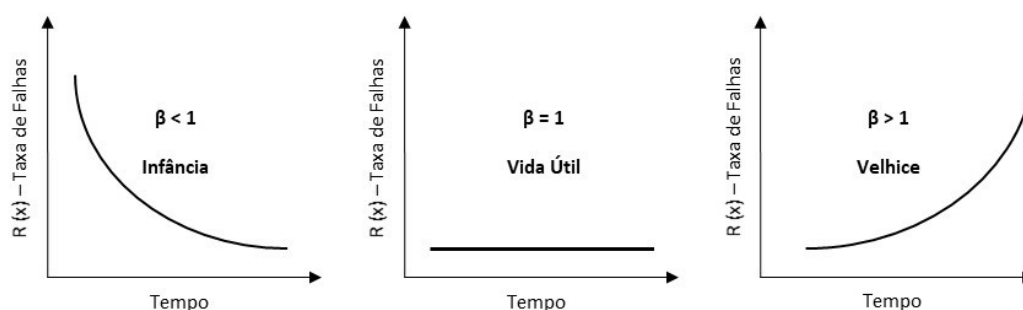


Figura 6. Efeito “ β ” na Curva da Banheira (adaptado CROWE et al., 2001).

2.4.2 Método Estimador de Parâmetros Weibull (Regressão Linear)

As distribuições de probabilidade são compostas por parâmetros, que devem ser estimados para que sejam imparciais, coerentes, eficientes e suficientes, ou seja, um bom método estimador não deve subestimar e nem superestimar o verdadeiro valor do parâmetro. É necessário ainda converter rapidamente ao valor verdadeiro à medida que o tamanho da amostra aumenta, possuir um desvio padrão menor do que o desvio padrão de qualquer outro método para o mesmo parâmetro de uma população, além de utilizar todas as informações que possui sobre o parâmetro. O método e o tamanho da amostra determinam a exatidão das estimativas dos parâmetros (ELSAYED, 1996).

O método estimador de parâmetros por regressão linear também é denominado método dos mínimos quadrados. Sua limitação está no fato dele apenas estimar uma equação linear, ou seja, uma reta com um coeficiente de inclinação e uma constante que determina o deslocamento no eixo vertical. Para se modelar um grupo de dados, cuja f.d.p. não seja representada por uma função do primeiro grau, será necessário linearizá-la com a aplicação de um logarítmico natural, conforme distribuição escolhida e em seguida estimar seus parâmetros (NETO, 2018). A seguir serão demonstrados os cálculos para essa estimativa (RELIASOFT, 2001) (TAVARES, 2015).

1. Linearização da Equação de Probabilidade $P(x)$:

$$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\ln(1 - P(x)) = \ln\left(e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta}\right)$$

$$\ln(-\ln(1 - P(x))) = \beta \ln\left(\frac{x - \gamma}{\eta}\right)$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - P(x)}\right)\right) = \beta \ln(x - \gamma) - \beta \ln(\eta) \quad (7)$$

Obtendo:

$$Y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - P(x)}\right)\right), \quad X = \ln(x - \gamma) \quad (8)$$

A Equação 8 pode ser reescrita da seguinte maneira pela Equação 9:

$$Y = \beta X - \beta \ln(\eta) \quad (9)$$

Sendo assim foi adotada a Equação 10 como a equação geral da reta para a regressão linear:

$$Y = AX + B \quad (10)$$

Onde:

Variável dependente, $Y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - P(x)}\right)\right)$

Variável independente, $X = \ln(x - \gamma)$

A = “ β ”: Corresponde a inclinação da reta;

B = “ $-\beta \ln(\eta)$ ”: Valor de intersecção ou coeficiente linear.

2. Para a obtenção da reta ajustada calcula-se ainda, o parâmetro de escala η (Equação 11), o coeficiente angular “A” (Equação 12) ou “ β ” (módulo Weibull), e o coeficiente linear da reta de regressão “B” (Equação 13), conforme descrito a seguir (TAVARES, 2015):

$$\eta = e^{-\left(\frac{B}{\beta}\right)} \quad (11)$$

$$A = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{(\sum X)^2 - n\bar{X}^2} \quad (12)$$

$$B = \bar{Y} - A\bar{X} \quad (13)$$

Portanto, o método de regressão linear ou mínimos quadrados é adequado para funções que podem ser linearizadas, os cálculos são fáceis e diretos, o coeficiente de correlação permite identificar o quanto a distribuição escolhida se adequa aos dados, uma vez que em alguns casos a combinação de dados e distribuições podem se apresentar complicadas ou impossível de ser implementada, ou seja, são incompatíveis (RELIASOFT, 2001).

Utilizando *softwares* disponíveis hoje em dia, pode-se facilmente aplicar o Método de Regressão Linear, obtendo a equação da reta que melhor se ajusta aos dados e a distribuição escolhida, no intuito de apresentar o melhor coeficiente de ajuste (R^2), que deverá ter um valor acima de 0,9 e o mais próximo possível da “um”, conforme observa-se na Figura 7 (PEREIRA, 2009).

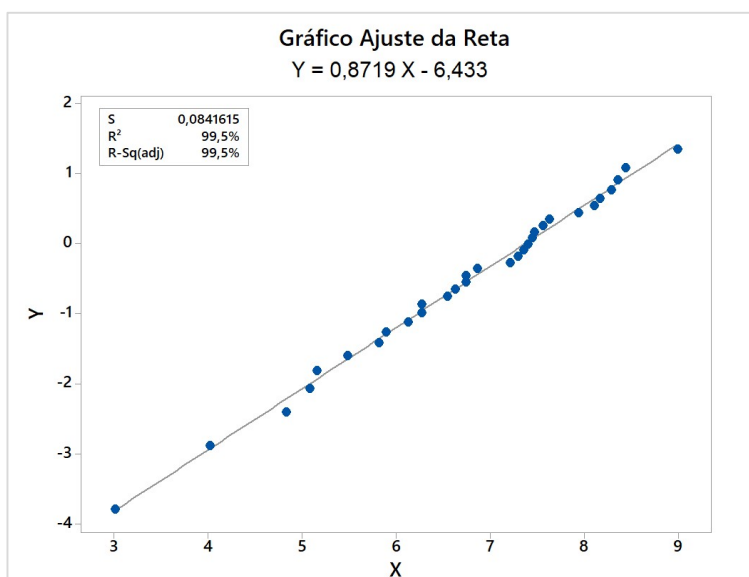


Figura 7. Gráfico de Regressão Linear Curva Ajustada (MINITAB, 2018).

2.4.2.1 Modelos Estimadores da Probabilidade P(x)

Os modelos estimadores da probabilidade P(x) são frequentemente relacionados a determinação do valor da posição no eixo y no gráfico de

probabilidade de Weibull. A definição de qual modelo a ser utilizado para se estimar $P(x)$ leva em consideração o tipo dos dados que podem ser Completos, quando todos os Tempos para Falha são conhecidos ou Censurados, quando leva-se em consideração o desconhecimento se todos os itens falharam ou o exato momento em que a falha ocorreu (DA SILVA, 2016) (RELIASOFT, 2001).

Para dados censurados destaca-se o modelo “Kaplan-Meier”, que é o mais antigo estimador não paramétrico e pode ser calculado pela Equação 14. Já para a quantificação da probabilidade $P(x)$ considerando dados completos destacam-se dois modelos, “Johnson” e “Bernard” expressos pelas Equações 15 e 16 respectivamente (DA SILVA 2016).

$$\text{Kaplan-Meier} \quad P(x) = \frac{i}{n} \quad (14)$$

$$\text{Johnson} \quad P(x) = \frac{i}{(n + 1)} \quad (15)$$

$$\text{Bernard} \quad P(x) = \frac{(i - 0,3)}{(n + 0,4)} \quad (16)$$

Onde:

n = Tamanho da amostra;

i = Valor da amostra.

2.4.3 Exemplo Prático de Aplicação da Distribuição Weibull

A seguir será descrito um exemplo prático de utilização da distribuição Weibull para a determinação da probabilidade de falhas $P(x)$ de um ativo. Neste trabalho foi levantado o histórico de manutenção de uma “Correia Transportadora” e as suas falhas foram desmembradas em cinco grupos de acordo com os componentes indicados pelos “modos de falhas” identificados para o período determinado: Chave de Emergência, Chute de Descarga, Correia, Mancal e Outros (grupos de componentes com poucas amostras de falhas, tais como: Roletes, Rolo Motriz, Rolo Movido, etc). As probabilidades $P(x)$ foram calculadas pelo modelo estimador de probabilidade Bernard. No gráfico da Figura 8, é possível visualizar as probabilidades de falha $P(x)$ calculadas para os

principais componentes da Correia Transportadora para um determinado período de tempo em “horas” de utilização (MOYANO et al., 2016).

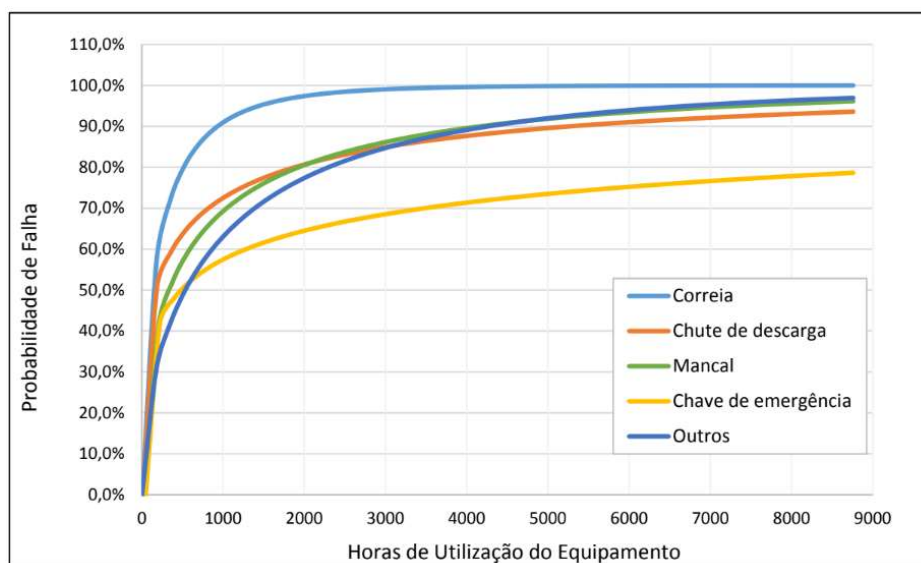


Figura 8. Exemplo de Aplicação da Distribuição Weibull (MOYANO et al., 2016).

2.5 Lógica Clássica e Não Clássica

A lógica clássica fundamentou várias teorias científicas, nas quais se baseia a nossa ciência moderna. A maioria dos equipamentos eletrônicos como os computadores e os sistemas digitais utilizam a lógica clássica como base para o seu funcionamento. Os estudos da lógica, ao que tudo indica, teve início com os trabalhos do filósofo grego Aristóteles (384 a 322 a.C.). Aristóteles vivia na busca de um instrumento para a compreensão de um mundo real e verdadeiro, na obra denominada *Organon*, onde foram reunidos os seus trabalhos e de seus discípulos, pode-se encontrar no capítulo *Analytica Priora* a parte essencial da Lógica. Nesta obra o autor estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que as conclusões pudessem ser validadas de forma lógica. O período que consiste desde a sistematização conhecida da lógica por Aristóteles até o início do século XIX é chamado de “Período Aristotélico” (DA SILVA FILHO et al., 2008).

A lógica clássica é binária (dois estados lógicos), uma vez que uma declaração só pode ser considerada “Falsa” ou “Verdadeira”. O raciocínio lógico clássico se fundamenta em quatro princípios básicos, que serão apresentados a seguir, conforme simbologia usual da lógica clássica (DA COSTA et al., 1999):

1. Princípio da identidade, $p = p$ – “Toda proposição ou objeto é idêntico a si mesmo;
2. Princípio da identidade proposicional, $p \rightarrow p$ – “Toda proposição implica ela mesma”;
3. Princípio do terceiro excluído, $p \vee \neg p$ – “De duas proposições contraditórias, se uma proposição nega a outra, uma delas é verdadeira;
4. Princípio da não-contradição, $\neg (p \vee \neg p)$ – “Entre duas proposições contraditórias, uma delas é falsa.

Além da Lógica Clássica existem as Lógicas Não Clássicas, que podem ser complementares ou rivais (heterodoxas) da lógica clássica. As lógicas não clássicas complementares, usam a base da lógica clássica e ampliam o seu poder de expressão, destacando-se alguns grupos de lógicas, tais como: lógicas epistêmicas, lógica modal tradicional, lógicas intencionais, lógicas de ação, lógicas para aplicações físicas, lógicas combinatórias, lógicas infinitárias, lógicas condicionais, etc (DA SILVA FILHO et al., 2008).

Já as lógicas não clássicas rivais, também conhecidas como heterodoxas, restringem ou modificam certos princípios fundamentais da lógica clássica. A Inteligência Artificial foi a principal motivação para o desenvolvimento de várias lógicas deste tipo, citando alguns exemplos temos: as lógicas paracompletas que invalidam a lei do terceiro excluído (lógica intuicionistas, lógicas polivalentes, etc) e as lógicas paraconsistentes que invalidam o princípio da contradição (DA COSTA et al., 1999).

2.6 Lógica Paraconsistente

A Lógica Paraconsistente teve dois precursores no início do século XX, Nikolaj A. Vasil'év, nascido na Rússia em 1860 e Jan Lukasiewics, nascido na Polônia em 1878. De forma independente, em 1910 os dois publicaram trabalhos em que tratavam da possibilidade de uma lógica que não eliminasse, inicialmente, as contradições, entretanto estes estudos, no que se refere à paraconsistência, se restringiram à lógica aristotélica tradicional (DA SILVA FILHO, 1997).

O início efetivo da Lógica Paraconsistente, foi marcada por trabalhos desenvolvidos de forma independente, sendo um publicado 1948, pelo polonês Stanislaw Jaskowski: “*A propositional calculus for inconsistent deductive systems*” e outro em 1959 por David Nelson, “*Negation and separation of concepts in constructive systems*”. Estes dois trabalhos pioneiros consideravam a possibilidade da contradição. O termo “Paraconsistente” que significa “ao lado de” ou “próximo de”, foi denominado somente em 1976, pelo filósofo Francisco Miró Quesada, a pedido do Prof. Newton C. A. Da Costa, responsável pelo desenvolvimento de vários sistemas paraconsistentes, sendo considerado pela comunidade científica mundial como um dos criadores Lógica Paraconsistente (NETO et al., 2002).

Em 1963 as ideias do Prof. Newton C. A. Da Costa estavam completamente desenvolvidas, quando começou a publicar uma série de artigos contendo suas hierarquias de lógicas de primeira ordem, para o estudo de teorias inconsistentes e não-triviais (D'OTTAVIANO et al., 2003):

“Falando sem rigor, a ideia central deste artigo é a seguinte: um sistema formalizado baseado na lógica clássica (ou lógica intuicionista, ou algumas lógicas polivalentes...), se inconsistente é trivial, no sentido de que todas as suas proposições são demonstráveis; então, deste ponto de vista, ele não tem nenhum interesse matemático. Entretanto, por muitas razões, como por exemplo, a análise comparativa com sistemas consistentes, e para uma análise matemática adequada do princípio em consideração, é conveniente estudar 'diretamente' os sistemas inconsistentes. Mas para tal estudo é necessário construir novos tipos de lógica elementar apropriados para lidar com tais sistemas” (DA COSTA, 1963 e 1963a).

A lógica clássica serve de base para vários sistemas tecnológicos, como: Sistemas de Controle Automatizados, Robótica e Sistemas Especialistas presentes na Inteligência Artificial. No entanto, por possuir uma característica binária ou dois estados lógicos possíveis, a lógica clássica não consegue tratar as situações contraditórias, que são comuns quando se lida com situações do mundo real, assim sendo as lógicas paraconsistentes nasceram da necessidade

de se encontrar meios de dar tratamentos as estas situações contraditórias (DA SILVA FILHO, 2006). Segundo Da Silva Filho, Abe e Torres (2008), os princípios teóricos que sustentam essa afirmação podem ser descritos da seguinte forma:

“Admitindo que os enunciados apresentados como verdadeiros em uma teoria são chamados de teoremas e se todas as sentenças formuladas em sua linguagem forem teoremas, esta é dita trivial. Sabe-se também que uma teoria é consistente se entre seus teoremas não existem aqueles que afirmam algo que seja a negação de outros teoremas pertencentes a mesma teoria. Caso isto acontecesse a teoria seria chamada de inconsistente” (DA SILVA FILHO et al., 2008).

Considerando L uma lógica e L' uma linguagem, que supõe conter o símbolo de negação $\neg$. Uma teoria T que se baseia em L é um conjunto de sentenças pelas inferências aceitas por L , indicando que T contém todas as consequências (por L) de suas sentenças, as sentenças de T são os seus teoremas. T é denominado inconsistente se existir uma sentença A tal que A e $\neg A$ (negação da sentença) sejam teoremas de T , em caso contrário, T denomina-se consistente. T é trivial se qualquer sentença de L' for teorema, em hipótese contrária, T denomina-se de não trivial (DA COSTA et al., 1999).

Na lógica clássica toda teoria que for inconsistente ou contraditória é trivial e vice-versa, indicando que não há separação entre teorias inconsistentes e teorias triviais. Já a lógica paraconsistente tem como principais fundamentos a revogação dos princípios do terceiro excluído e o da não contradição presentes na lógica clássica, admitindo assim o tratamento de sinais contraditórios em sua estrutura teórica. Portanto, uma lógica pode ser chamada de paraconsistente se ela puder servir de base para teorias inconsistentes e não triviais (DA COSTA et al., 1999) (DA SILVA FILHO et al., 2008).

2.7 Lógica Paraconsistente Anotada

A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) é uma lógica não clássica associada a um reticulado no qual são representados os seus estados lógicos. Segundo Da Silva Filho (2008), pode-se dizer que:

“As lógicas paraconsistentes anotadas são uma família de lógicas não-clássicas inicialmente empregadas em programação lógica por *Subrahmanian*. Posteriormente *Blair e Subrahmanian* construíram a teoria geral da programação anotada e obtiveram aplicações em bases de dados que contém contradições. Outros pesquisadores estenderam as ideias e utilizaram-na para se raciocinar sobre redes de herança. Tais técnicas também englobam os raciocínios *Fuzzy* bem como formalismos temporais” (DA SILVA FILHO et al., 2008).

Com os avanços obtidos pelas aplicações da lógica paraconsistente anotada, tornou-se conveniente um estudo dos fundamentos da lógica subjacente das linguagens de programação investigadas. Foi constatado que se tratava de uma lógica paraconsistente, porém em alguns casos também continham características da lógica para completa e não-alética. Os responsáveis pelos primeiros estudos sobre os fundamentos da lógica paraconsistente anotada foram, Da Costa, Subrahmanian e Vago. Na década de 90, Abe, J. M. publicou um estudo com título: “*Some Aspects of Paraconsistent Systems and Applications, Logique et Analyze*”, contemplando os seguinte tópicos: a lógica de predicados, teoria de modelos, teoria anotada de conjuntos e alguns sistemas modais. Neste trabalho, especificamente, obteve-se metateoremas de completeza forte e fraca para uma subclasse de lógica anotada de primeira ordem e estudou-se sistematicamente a teoria anotada de modelos, generalizando a maioria dos resultados padrão para os sistemas anotados (DA SILVA FILHO et al., 2008).

2.8 Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de Dois Valores

Na lógica paraconsistente anotada, a anotação pode ser composta por 1,2...n valores. Portanto, obtém-se um maior poder de representação sobre as anotações ou evidências que expressam o conhecimento sobre uma determinada proposição P , quando a representação da anotação, em vez de ser feita por um único símbolo, for formada por dois símbolos que são representados por dois valores. Considerando τ o conjunto de pares ordenados contendo os valores de Grau de Crença e Grau de Descrença, atribuídos a uma mesma

proposição, esses dois valores podem ser representados em um reticulado formado por pares ordenados: $\tau = \{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0, 1]\} \subset \mathfrak{R}$ (SOUZA, 2009). Assim sendo, a lógica paraconsistente anotada (LPA) pode originar um reticulado finito de “quatro estados”, associando-se ao conceito de Verdadeiro e Falso, conforme observa-se na Figura 9 (TAVARES, 2015).

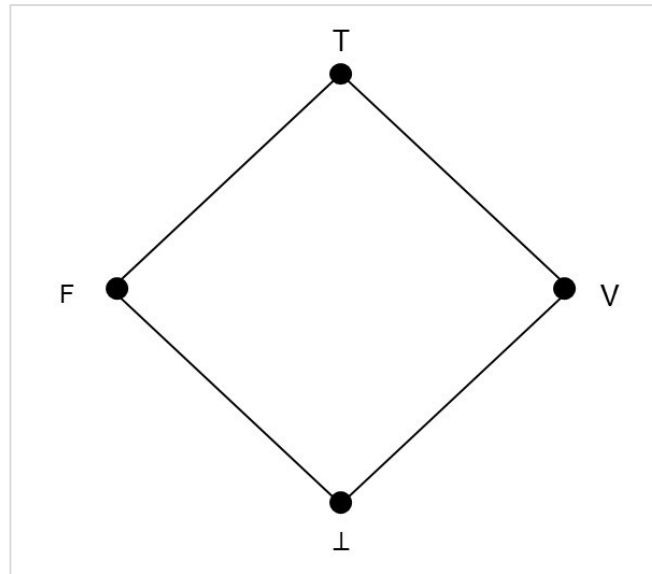


Figura 9. Reticulado finito de “quatro estados” (DA SILVA FILHO, 2006).

Onde:

T - Estado lógico Inconsistente;

V - Estado lógico Verdadeiro;

F - Estado lógico Falso;

⊥ - Estado lógico Paracompleto ou Indeterminado.

Fixando-se um operador, símbolo lógico de negação $\neg$ da LPA, $\sim: |\tau| \rightarrow |\tau|$, pode-se afirmar que (DA SILVA FILHO et al., 2008):

$\sim T = T \rightarrow$ A “negação” de uma proposição inconsistente é inconsistente;

$\sim V = F \rightarrow$ A “negação” de uma proposição “verdadeira” é “falsa”;

$\sim F = V \rightarrow$ A “negação” de uma proposição “falsa” é “verdadeira”;

$\sim \perp = \perp \rightarrow$ A “negação” de uma proposição “paracompleta” é “paracompleta”.

Para efeitos de utilização prática do reticulado τ na representação da lógica paraconsistente com anotação de dois valores (LPA2V), deve-se adotar um sistema de coordenadas cartesianas para o plano, e assim as anotações de uma determinada proposição serão dadas por pontos do plano, dessa forma associa-se T a (1, 1), $\perp$ a (0, 0), F a (0,1) e V a (1, 0). Na Figura 10, a seguir pode-se visualizar a representação da LPA2v em um reticulado de *Hasse* de acordo com o sistema de coordenada fixado (DA SILVA FILHO, 2009).

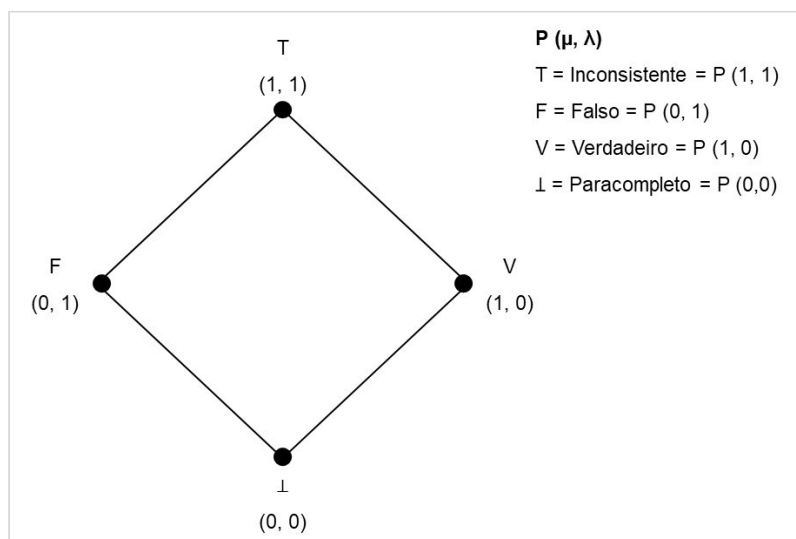


Figura 10. Reticulado finito de *Hasse* (DA SILVA FILHO et al., 2008).

O primeiro valor do par ordenado indica o grau de evidência favorável, sendo representado por μ que sustenta uma proposição P, o segundo valor indica o grau de evidências desfavorável ou contrárias que negam a proposição P e é representado por λ . Portanto, levando-se em consideração a associação de um par ordenado (μ, λ) a uma proposição P, pode-se assumir que o Grau de Evidência Favorável em P é μ , em contrapartida o Grau de Evidência Desfavorável ou contrária é λ , determinando assim as anotações do reticulado da seguinte maneira (DA SILVA FILHO et al., 2008):

- i. (1, 0) - Indica a existência de evidência favorável total e evidência desfavorável nula;
- ii. (0, 1) - Indica a existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável total;

- iii. (1, 1) - Indica a existência de evidência favorável total e evidência desfavorável total;
- iv. (0, 0) – Indica a existência de evidência favorável nula evidência desfavorável nula.

Considerando o reticulado de *Hasse* com anotação de dois valores, onde: $\tau = \{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathfrak{R}\}$. Se P é uma fórmula básica, define-se então o operador $\sim: |\tau| \rightarrow |\tau|$, como: $\sim [(\mu, \lambda)] = (\lambda, \mu)$, uma vez que: $\mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathfrak{R}$, desse modo o par ordenado (λ, μ) , torna-se uma anotação da proposição P . Intuitivamente, os estados lógicos extremos indicados nos quatro vértices do reticulado de *Hasse*, podem ser representados da seguinte forma (DA SILVA FILHO, 2008):

$P_\tau = P_{(1, 1)} \Rightarrow$ A anotação, composta pelos Graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição P uma leitura intuitiva que P é inconsistente;

$P_v = P_{(1, 0)} \Rightarrow$ A anotação, composta pelos Graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição P uma leitura intuitiva que P é verdadeira;

$P_F = P_{(0, 1)} \Rightarrow$ A anotação, composta pelos Graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição P uma leitura intuitiva que P é falsa;

$P_\perp = P_{(0, 0)} \Rightarrow$ A anotação, composta pelos Graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição P uma leitura intuitiva que P é indeterminada.

2.8.1 Quadrado Unitário no Plano Cartesiano associado ao reticulado LPA2v

Com o objetivo de obter uma melhor representação de uma anotação na LPA2v e para se definir um método de interpretação no seu reticulado τ , que permita a utilização da Lógica Paraconsistente no tratamento de incertezas (conhecimento incerto), são realizadas algumas interpretações algébricas, que envolvem aplicação do Quadrado Unitário no Plano Cartesiano (QUPC) juntamente com o reticulado representativo da LPA2v. De acordo com Da Silva Filho, Abe e Torres (2008), o conhecimento incerto pode ser definido como:

“O Conhecimento Incerto é aquele que é discutível e ao qual está associada alguma medida de incerteza que descreve crenças para as quais existem certas evidências de apoio” (DA SILVA FILHO et al., 2008).

Na representação do QPCU os valores do Grau de evidência favorável “ μ ” ficam dispostos no eixo x, e os do grau de evidência desfavorável “ λ ” no eixo y. São identificados diferentes pontos no plano para cada sistema de coordenadas adotadas as anotações (μ, λ) , conforme observa-se na Figura 11 (a). Associando os estados lógicos ao sistema de coordenadas obtidos pelo QUPC Tem-se que: $T \rightarrow (1, 1)$; $\perp \rightarrow (0, 0)$; $F \rightarrow (0, 1)$; $V \rightarrow (1, 0)$, conforme observa-se na Figura 11 (b).

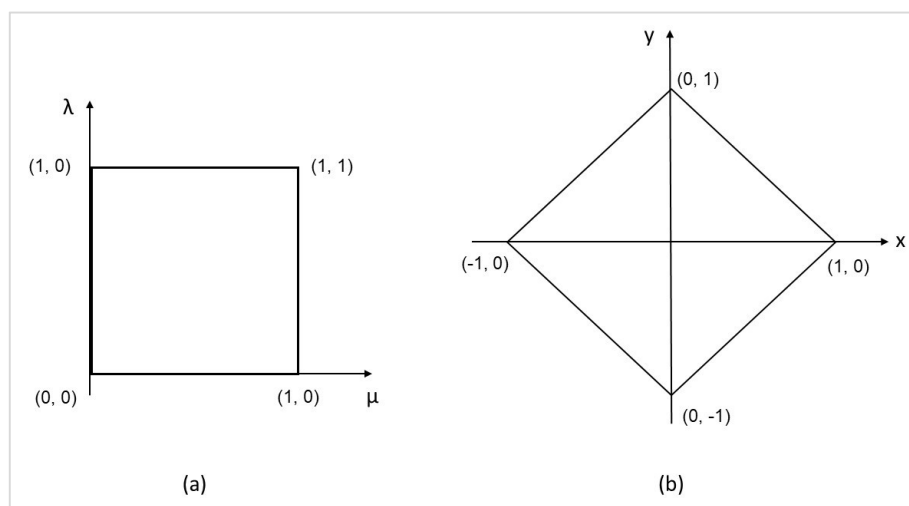


Figura 11. QUPC (a) e Reticulado $\mathcal{L}$ (b) (DA SILVA FILHO, 2008).

Portanto, definindo um sistema de coordenadas fixas para o reticulado τ poderá ser realizada a transformação entre QUPC e reticulado $\mathcal{L}$ (reticulado τ munido de um outro sistema de coordenadas). Deste modo, o reticulado $\mathcal{L}$ pode ser obtido a partir de um QUPC através de três fases; mudança de escala, rotação e translação que serão descritas a seguir (DA SILVA FILHO, 2008):

1. Aumento de escala em QUPC de $\sqrt{2}$

Obtida pela transformação linear:

$$T_1(X, Y) = (x\sqrt{2}, y\sqrt{2}) \quad (17)$$

2. Rotação em 45° com relação a origem:

Obtida pela transformação linear:

$$T_2(X, Y) = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}x - \frac{\sqrt{2}}{2}y, \frac{\sqrt{2}}{2}x + \frac{\sqrt{2}}{2}y \right) \quad (18)$$

3. Translação fornecida pela transformação:

$$T_3(X, Y) = (x, y - 1) \quad (19)$$

Realizando a composição de $T_3 \circ T_2 \circ T_1$ obtêm-se a transformação representada pela Equação 20:

$$T(X, Y) = (x - y, x + y - 1) \quad (20)$$

2.8.2 Grau de Certeza “Gc” e Grau de Contradição “Gct”

Utilizando a Equação (20), resultante da transformação do QUPC, é possível converter os pontos de QUPC que representam anotações do reticulado τ em pontos de $\mathcal{L}$, que por sua vez também representam anotações de τ . A nomenclatura usual a LPA2v pode ser relacionada aos componentes da transformação, de modo que: $T(X, Y) = T(\mu, \lambda)$, associando o primeiro termo do par ordenado da Equação (17): $(x - y) = (\mu - \lambda)$, obtêm-se o Grau de Certeza G_c , conforme observa-se na Equação 18 (DA SILVA FILHO et al., 2008):

$$G_c = \mu - \lambda \quad (21)$$

Onde:

μ = Grau de Evidência favorável;

λ = Grau de Evidência desfavorável.

Para a obtenção do segundo termo do par ordenado da Equação 20 (equação da transformação), pode-se considerar que: $x + y - 1 = \mu + \lambda - 1$, obtendo-se assim o Grau de Contradição G_{ct} , calculado pela Equação 19, a

seguir (DA SILVA FILHO et al., 2008):

$$G_{ct} = \mu + \lambda - 1 \quad (22)$$

Os valores do Grau de Certeza G_c , e do Grau de Contradição G_{ct} , pertencem ao conjunto $\Re$ e variam no intervalo fechado +1 e -1. O G_c está representado no eixo horizontal do reticulado, denominado de “Eixo dos Graus de Certeza”. Já o G_{ct} , está representado no eixo vertical do reticulado, denominado de “Eixo dos Graus de Contradição”. Portanto, pode-se adotar as seguintes considerações (DA SILVA FILHO, 2008) (DA SILVA FILHO e ABE, 2000):

- i. Se G_c determinado em +1 significa que o estado lógico resultante da análise paraconsistente é “Verdadeiro”;
- ii. Se G_c determinado em -1 significa que o estado lógico resultante da análise é “Falso”;
- iii. Se G_{ct} determinado em +1 significa o estado lógico resultante da análise paraconsistente é “Inconsistente”;
- iv. Se G_{ct} determinado em -1 significa que o estado lógico resultante da análise é “Indeterminado”.

A representação do reticulado associado à LPA2v, contendo os valores dos Graus de Contradição e de Certeza pode ser visualizada na Figura 12. Nesta representação foram considerados valores-limites externos arbitrários, que serão descritos na sequência (DA SILVA FILHO et al., 2008):

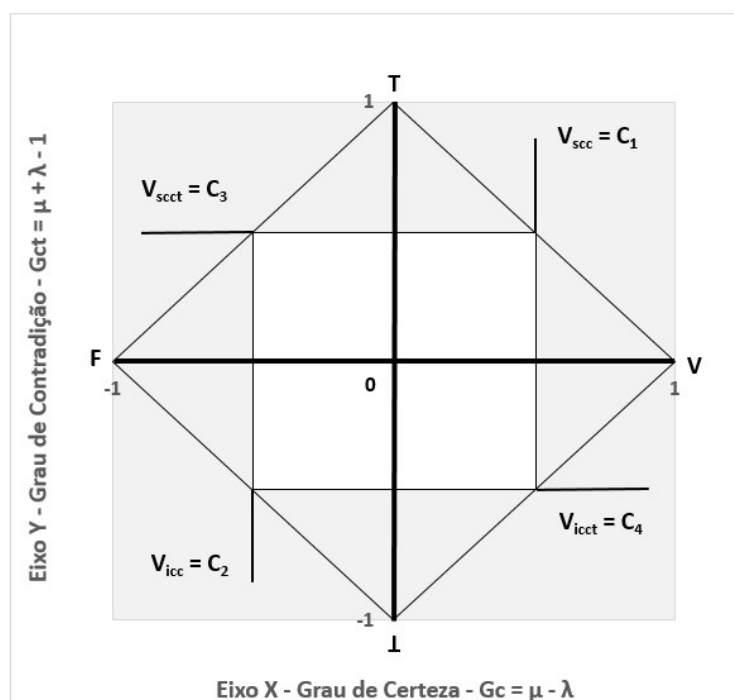


Figura 12. Representação Grau de Certeza e Grau de Contradição.

Onde:

V_{scc} = Valor Superior de Controle de Certeza – Indica a medida positiva mínima tolerável do estado lógico resultante “Verdadeiro” (C1);

V_{icc} = Valor Inferior de Controle de Certeza – Indica a medida negativa mínima do estado lógico Resultante “Falso” (C2);

V_{sctt} = Valor Superior de Controle de Contradição – Indica a medida máxima positiva tolerável do estado lógico resultante “Inconsistente” (C3);

V_{icct} = Valor Inferior de Controle de Contradição – Indica a medida máxima negativa tolerável do estado lógico resultante “Indeterminado”.

2.8.3 Algoritmo Para-Analisador

Uma vez obtidos os valores dos graus de certeza G_c e de contradição G_{ct} , para através da anotação $\{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathfrak{R}\}$ e alocado nos eixos que formam o reticulado associado a LPA2v, este reticulado pode ser repartido ou delimitado em várias regiões e formatos, obtendo-se assim a sua discretização. Delimitando as regiões no reticulado, elas podem ser relacionadas aos estados lógicos resultantes que são obtidos através da interpolações dos graus de

certeza G_c e de contradição G_{ct} . Cada ponto desta interpolação indica uma única região no reticulado que equivale um estado lógico resultante da análise. A quantidade das regiões delimitadas irá variar conforme projeto. Na Figura 13, pode-se visualizar um exemplo de reticulado com doze regiões delimitadas, portanto com doze estados lógicos resultantes (DA SILVA FILHO e ABE, 2000):

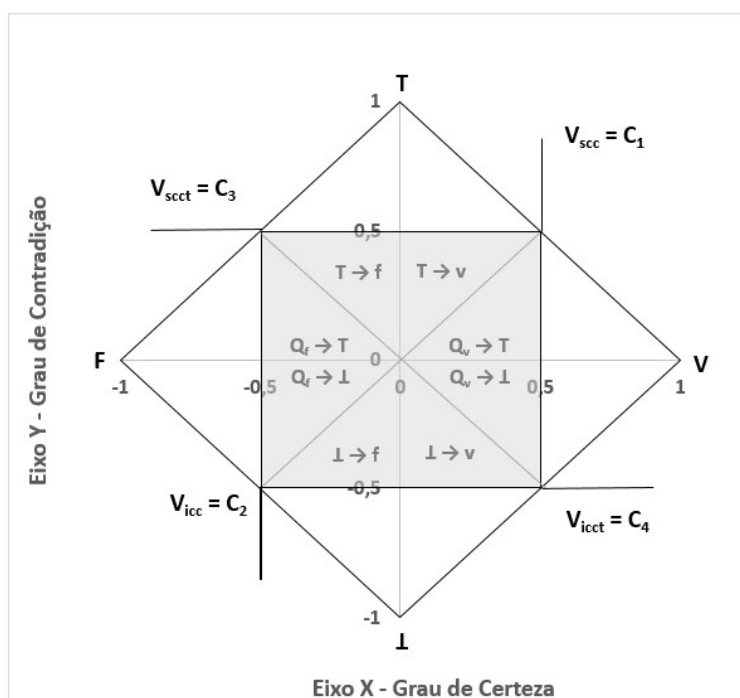


Figura 13. Representação Reticulado LPA2v com 12 Estados Lógicos.

O reticulado LPA2v delimitado em várias regiões é obtido através dos valores calculados, a partir das Equações 21 e 22 dos graus de certeza G_c e contradição G_{ct} e comparados aos valores limites. A descrição desse método de definição dos estados lógicos correspondentes as regiões do reticulado é chamado de algoritmo da LPA2v, denominado de “Para-Analisador”. Os estados lógicos que são representados pelas regiões que ocupam os vértices do reticulado são, Verdadeiros, Falso, Inconsistente e Indeterminados. Estes são chamados de “Estados Lógicos Extremos”, já os estados lógicos resultantes determinados pelas regiões internas são chamados de “Estados Lógicos Não Extremos”. A seguir, no diagrama da Figura 14 serão apresentados os estados lógicos resultantes que compõem o reticulado LPA2v (DA SILVA FILHO e ABE, 2000):

Estados Lógicos Extremos	Estados Lógicos Não Extremos
• $T \Rightarrow$ Inconsistente • $F \Rightarrow$ Falso • $\perp \Rightarrow$ Indeterminado • $V \Rightarrow$ Verdadeiro	• $\perp \rightarrow f \Rightarrow$ Indeterminado tendendo a Falso; • $\perp \rightarrow v \Rightarrow$ Indeterminado tendendo a Verdadeiro; • $T \rightarrow f \Rightarrow$ Inconsistente tendendo a Falso; • $T \rightarrow v \Rightarrow$ Inconsistente tendendo a Verdadeiro; • $Q_v \rightarrow T \Rightarrow$ Quase-verdadeiro tendendo a Inconsistente; • $Q_f \rightarrow T \Rightarrow$ Quase-falso tendendo a Inconsistente; • $Q_v \rightarrow \perp \Rightarrow$ Quase-verdadeiro tendendo a Indeterminado; • $Q_f \rightarrow \perp \Rightarrow$ Quase-falso tendendo a Indeterminado.

Figura 14. Algoritmo Para-Analisador Definição Estados Lógicos.

Observando o diagrama e os estados lógicos resultantes, pode-se afirmar que (DA SILVA FILHO et al., 2008):

A. As variáveis de entrada são representadas por:

$\mu \Rightarrow$ Grau de Evidência favorável;

$\lambda \Rightarrow$ Grau de Evidência desfavorável.

B. Os valores relacionais:

$G_{ct} \Rightarrow$ Grau de Contradição:

$$G_{ct} = \mu + \lambda - 1, 0 \leq \mu \leq 1 \text{ e } 0 \leq \lambda \leq 1.$$

$G_c \Rightarrow$ Grau de Certeza:

$$G_c = \mu - \lambda, 0 \leq \mu \leq 1 \text{ e } 0 \leq \lambda \leq 1$$

C. As variáveis de controle para recursos de otimização são:

$V_{sc} \Rightarrow$ Valor Superior de Controle de Certeza.

$V_{sct} \Rightarrow$ Valor Superior de Controle de Contradição.

$V_{ic} \Rightarrow$ Valor Inferior de Controle de Certeza.

$V_{ict} \Rightarrow$ Valor Inferior de Controle de Contradição.

No Sistema de Análise Paraconsistente, as atribuições dos valores dos graus

de evidência favorável e desfavorável têm como objetivo oferecer uma resposta ao problema de sinais contraditórios. Isso é realizado através da coleta de evidências que servem como “entrada” (favoráveis e desfavoráveis) e utilizando o Algoritmo Para-Analisador, que orienta a modificação do comportamento do sistema, no intuito de se reduzir a “intensidade” das contradições. Os valores dos graus de evidência favorável e desfavorável variam entre 0 e 1, sendo possível obter como resposta ou “saída” os valores dos Graus de Contradição e de Certeza. Essas “saídas” apresentam amplitudes que indicam a certeza ou incerteza sobre determinada proposição, sendo assim utilizando o Algoritmo Para-Analisador é possível indicar uma decisão com base nos 12 estados lógicos resultantes (DA SILVA et al., 2008). Segundo Da Silva Filho e Abe (2000), o funcionamento deste tipo de análise, onde se utiliza um sistema de controle pode ser descrito por três etapas:

1. O sistema recebe as informações.

Esses valores vêm de sensores ou de especialistas por onde passaram por um processo de normalização, portanto, as informações são dois valores variáveis e independentes:

- a. O Grau de Evidência favorável μ , que é um valor real entre 0 e 1.
- b. O Grau de Evidência desfavorável λ , que é um valor real entre 1 e 0.

2. O sistema faz o processamento.

Utiliza as equações para calcular os graus de contradição e certeza:

- a. $G_{ct} = \mu + \lambda - 1$
- b. $G_c = \mu - \lambda$

3. O Sistema conclui.

Utiliza as condicionais descritas pelas regiões delimitadas, indicando o estado lógico resultante:

- a. Se existir um alto Grau de Contradição então não existe certeza ainda quanto à decisão, portanto, devem-se buscar novas evidências.
- b. Se existir um baixo Grau de Contradição então se pode formular a

conclusão, desde que exista um alto Grau de Certeza também.

Na Figura 15 é possível visualizar o digrama que descreve essas três etapas:

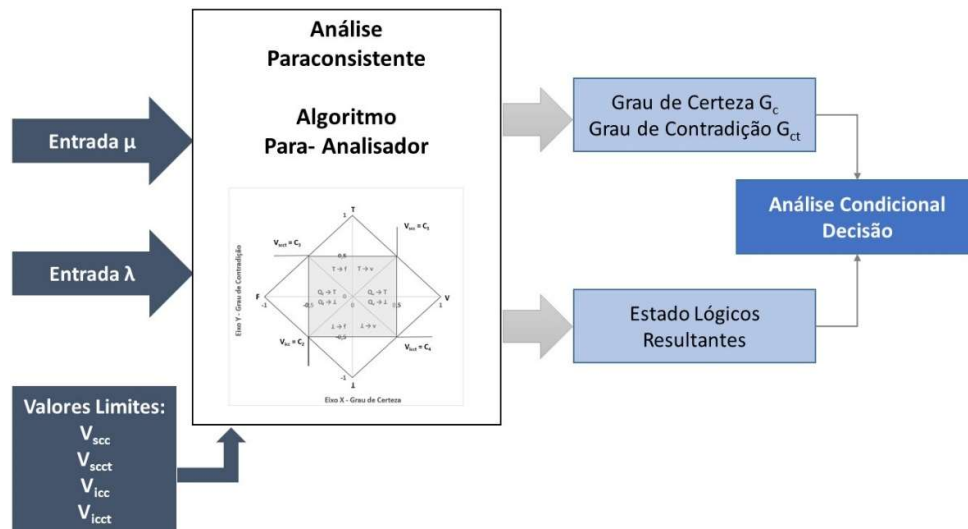


Figura 15. Representação de um Sistema de Análise LPA2v (DA SILVA et al., 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de um processo de Granulação que integra uma Planta Industrial de Fertilizantes, localizada na região industrial de Cubatão, SP, Brasil. Por se tratar de uma planta que está em operação desde 1966, e ainda hoje, não possui uma política de arquivo e documentação técnica confiável, não foi possível levantar as intervenções relevantes ou grandes reformas realizadas em seus ativos desde do início de operação. Outro ponto relevante é que no período que contempla a coleta os dados (Jan/2012 a Dez/2017) utilizado neste estudo, a maioria dos ativos não possuía instrumentação automatizada para a aquisição e armazenamento de parâmetros operacionais.

Observa-se que essa situação de dificuldade para se conseguir um histórico confiável é mais comum do que se imagina, uma vez que, dados coletados de forma sistemática, banco de dados robustos, informações técnicas atualizadas e sistemas automatizados para o monitoramento e controle de parâmetros operacionais, ainda não são uma prioridade para a maioria das empresas, que não investem na modernização com o emprego de novas tecnologias para a gestão de ativos industriais. Portanto, torna-se necessário o tratamento dos dados levantados e a quantificação das possíveis contradições ou incertezas para que a tomada de decisão seja a mais assertiva possível, mesmo tendo pouco recurso tecnológico e metodológico disponível.

Sendo assim para o desenvolvimento do presente trabalho foram extraídos dados operacionais de ativos por duas vias, uma através de planilhas do *software Microsoft Excel®* (OFFICE, 2013), utilizadas pela área de produção para registrar manualmente os eventos envolvendo os ativos em questão, contemplando o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2017 e a outra fonte de dados foi o sistema PIMS® “*Process Information Management System*” ou “Sistema Informatizado de Gerenciamento de Processo”, que faz a interface com os instrumentos de medição utilizados para a leitura e monitoramento automatizado de parâmetros de controle.

Os dados disponibilizados em planilhas de Excel®, contém as seguintes informações: o início e fim da parada (horas), o produto que está sendo

produzido, o tipo de parada (Manutenção Corretiva, Preventiva, Administrativa, Falha de Processo, etc), Família de ativos, a TAG, o motivo ou modo de falha e uma breve descrição (Apêndice A). No intuito de se retirar informações erradas ou incompletas foram definidos os seguintes critérios para o tratamento destes dados:

1. Selecionadas apenas as intervenções de manutenções corretivas, para contemplar apenas dados de falhas dos ativos analisados;
2. Descartados dados preenchidos de forma que não foi possível identificar com exatidão qual o ativo ou motivo da falha;
3. Foi considerado o tempo total que o ativo apresentou um determinado “modo de falha” repetidas vezes, ignoradas as intervenções devido a retrabalho ocasionados por mão de obras sem capacitação ou falta de sobressalentes adequados;
4. Foram desconsiderados relatos relacionados a “desarmes” ou “desligamento” abaixo de uma hora de duração ocasionados por sobrecarga operacional;
5. Foram desconsiderados falhas devido a fixações inadequadas de componentes, falta de parafusos ou qualquer outro evento que envolva o montagem / ajuste inadequados provocando pequenas paradas para reparo.
6. Reparos em dutos ou componentes de interligação dos equipamentos foram descartados, pois foram apropriados de forma inadequada como falha do ativo.
7. Descartadas falhas ocasionadas por “desalinhamento” com tempo para reparo menor que uma hora, sendo provocado por alguma interferência externa e não falha do ativo;
8. Analisados ativos com mais de 3 amostras de TPF - Tempo para Falha para viabilizar a análise estatística.

Já os dados históricos obtidos pelo sistema PIMS foram provenientes da medição parâmetros operacionais (corrente elétrica e vibração mecânica) registrados continuamente através de instrumentos e sensores instalados nos ativos (Apêndice B). O processo analisado possui poucos ativos que possuem

instrumentos de medição automatizados com interface ao PIMS, restringindo assim a escolha do ativo e período de aquisição de dados.

Primeiramente foi elaborado um fluxograma, definindo uma hierarquia para a identificação dos ativos analisados que exemplifica de forma sucinta o processo (Nível 1), a família de ativos ou equipamentos (Nível 2) e a identificação individual do ativo, usualmente chamada de TAG (Nível 3), conforme pode ser visualizado na Figura 16.

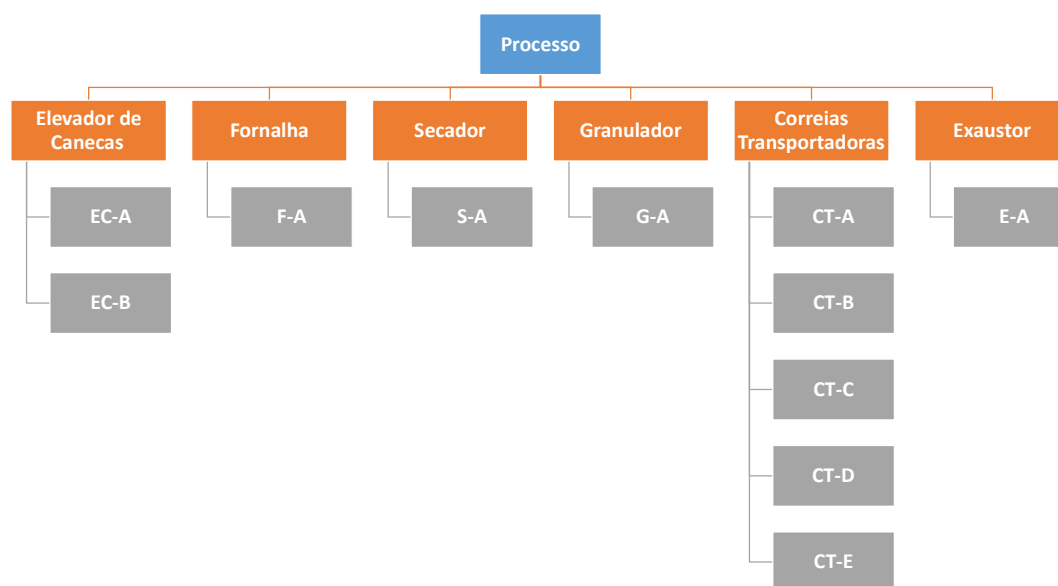


Figura 16. Exemplo de Hierarquia Utilizada na Análise do Ciclo de Vida.

3.1 Tempo para Falha

Entende-se como Tempo para Falha “TPF” ou originalmente *Time To Failure* “*TTF*”, o tempo transcorrido desde do início de operação de um ativo até a sua falha, podendo ser em horas, dias, anos, etc. Esse tempo para falha geralmente não ocorre em intervalos constantes e determina o comportamento de vida de um ativo. Os dados de campo, normalmente não são tão confiáveis como os obtidos laboratorialmente, pois são adquiridos por um sistema ou processo desenvolvido para coletar informações para outros fins que não as análises de engenharia de confiabilidade, como por exemplo, gestão de indicadores de qualidade, controle de processo ou simplesmente para monitoramento de parâmetros, por estes motivos muitas vezes os dados históricos utilizados para

a determinação do “TPF”, podem ser tendenciosos ou subjetivos (RELIASOFT, 2005).

Após a extração e tratamento dos dados, foram calculados os tempos para falha, para a obtenção do primeiro TPF (horas) foi considerado o tempo inicial: 01/01/2012 00:00:00 (data inicial dos registros de eventos de falhas dos ativos nas planilha operacionais), para a soma das horas operadas até a primeira falha. Definido o primeiro TPF, os Tempos para Falha (horas) foram calculados somado as horas operadas, desde do início de operação após um reparo anterior até o início de cada falha ou evento registrado e assim sucessivamente ao longo do período analisado.

3.2 Quantificação da Probabilidade de Falha $P(x)$

Uma vez estimados os TPF, de cada ativo no período analisado, em horas, os mesmos foram ordenados de forma crescente para a quantificação da probabilidade falha $P(x)$ considerando os três modelos adotados nesta análise Kaplan-Meier (Equação 14), Johnson (Equação 15) e Bernard (Equação 16), conforme item 2.4.2.1. No Quadro 2 é possível visualizar a disposição de uma sequência de 46 amostras, como exemplo para análise dos métodos.

Quadro 2. Disposição dos Dados para Quantificação da Probabilidade $P(x)$.

i	TPF (horas)	Kaplan-Meier	Johnson	Bernard
		i / n	$i / (n + 1)$	$(i - 0,3) / (n + 0,4)$
1	4,83	0,021739	0,021277	0,015086
2	5,00	0,043478	0,042553	0,036638
3	5,50	0,065217	0,063830	0,058190
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
44	3503,50	0,956522	0,936170	0,941810
45	3740,33	0,978261	0,957447	0,963362
46	7162,50	1,000000	0,978723	0,984914

Com os dados dispostos de forma crescente na planilha utilizada neste trabalho foi utilizada a distribuição Weibull 3P para a análise de dados de vida dos ativos.

A fim de se obter uma melhor correlação entre as variáveis X e Y da regressão linear indicada pelo coeficiente de determinação R^2 , definida pela

variação do parâmetro Weibull de vida inicial “ γ ”, empregou-se uma regressão polinomial entre os valores do coeficiente de determinação R^2 em função dos estimados, γ_i , de “ γ ”:

$$R^2 = A_1 \cdot \gamma_i^2 + A_2 \cdot \gamma_i + A_3 \quad (23)$$

A Equação 23 é gerada pelo software Microsoft Excel®, de modo que apresente um ponto de máximo. Ao se igualar a derivada primeira desta função polinomial a zero, encontra-se um ponto crítico, que neste caso, representa o ponto de máximo local, ou seja, o valor do parâmetro Weibull de vida inicial do ativo “ γ ”:

$$\begin{aligned} \frac{\partial R^2}{\partial \gamma} &= 0 \\ 2A_1 \cdot \gamma + A_2 &= 0 \\ \gamma &= \frac{-A_2}{2A_1} \end{aligned} \quad (24)$$

Definidos os valores do coeficiente de determinação R^2 para os três modelos estimadores da probabilidade de falha $P(x)$ os resultados foram comparados para a escolha do método que apresenta maior correlação, indicada pelo valor de R^2 mais próximo de “um”.

Portanto, com o método de quantificação da probabilidade $P(x)$ definido foram determinados os valores dos parâmetros Weibull, sendo possível construir os gráficos de distribuição utilizando o *software* MINITAB 18® (MINITAB, 2019) e assim analisar as curvas características do comportamento dos dados de vida dos ativos. Na sequência os parâmetros Weibull foram utilizados como dados de entrada para a análise de Lógica Paraconsistente. A Figura 17 descreve o processo desde a coleta até a obtenção dos dados para a análise utilizando o Lógica Paraconsistente:

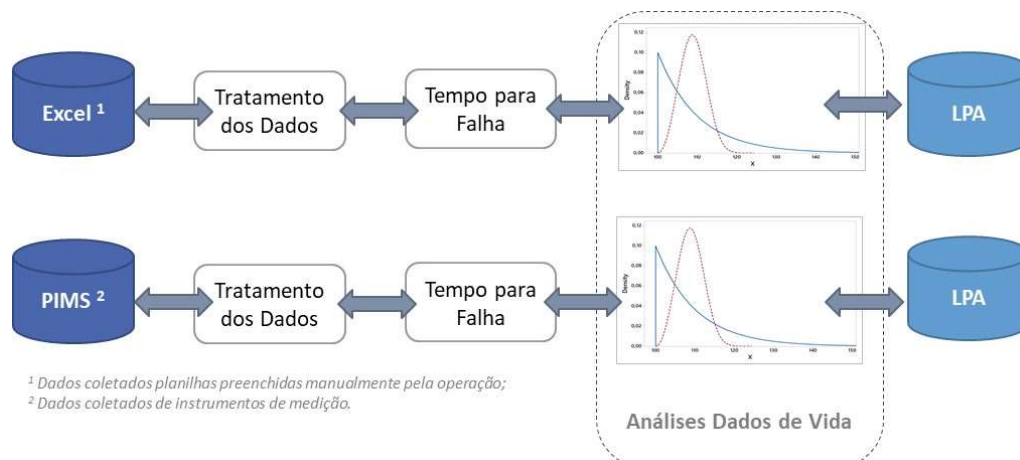


Figura 17. Método Obtenção de Dados para Análise Paraconsistente.

3.3 Análise Lógica Paraconsistente - LPA2v

Com as análises do comportamento dos dados de vida concluídas foi selecionado um ativo conforme disponibilidade e dispersão dos dados para a realização da análise paraconsistente LPA2v, sendo assim foi possível fazer um paralelo entre os eventos de falhas preenchidos manualmente e os registros obtidos a partir dos instrumentos de controle via sistema PIMS®, no intuito de se determinar o nível de contradição e incertezas geradas quando se compara essas duas fontes. A seguir estão descritos os passos para a análise LPA2v:

1. Definido os sistemas especialistas conforme definição: μ_1 – Fonte de dados 1 e μ_2 – Fonte de dados 2;
2. A base de tempo foi padronizada para as duas fontes, sendo definido o mesmo tempo inicial e final para as análises, além de variarem com o mesmo intervalo;
3. Calculada a Probabilidade de Falha Weibull $P(x)$ para as duas fontes levando-se em consideração a base de tempo padronizada;
4. Construído um gráfico comparativo com as probabilidades $P(x)$ para base de tempo real e base de tempo padronizada;
5. Foram definidas as proposições $P(\mu, \lambda)$, sendo: Grau de Crença na Falha “ μ ” e Grau de Descrença na Falha “ $\lambda = 1 - \mu$ ”;
6. Calculados o Grau de Certeza “ G_c ” (Equação 21) e o Grau de Contradição “ G_{ct} ” (Equação 22);
7. Construído o gráfico reticulado paraconsistente para 12 estados

lógicos conforme algoritmo para-analisador (Figura 13);

8. Análises dos resultados.

4 RESULTADOS

Foram analisados os dados de falha de onze ativos que compõem o processo de granulação de uma planta de fertilizantes, primeiramente foram definidos valores para os parâmetros Weibull e seus respectivos coeficientes de determinação R^2 . Esses valores foram obtidos pelo emprego dos três modelos estimadores da probabilidade de falha $P(x)$ propostos neste trabalho no item 2.4.2.1: Kaplan-Meier (Equação 14) Johnson (Equação 15) e Bernard (Equação 16).

Portanto, com as probabilidades $P(x)$ calculadas e os parâmetros Weibull definidos foi possível determinar a qualidade das amostras e desenvolver o Quadro 3 para comparação dos diferentes resultados de R^2 , obtidos através da aplicação dos três modelos. O parâmetro de forma “ β ” indicou a dispersão das amostras, “ η ” o tempo médio de vida e “ γ ” a vida inicial. Estes parâmetros foram determinados considerando o valor do coeficiente de determinação R^2 mais próximo possível de “um”, possibilitando assim o melhor ajuste da reta possível para a regressão linear.

Uma parte dos ativos avaliados da planta industrial em estudo apresentou uma quantidade abaixo de trinta amostras válidas, limitando assim a validação do modelo Kaplan-Meier que recomenda uma quantidade de amostras maior que trinta. Mesmo assim os dados foram avaliados utilizando os três modelos estimadores da probabilidade $P(x)$, com intuito de se obter os três parâmetros Weibull para cada um destes modelos.

Quadro 3. Resultados Métodos de Quantificação da Probabilidade P(x).

Família de Ativos	TAG	NºDados	Kaplan-Meier (Equação 14)					Johnson (Equação 15)					Bernard (Equação 16)				
			R ²	β	η	γ	$\bar{x}_{\text{méd}}(h)$ P(x) 50%	R ²	β	η	γ	$\bar{x}_{\text{méd}}(h)$ P(x) 50%	R ²	β	η	γ	$\bar{x}_{\text{méd}}(h)$ P(x) 50%
Elevador de Canecas	EC-A	12	0,958	0,790	3154,14	100,0	1882,86	0,963	0,653	3982,30	-20,0	2252,04	0,962	0,676	3777,07	15,0	2210,68
	EC-B	34	0,976	1,114	1509,32	-60,0	1026,07	0,976	0,998	1593,94	-30,0	1074,12	0,975	0,989	1549,60	-10,0	1059,76
Fornalha	F-A	25	0,989	0,719	1629,85	90,0	1068,85	0,991	0,662	1820,19	100,0	1146,61	0,992	0,705	1779,54	100,0	1158,45
Secador	S-A	29	0,987	1,051	1679,60	-20,0	1165,07	0,990	0,994	1785,90	-5,0	1230,09	0,989	0,998	1736,93	15,0	1217,88
Granulador	G-A	26	0,988	1,146	1918,42	-20,0	1373,34	0,989	1,086	2055,91	-5,0	1461,90	0,987	1,093	1991,74	25,0	1449,18
Correia Transportadora	CT-A	31	0,994	0,905	1497,11	0,0	998,40	0,995	0,861	1638,02	5,0	1074,92	0,995	0,872	1601,06	15,0	1066,57
Correia Transportadora	CT-B	24	0,978	1,045	2234,75	-50,0	1523,77	0,982	1,010	2399,41	-40,0	1629,29	0,980	1,013	2319,36	-5,0	1610,07
Correia Transportadora	CT-C	41	0,984	1,052	1221,95	-5,0	857,46	0,986	1,013	1287,32	0,0	896,58	0,986	1,020	1261,52	10,0	890,66
Correia Transportadora	CT-D	34	0,987	1,044	882,06	5,0	625,89	0,951	0,800	1027,23	30,0	679,62	0,954	0,760	1005,48	40,0	660,75
Correia Transportadora	CT-E	16	0,959	1,523	2681,26	350,0	1757,90	0,925	0,757	2859,54	110,0	1872,30	0,931	0,797	2762,82	125,0	1869,27
Exaustor	EX-A	36	0,956	0,495	1066,98	30,3	538,92	0,961	0,494	1167,32	30,2	586,30	0,960	0,489	1143,99	31,3	571,90

Inspecionando os resultados obtidos a partir das análises dos dados pela distribuição Weibull foi possível aplicar conceitos amplamente utilizados para avaliar a qualidade ou viabilidade das amostras baseada no comportamento dos dados de vida dos ativos. Esta avaliação dos dados de vida do ativo é imprescindível para a condução de estudos mais minuciosos ou até mesmo para tomadas de decisão mais assertiva quando se propõe uma aplicação mais prática para esse tipo de análise.

A partir dos parâmetros de Weibull dos 11 ativos avaliados da planta industrial em estudo, foram verificadas duas situações distintas para o parâmetro Weibull “ γ ”: ativos com iguais ou menores que zero (“ $\gamma \leq 0$ ”) e positivos (“ $\gamma > 0$ ”). Considerando que esse parâmetro (“ γ ”) indica a vida inicial do ativo, ou seja, particularmente quantas horas após o início da coleta de dados o ativo analisado passou a ter uma probabilidade de falha relevante, pode-se fazer a seguinte interpretação destes resultados, por grupo de ativos:

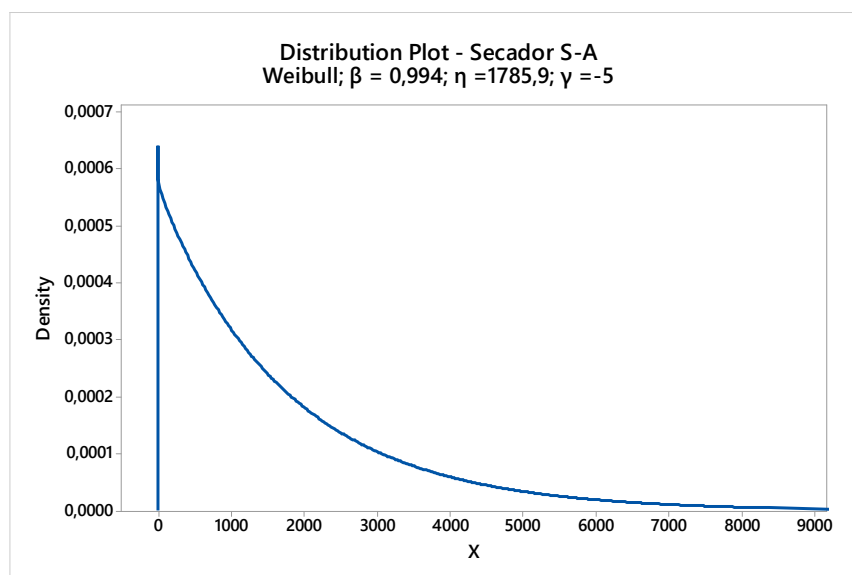
- I. “ $\gamma \leq 0$ ”: indica que o ativo possui falhas crônicas. Este comportamento pode ser ocasionado também por algum problema durante a coleta e/ou tratamento dos dados (destacados no Quadro 3);
- II. “ $\gamma > 0$ ”: demonstra que o ciclo de vida de um ativo apresenta um comportamento mais coerente, levando-se em consideração que o mesmo apresentou um vida inicial antes da primeira falha.

4.1 Resultados Parâmetro Weibull “ $\gamma \leq 0$ ”

Os resultados para “ γ ” negativo podem ser visualizado no Quadro 4, no qual pode-se observar que o ativo “Secador S-A” foi o item que apresentou maior correlação das amostras analisadas ($R^2 = 0,990$) através do método Johnson, Eq. (15), para a quantificação da probabilidade $P(x)$, se comparado ao restante de ativos que apresentaram $\gamma \leq 0$. O número de amostras validadas foi $n = 29$ e apresentou um valor do parâmetro de forma $\beta < 1$ o que indica um comportamento de “Mortalidade Infantil”, conforme curva da banheira (Figura 5), com uma taxa de falhas decrescente ao longo do tempo que é evidenciado pela distribuição Weibull assemelhando-se a uma distribuição exponencial (Figura 18).

Quadro 4. Resultados para “ $\gamma \leq 0$ ”.

Família de Ativos	TAG	Nº Dados	Método	R ²	β	η	γ	$x_{\text{méd}}(h)$ P(x) 50%
Elevador de Canecas	EC-A	12	Johnson	0,963	0,653	3982,30	-20,0	2252,04
	EC-B	34	Johnson	0,976	0,998	1593,94	-30,0	1074,12
Secador	S-A	29	Johnson	0,990	0,994	1785,90	-5,0	1230,09
Granulador	G-A	26	Johnson	0,989	1,086	2055,91	-5,0	1461,90
Correia Transportadora	CT-B	24	Johnson	0,982	1,010	2399,41	-40,0	1629,29
Correia Transportadora	CT-C	41	Johnson	0,986	1,013	1287,32	0,0	896,58
Correia Transportadora	CT-E	16	Kaplan-Meier	0,959	1,523	2681,26	-350,0	1757,90

**Figura 18. Gráfico Distribuição Weibull - “Secador S-A”.**

Já o ativo “Correia Transportadora CT-E” foi o item de menor correlação dos dados, conforme evidenciado por apresentar um menor valor do coeficiente de determinação R^2 , empregando-se o método Kaplan-Meier, Eq. (14), para a quantificação da probabilidade $P(x)$. Porém, considerando que o valor obtido ainda é relativamente elevado, $R^2 = 0,959$; pode-se considerar que o modelo está bem aderente à realidade do comportamento de falhas apresentada por este ativo. O parâmetro de forma $\beta = 1,523$ indica um comportamento de desgaste ou “Velhice” do ativo, conforme referenciado pela curva da banheira

(Figura 5), evidenciado pela taxa crescente de falhas ao longo do tempo, conforme pode-se visualizar na Figura 19.

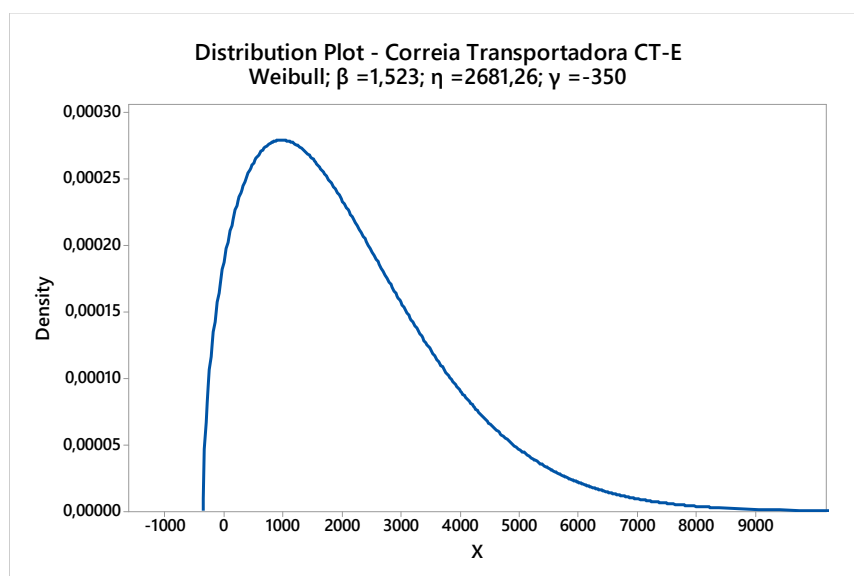


Figura 19. Gráfico Distribuição Weibull - “Correia Transportadora CT-E”.

4.2 Resultados Parâmetro Weibull “ $\gamma > 0$ ”

Os ativos que apresentaram resultados para o Parâmetro Weibull de vida inicial ou deslocamento $\gamma > 0$, foram: “Fornalha F-A”, “Correia Transportadora CT-A”, “Correia Transportadora CT-D” e “Exaustor EX-A”, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5. Resultados para “ $\gamma > 0$ ”.

Família de Ativos	TAG	Nº Dados	Método	R ²	β	η	γ	$x_{\text{méd}}(h)$ $P(x) 50\%$
Fornalha	F-A	25	Bernard	0,992	0,705	1779,54	100,0	1158,45
Correia Transportadora	CT-A	31	Bernard	0,995	0,872	1601,06	15,0	1066,57
Correia Transportadora	CT-D	34	Kaplan - Meier	0,987	1,044	882,06	5,0	625,89
Exaustor	EX-A	36	Johnson	0,961	0,494	1167,32	30,2	586,30

Analisando os resultados de forma geral, os ativos apresentaram uma quantidade razoável de amostras válidas, obteve-se uma maior correlação para um valor de $\gamma > 0$ indicando assim maior coerência com o ciclo de vida de ativos,

uma vez que ativo apresentou uma vida inicial antes da primeira falha para o período analisado. O ativo “Correia Transportadora CT-A” possui os dados com a maior correlação conforme coeficiente de determinação $R^2 = 0,995$, utilizando o método Bernard, Eq. (16), para quantificação da probabilidade $P(x)$, já o equipamento “Exaustor EX-A” apresenta a menor correlação com $R^2 = 0,961$ utilizando o método Johnson, Eq. (15), em comparação com os outros ativos que obtiveram um resultado de $\gamma > 0$. Em ambos os casos, os valores do coeficiente de correlação é considerado alto e indicativo de boa aderência dos dados ao modelo de Weibull empregado.

Porém o parâmetro de forma “ β ” que indica o comportamento da taxa de falhas para a maioria dos ativos analisados foi $\beta < 1$, levando a distribuição Weibull 3P, Eq. (4), assemelhar-se a uma curva exponencial com taxa de falhas decrescente, característica de ativo em início de operação ou “Mortalidade Infantil” conforme curva da banheira. Apenas o ativo “Correia Transportadora CT-D” obteve $\beta \approx 1$ o que indicou uma taxa de falhas um pouco mais constante ocasionado pela presença de falhas aleatórias ou comportamento de “Vida Útil”.

Analisando o parâmetro de escala “ η ” que indica a vida característica, observa-se que o equipamento “Exaustor EX-A” apresentou a menor longevidade para $\eta = 586,30$ horas e o ativo “Fornalha F-A” a maior longevidade para $\eta = 1779,54$ horas. As curvas de comportamento de vida dos ativos que apresentaram $\gamma > 0$ podem ser observadas nos gráficos da Figura 20 a Figura 23, construídas com base nestes resultados.

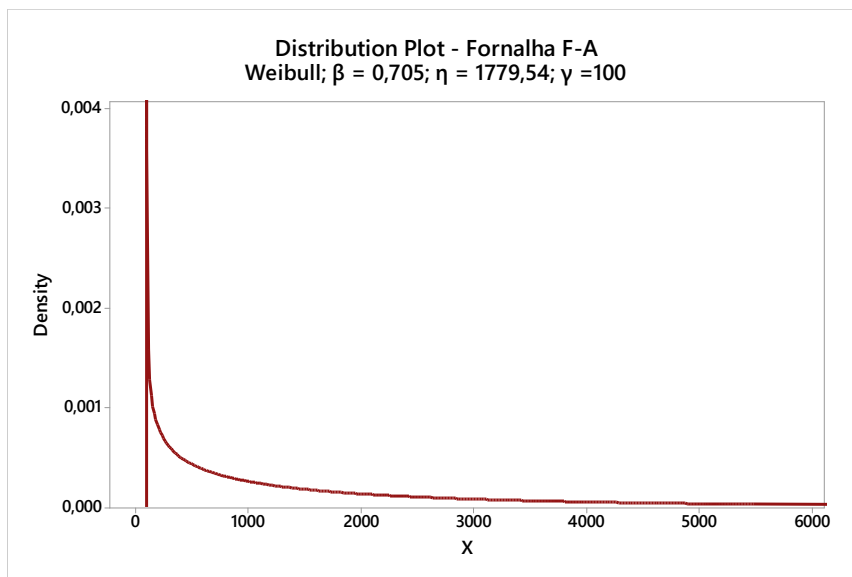


Figura 20. Gráfico Distribuição Weibull - “Forno F-A”.

Observa-se no gráfico da Figura 20 um comportamento de “Mortalidade Infantil” para a “Forno F-A” devido a distribuição Weibull se assemelhar a uma distribuição exponencial com uma taxa de falhas decrescente, ou seja, há uma concentração de falhas no início da coleta de dados do ativo que vai reduzindo ao longo do período analisado. O Parâmetro de longevidade apresentou uma vida característica de $\eta = 1.779,54$ horas enquanto que a vida média (50%) obtida pela a quantificação da probabilidade $P(x)$ foi de 1.158,45 horas.

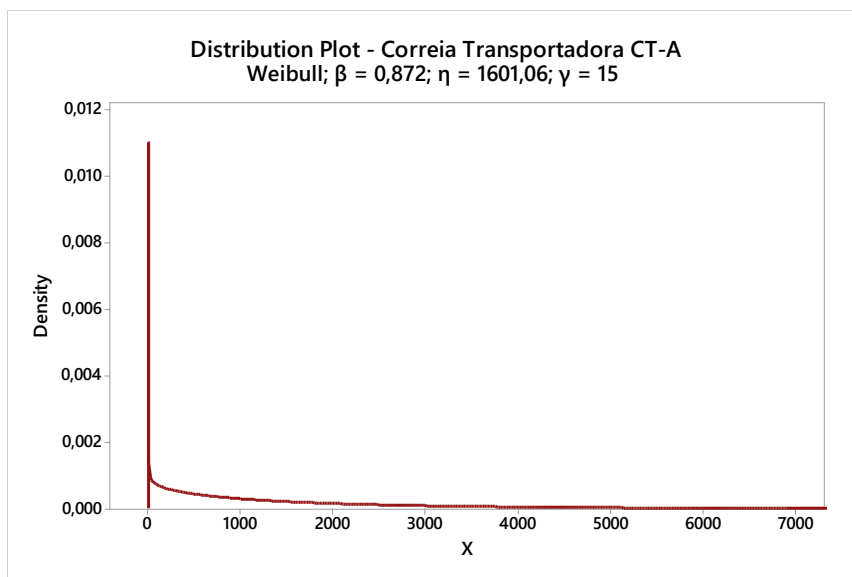


Figura 21. Gráfico Distribuição Weibull - “Correia Transportadora CT-A”.

O Gráfico da Figura 21 indica uma vida inicial para o parâmetro $\gamma = 15$ horas bem próximo a zero, porém uma longevidade alta com $\eta = 1601,06$ horas se comparada a dos outros ativos, como $\beta < 1$ a distribuição assemelha-se a uma distribuição exponencial com taxa de falha decrescente indicando um comportamento de vida de “Mortalidade Infantil”, com uma vida média $P(x)$ 50% = 1.066,57 horas.

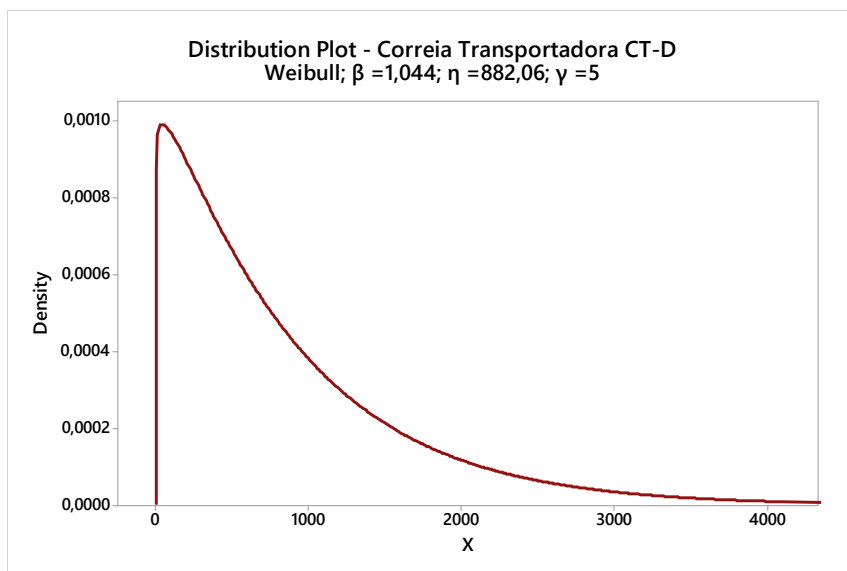


Figura 22. Gráfico Distribuição Weibull - “Correia Transportadora CT-D”.

O resultado apresentado pelo gráfico Figura 22, indica um comportamento de dados de vida da “Correia Transportadora CT-D” um pouco diferente dos demais ativos com $\gamma > 0$, a distribuição também assemelha-se a uma distribuição exponencial porém a inclinação ou forma apresentou uma curva mais suavizada ao longo do tempo. Como $\beta \approx 1$ indicou um comportamento de “Vida Útil” podendo ser ocasionado por falhas aleatórias. O parâmetro de longevidade foi definido por $\eta = 882,06$ horas apresentando uma vida média $P(x)$ 50% = 625,89 horas.

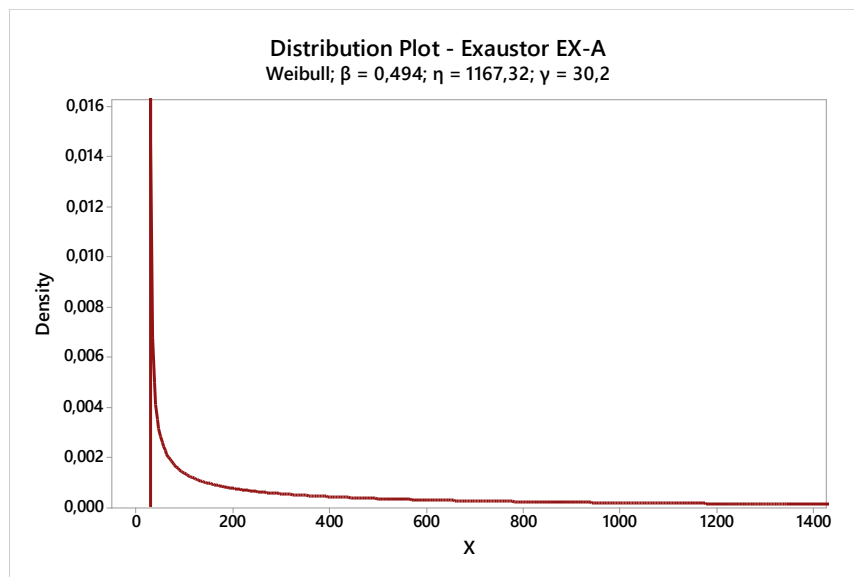


Figura 23. Gráfico Distribuição Weibull - “Exaustor EX-A”.

O “Exaustor EX-A” apresentou uma distribuição semelhante a exponencial com o menor valor para $\beta = 0,494$ dentre os ativos analisados conforme observa-se na Figura 23. Isto caracteriza um comportamento de “Mortalidade Infantil” para os dados analisados com uma taxa de falhas decrescente. O Parâmetro de longevidade foi $\eta = 1.167,32$ horas e a vida média $P(x) 50\% = 586,30$ a menor dentre os ativos desta análise.

4.3 Resultados Análises LPA2v

Dentre todos ativos que apresentaram o parâmetro Weibull para vida inicial $\gamma > 0$, optou-se pelo “Exaustor EX-A” para aplicação da análise LPA2v, uma vez que ele apresentou a menor correlação ($R^2 = 0,961$) e também por possuir uma coleta de dados automatizada com interface ao sistema PIMS® que faz o monitoramento e registro histórico de parâmetro operacionais, neste caso, Corrente Elétrica (A) e Vibração Mecânica (mm/s).

Tornou-se necessário limitar o período de análise, devido à grande quantidade de dados coletados pelo sistema PIMS® (maior valor medido por hora) e também por se tratar de um sistema implementado muito depois do início da coleta de dados por planilhas do Excel®, ou seja, foi necessário coincidir o período de tempo analisado para essas duas fontes. Assim sendo as análises para a determinação do comportamento dos dados de vida foram refeitas

limitando a coleta dos dados provenientes da planilha de Excel® e do Sistema PIMS® ao período de julho de 2017 a dezembro de 2017, o método aplicado foi idêntico ao das análises anteriores. Primeiramente foram definidos os coeficientes de determinação R^2 para as duas fontes de coleta dos dados e os resultados obtidos para o ajuste da reta podem ser visualizados conforme Figura 24 (a) e (b) a seguir:

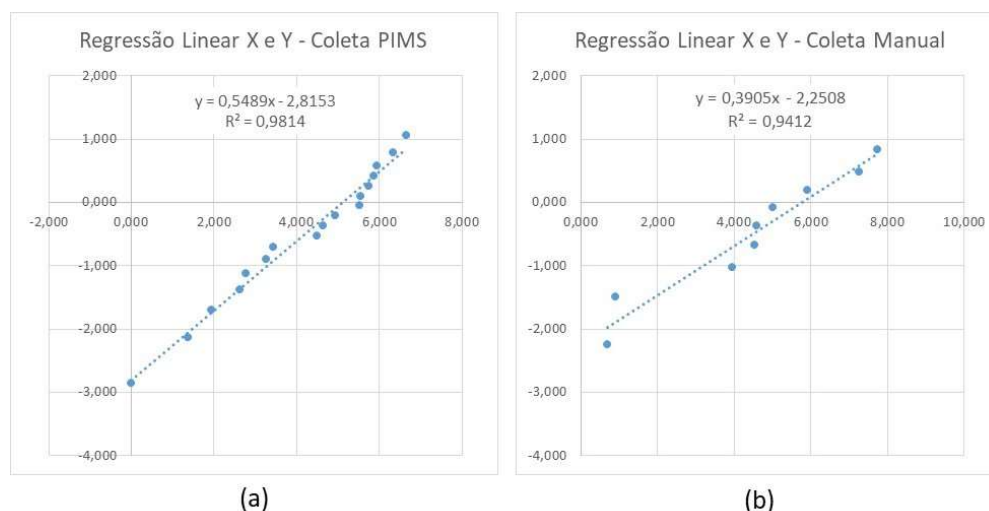


Figura 24. Gráfico de Regressão Linear (a) Coleta PIMS (b) Coleta Manual.

Observou-se nos resultados apresentados pela regressão linear das duas fontes de dados uma menor correlação dos dados coletados de forma manual que obteve um coeficiente de determinação $R^2 = 0,9412$ se comparado aos dados coletados pelo sistema PIMS que apresentou um $R^2 = 0,9814$. Com relação ao parâmetro de forma β os resultados foram similares, com a curva da distribuição Weibull assemelhando-se a distribuição exponencial. No gráfico da Figura 25 pode-se observar o comparativo dos resultados para os parâmetros da distribuição Weibull para as duas fontes de dados.

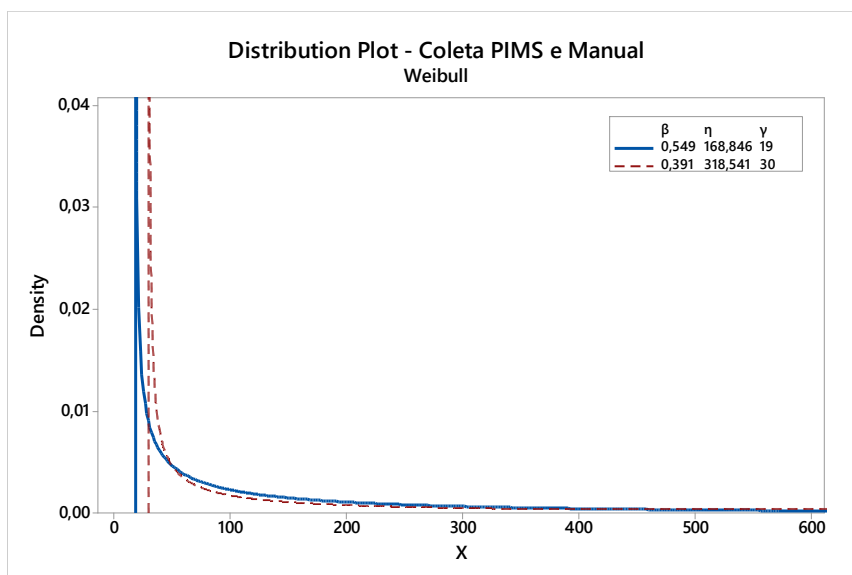


Figura 25. Gráfico de Distribuição Weibull Comparativo PIMS x Manual.

O comportamento descrito pelos dados das duas fontes representados no gráfico da Figura 25, foram característicos de ativos em início de vida útil ou “Mortalidade Infantil” devido a $\beta < 1$. No entanto, mesmo com as duas fontes apresentando um comportamento de vida semelhantes, pode-se constatar que os resultados indicaram uma menor dispersão para os dados coletados pelo sistema PIMS®, já que estes dados apresentaram um valor superior para parâmetro β se comparado ao β dos dados preenchidos manualmente.

Com base nestes resultados para a análise LPA2v considerou-se como Sistema Especialista 1 a base de dados obtida pelo PIMS e Sistema Especialista 2 a base de dados obtida pela planilha de Excel.

4.3.1 Determinação da P(x) Weibull para Sistemas Especialistas

No Quadro 6 a seguir é possível visualizar os Sistemas Especialistas definidos para a análise LPA levando-se em consideração a maior correlação dos dados, sendo determinada pelo valor do coeficiente de determinação R^2 e parâmetros Weibull calculados para as duas fontes de dados.

Quadro 6. Definição Fonte de Dados Análise LPA2v.

Sistema Especialista		R^2	β	η	γ
μ_1	Fonte de Dados PIMS	0,9814	0,549	168,846	19
μ_2	Fonte de Dados Manual	0,9412	0,391	318,541	30

Para que fosse viável fazer a análise LPA2v com a utilização de dois sistemas especialistas avaliando uma mesma condição, a base de tempo foi padronizada. O tempo inicial de 20 horas e final de 2.500 horas para as duas fontes de dados μ_1 e μ_2 , contemplando assim o menor tempo coletado foi de 20 horas pelo sistema especialista 1 e o maior 2.306 horas pelo sistema especialista 2, optou-se por esse período com o intuito de contemplar o menor e o maior tempo registrados pelas duas fontes de dados. A variação foi em intervalos de 124 horas definido pelo tamanho da amostra, $n = 20$, para o cálculo de probabilidade de falha $P(x)$, englobando assim a menor vida média dentre as duas fontes que foi de $\eta = 187,8$, sendo assim esse intervalo cobriu de forma satisfatória os Tempo para Falha obtidos pelas duas fontes de dados. No Quadro 7, pode-se visualizar a definição do intervalo de tempo padronizado para a análise LPA2v.

Quadro 7. Entrada de Parâmetros para Análise LPA2v.

	Esp. 1	Esp. 2	Significado
$\beta =$	0,549	0,391	Medida de Dispersão (Adimensional)
$\gamma =$	20,00	20,00	Vida inicial (horas)
$(\eta + \gamma) =$	187,8	348,5	Vida média (horas)
$\eta =$	167,8457	328,5406	Parâmetro de escala
Início =	20,00	20,00	Posição para início do estudo
Fim =	2500,00	2500,00	Posição final (horas))

Nos gráficos da Figura 26, representando as probabilidades de falha $P(x)$ ajustada para a base de tempo padronizada é possível visualizar uma grande aderência com a base de tempo real.

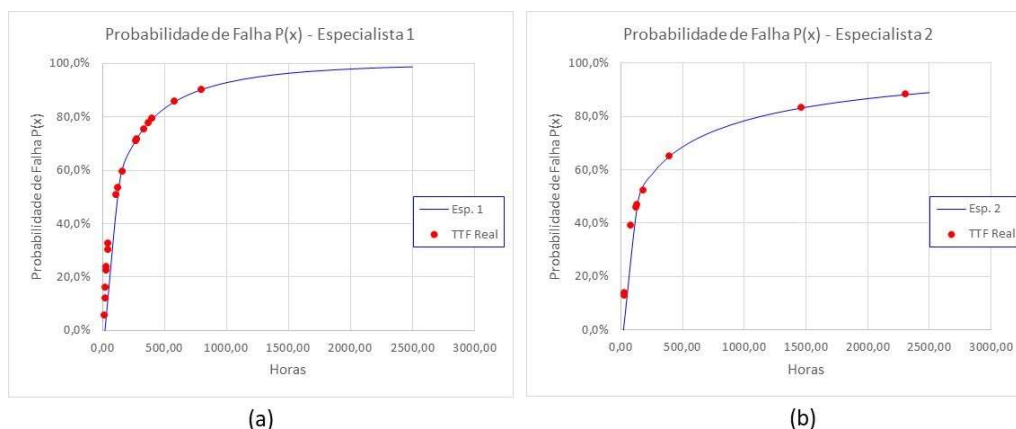


Figura 26. Gráfico de Probabilidade de Falha $P(x)$ - (a) Coleta PIMS (b) Coleta Manual.

Uma vez calculadas as probabilidade de falhas $P(x)$ para os dois sistemas especialistas, foram definidas as proposições $P(\mu, \lambda)$ seguindo o conceito de Grau de Crença na Falha = μ (Especialista 1) e Grau de Descrença na Falha $\lambda = 1 - \mu_2$ (Especialista 2). Determinadas as proposições foi possível calcular o Grau de Certeza " G_c " e o Grau de Contradição " G_{ct} ". No Quadro 8, a seguir pode-se observar a definição da proposições (μ e λ) e cálculo do G_c e G_{ct} para as amostras de probabilidade de falhas $P(x)$.

Quadro 8. Cálculo Grau de Certeza e Grau de Contradição para Análise LPA2v.

Especialista 1			Especialista 2				Reticulado Paraconsistente	
$\mu = \mu_1$			$\lambda = (1 - \mu_2)$				G Certeza	G contradição
x	P(x)	μ_1	x	P(x)	μ_2	$1 - \mu_2$	$G_c = \mu - \lambda$	$G_{ct} = \mu + \lambda - 1$
20,00	0,0%	0,0%	20,00	0,0%	0,0%	100,0%	-1,00	0,00
144,00	57,1%	57,1%	144,00	49,5%	49,5%	50,5%	0,07	0,08
268,00	71,0%	71,0%	268,00	59,2%	59,2%	40,8%	0,30	0,12
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
2252,00	98,4%	98,4%	2252,00	87,9%	87,9%	12,1%	0,86	0,10
2376,00	98,6%	98,6%	2376,00	88,4%	88,4%	11,6%	0,87	0,10
2500,00	98,8%	98,8%	2500,00	88,9%	88,9%	11,1%	0,88	0,10

Com o Grau de Certeza e Grau de Contradição calculados conforme probabilidade de falha $P(x)$ da proposição favorável μ e probabilidade de não falha $P(x)$ da proposição desfavorável λ , foi possível definir os pontos para a construção do gráfico reticulado LPA2v. O gráfico reticulado apresenta quatro estados lógicos extremos, sendo eles: F - Falso, V - Verdadeiro, T -

Inconsistente, $\perp$ - Paracompleto ou Indeterminado, dispostos nos vértices do reticulado. O Grau de Certeza está representado no eixo x (abscissa) pertence ao conjunto e Grau de Contradição no eixo y (ordenada), conforme observa-se na Figura 27.

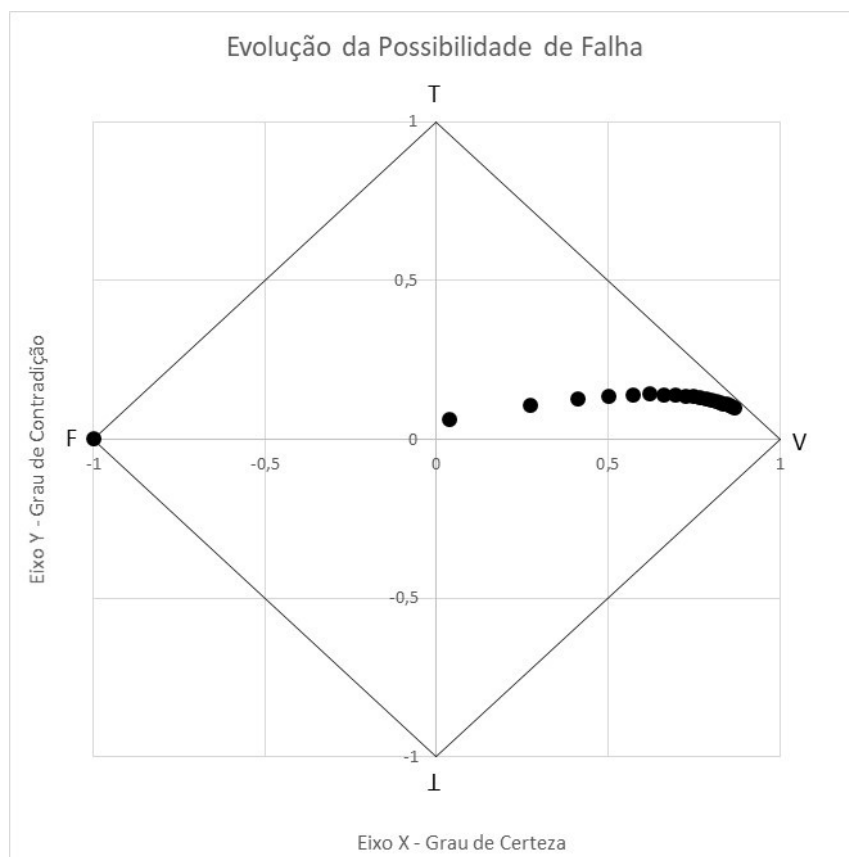


Figura 27. Gráfico de Reticulado 4 estados lógicos.

Foi aplicado o algoritmo Para – Analisador neste mesmo reticulado de quatro estados lógicos, no intuito de obter mais estados lógicos e assim poder definir mais precisamente o Grau de Certeza e Grau de Contradição resultantes dos pontos obtidos na análise paraconsistente. Portando os resultados obtidos pela lógica paraconsistente através da análise LPA2v demonstra um estado lógico “Falso” para um ponto definido por P (-1,0), o restante dos pontos estão localizados entre as coordenadas P (0,88; 0,15), sendo que três pontos estão na região chamada de $Q_v \rightarrow T \Rightarrow$ “Quase verdadeiro tendendo a Inconsistente” e todos os outros 16 pontos se encontram na região definida como $V \Rightarrow$ “Verdadeiro” no reticulado paraconsistente de 12 estados lógicos, conforme

pode-se observar a seguir no gráfico da Figura 28:

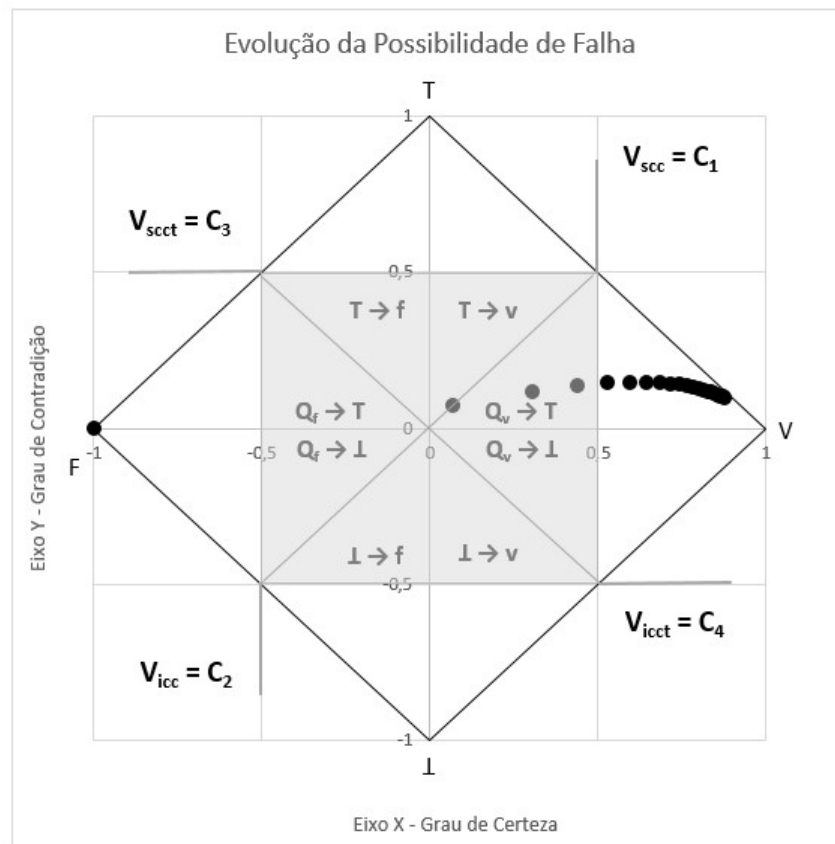


Figura 28. Gráfico de Reticulado Paraconsistentes 12 estados lógicos.

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da análise dos dados de vida dos ativos objeto de estudo deste trabalho, demonstram que o comportamento apresentado não condiz com a fase de vida dos ativos em questão, isto demonstra a possibilidade de uma coleta de dados deficiente ou a presença de “falhas crônicas” (falhas ocasionadas por um mesmo “modo de falha” em um curto período de tempo). Estas falhas crônicas podem ser ocasionadas, por falta de uma estratégia de manutenção e/ou operação eficiente, falta de investimento para ativos que já possuem um certo nível de depreciação ou ainda mão de obra operacional mal qualificada.

Analisando os resultados negativos para o parâmetro Weibull de vida inicial γ observa-se que este tipo de situação indica ativos no “tempo zero” com uma confiabilidade $C(x)$ menor do que 100%, neste caso esse “tempo zero” corresponde ao início de coleta de dados. Esta situação de $\gamma < 0$ pode ocorrer devido ao método de registro do tempo para falha, ou pode indicar algum modo de falha ocasionado por acidentes durante o transporte, problemas na fabricação e deficiência do projeto. A Figura 29, apresenta dois gráficos de Confiabilidade $C(x)$ dos ativos “Secador S-A” e “Correia Transportadora CT-E”, citados anteriormente neste trabalho (item 4.1) que representam o “tempo zero” com confiabilidade abaixo de 100% para ativos com parâmetro Weibull $\gamma < 0$.

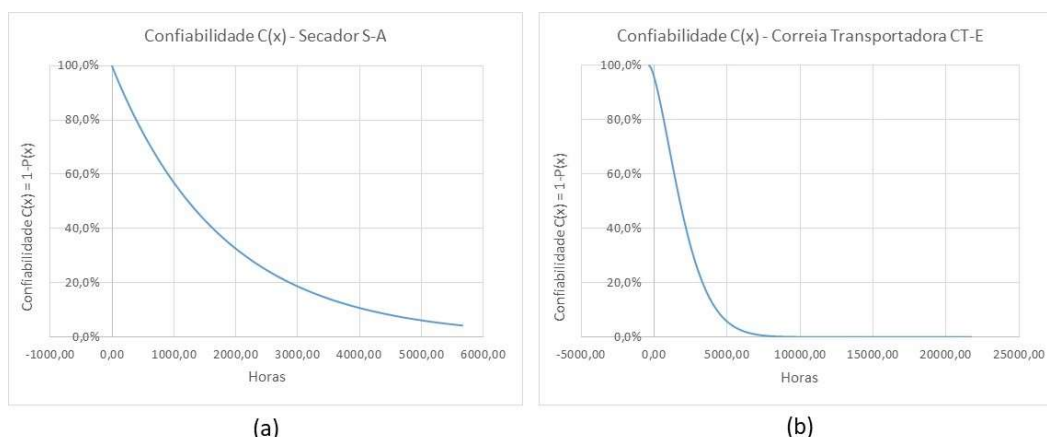


Figura 29. Gráfico Confiabilidade $C(x)$ para $\gamma < 0$ – (a) Secador S-A e (b) Correia Transportadora CT-E.

Comparando os resultados que exemplificaram o comportamento dos dados de vida dos ativos que apresentam o parâmetro Weibull $\gamma \leq 0$, conclui-se que quanto mais negativo for o valor de “ γ ” menor a correlação dos dados, ou seja, menor o valor para o coeficiente de determinação R^2 . Pode-se concluir também que nos dois casos analisados nos gráficos em que $\gamma \leq 0$, as distribuições Weibull assemelham-se a uma distribuição exponencial que ora apresenta um comportamento de taxa de falhas decrescente, ora um comportamento de taxa de falhas crescente (Figura 18 e Figura 19).

Sendo assim é coerente dizer que não há um padrão dos dados analisados para a determinação do comportamento de vida dos ativos pertencentes a um mesmo processo produtivo, uma vez que as condições operacionais dos ativos são distintas, por exemplo, uma Correia Transportadora é mais suscetível a falhas por desgaste do que um Secador devido a quantidade de itens deterioráveis ao longo do tempo ou ciclos para desempenhar a sua função. Contudo isto não determinaria um valor negativo para o parâmetro Weibull “ γ ”, a não ser a existência de falhas crônicas sem resolução definitiva no período analisado ou problemas com a base de dados utilizada.

Com relação aos resultados correspondentes ao parâmetro Weibull $\gamma > 0$, foram analisados quatro ativos, podendo-se observar que três destes ativos apresentaram um comportamento de “Mortalidade Infantil” com $\beta < 1$ e apenas “um” comportamento de “Vida Útil” $\beta \approx 1$. Sendo assim com um comportamento de Mortalidade Infantil, observa-se uma taxa de falhas decrescente, ou seja, alta concentração de falhas no início de coleta de dados que pode denotar a presença “falhas crônicas” nestes ativos ou no processo como um todo. Observando o gráfico da Figura 30, pode-se visualizar a situação descrita acima, destaca-se a taxa de falhas da “Correia Transportadora CT-D” que é razoavelmente constante e pode ser proveniente de falhas aleatórias, comportamento típico de “Vida Útil” do ativo.

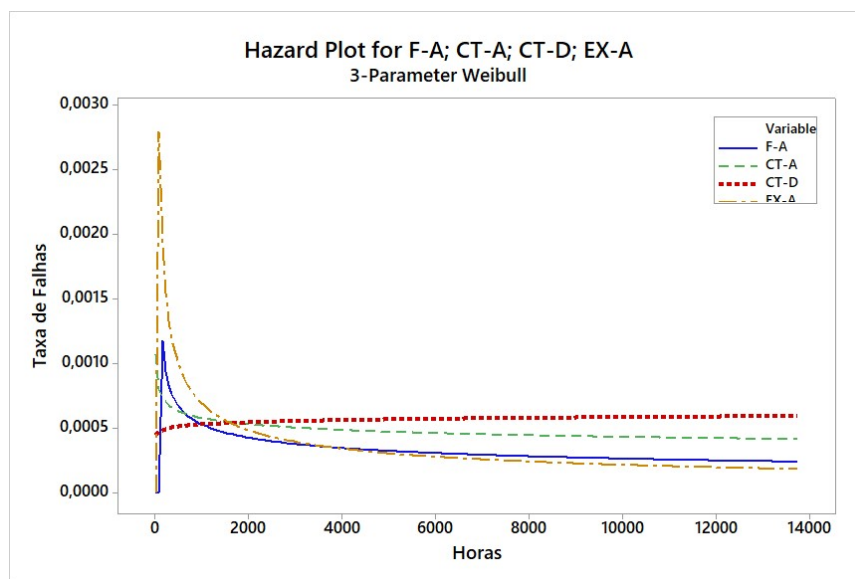


Figura 30. Gráfico Taxa de Falhas Ativos Parâmetro Weibull $\gamma > 0$.

Os resultados analisados para $\gamma > 0$ indicado pelos ativos: “Fornalha F-A”, “Correia Transportadora CT-A” e “Exaustor EX-A”, demonstram fortemente a possibilidade de presença de alguma falha crônica, durante o início da coleta de dados ou problemas com a base de dados, uma vez que não se trataram de ativos em início de operação quando foram iniciadas a rotina de registro de falhas. Como os dados são preenchidos manualmente sem um acompanhamento mais minucioso da qualidade e veracidade dos registros pode-se suspeitar da presença de contradições ou incertezas presentes na base de dados com a condição operacional real do ativo analisado.

Ficou evidente nas análises estatísticas realizadas através da utilização da quantificação da probabilidade $P(x)$ pela distribuição Weibull que os dados coletados manualmente para os ativos em questão apresentam inconsistências e não são totalmente confiáveis para uma tomada de decisão mais assertiva. Assim sendo torna-se interessante a aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com Dois Valores LPA2v com o intuito de se considerar duas fontes distintas, neste caso a coleta de dados feita manualmente através da planilha operacional e a coleta de parâmetros de controle pelo sistema automatizado PIMS®.

Aplicando a análise de lógica paraconsistente para o ativo “Exaustor EX-A”,

levando-se em consideração as duas fontes de coletas de dados com os Tempos para Falha na mesma base de tempo, observa-se os seguintes estados lógicos: um ponto “Falso” e apenas três pontos “Quase-Verdadeiro tendendo a Inconsistente” no Reticulado Paraconsistente de 12 estados lógicos (Figura 28), isto pode ser ocasionado por alguma falha durante a coleta de dados manual, por apresentar maior dispersão dos dados analisados, porém nota-se que a grande maioria dos pontos obtidos com o Grau de Crença μ e o Grau de Descrença λ estão dispostos na região denominada como “Verdadeiro” pelo algoritmo para-analisador.

Como a característica dos dados de vida dos ativos apresentaram comportamentos semelhantes na maioria dos casos, com característica de “Mortalidade Infantil” a utilização do “Exaustor EX-A” para a análise utilizando a LPA2v, se obteve um resultado que poderia ter sido similar para todos outros ativos, não comprometendo o objetivo final desta análise que foi levantar os níveis de contradição ou inconsistências quando se adota duas fontes distintas para obtenção dos “Tempos para Falha” para um mesmo ativo.

Portanto, mesmo se tratando de fontes de dados diferentes pode-se observar que os dados coletados de forma automatizada pelo sistema PIMS® apresenta um comportamento similar aos dados preenchidos de forma manual pela equipe de operação da planta. Isto demonstra uma grande possibilidade de que o ativo apresentou “Falhas Crônicas” no período estipulado para a análise LPA2v e que certamente houveram alguns problemas com a coleta de dados manual, outro fato que corrobora para este resultado é o fato de que se trata de uma planta obsoleta e sem uma estratégia de manutenção preventiva definida, contando apenas com manutenções corretivas emergências.

Levando-se em consideração os valores obtidos do parâmetro Weibull β e do coeficiente de determinação R^2 para as duas fontes de dados, pode-se afirmar que os instrumentos de medição automatizados possuem menos inconsistências ou ruídos do que a rotina e coleta de dados manual, pois apresentaram menor dispersão e maior correlação dos dados analisados.

6 CONCLUSÕES

A gestão de ativos tem se tornado cada vez mais essencial na busca pela eficiência operacional de processos por meio do monitoramento e controle de dados operacionais e parâmetros de medição dos ativos instalados em plantas industriais, porém para que esse trabalho seja efetivo é necessário a obtenção de dados cada vez mais confiáveis, além de contar com fonte distintas para uma maior assertividade na tomada de decisão.

Pelos resultados obtidos a partir das análises Weibull de comportamento dos dados vida dos ativos analisados, observou-se uma grande dispersão dos dados, indicado por $\beta < 1$, definindo um comportamento de vida incoerente com o tempo em que estes ativos estão em operação, o que pode estar relacionado a um problema sistêmico com relação as condições operacionais dos ativos, bem como a coleta de dados deficiente. Isto foi constatado, já que dos 11 ativos analisados 7 apresentaram um valor para o parâmetro Weibull de vida inicial γ menor ou igual a zero e dos quatro ativos que apresentaram γ maior que zero, três deles indicaram um comportamento de vida “Mortalidade Infantil” e apenas um apresentou um comportamento de “Vida Útil” mais coerente com a realidade.

A análise utilizando a Lógica Paraconsistente LPA2v para o “Exaustor EX-A”, considerando duas fontes de dados, automatizada e manual, foi de grande auxílio para se verificar a autenticidade das informações e o nível de “Contradições” encontradas quando se analisa dados que possuem baixa correlação ou menor dispersão. Observou-se que as duas fontes apresentaram comportamentos de vida iguais “Mortalidade Infantil”, porém a fonte de dados do PIMS® demonstrou uma menor dispersão das amostras (maior valor de β) e maior correlação com R^2 mais próximo de “um”, sendo considerada como o Sistema Especialista 1 para análise LPA2v.

Dessa forma, após realizada a análise LPA2v, concluiu-se que o nível de contradição das amostras analisadas ($n=20$) para o “Exaustor EX-A” é baixo, uma vez que apenas um dos pontos obtidos pelas proposições (μ , λ) foi designado para a região que determina o estado lógico “Falso”, enquanto que todos os outros pontos foram designados na região do estado lógico, “Verdadeiro” (16 amostras) e “Quase Verdadeiro tendendo a Inconsistente” (3

amostras).

A aplicação de ferramentas estatísticas juntamente com a lógica paraconsistente já foi abordada em trabalhos anteriores e os seus resultados vem se mostrando com um alto nível de aderência. Sendo assim pode-se levar em consideração a aplicação destes dois métodos em análises que envolvem dados de vida e parâmetros de controle de ativos, processos e plantas industriais para que haja um saneamento e conseqüentemente maior confiabilidade das informações obtidas através de instrumentação eletrônica e/ou por intervenção humana de forma manual.

6.1 Trabalhos futuros

Pelos resultados obtidos por este trabalho observa-se que a aplicação em conjunto de ferramentas de Engenharia de Confiabilidade e Lógica Paraconsistente pode ser replicada a estudos e trabalhos que visam análises mais minuciosas de dados e parâmetros de medição para assegurar uma maior coerência nas tomadas de decisão que fazem parte da rotina de plantas industriais e estudos acadêmicos. Estas análises mais minuciosas se tornam possíveis quando se dispõe de métodos comprovadamente eficazes no tratamento de dados obtendo assim informações mais fidedignas para uma melhor avaliação das condições gerais para um determinado ativo ou objeto de estudo.

Vislumbrando plantas industriais mais automatizadas com uma quantidade suficiente de instrumentação para coletar, medir e controlar parâmetros essenciais para a operação de ativos, pode-se propor trabalhos em conjunto de análises estatísticas e de lógica paraconsistente para a interface de informações ou bases de dados obtidas a partir de diferentes fontes ou até mesmo coletas redundantes, em processos que dispõe de instrumentos automatizados de fabricantes, tecnologia, em pontos de medição e nível de precisão diferentes.

A medida que a aplicação destas técnicas evoluir e for criando uma cultura de maturidade no tratamento de dados de diversas fontes de informação, torna-se viável também a tomada de decisão automatizada em condições que preveem a presença de inconsistências ou contradições quando se avalia dados provenientes de diferentes fontes, instrumentos de medição, etc.

REFERÊNCIAS

ABE, J., M.; “Tomadas de decisão com ferramentas da lógica paraconsistente anotada”. São Paulo: Blucher, 2011b.

ABNT NBR ISO 55000:2014; “Gestão de ativos, visão geral, princípios e terminologia”. 23p. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2014.

ABNT NBR ISO 55001:2014; “Gestão de ativos, Sistema de Gestão, Diretrizes para Aplicação”. 16p. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2014.

ABNT NBR ISO 55002:2014; “Gestão de ativos, sistema de gestão, requisitos”. 38p. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2014.

ABNT NBR 05462 – Confiabilidade e Manutenibilidade. 37p. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1994.

ATECH GRUPO EMBRAER. “Gestão de Ativos”. P.1. Disponível em <https://www.atech.com.br/blog/gestao-de-ativos/automatizacao-na-manutencao-conheca-as-principais-tendencias/>. Acesso em março de 2019.

CROWE, D.; FEINBERG, A.; “*A Design for Reliability*” – Ed. Taylor & Francis Group – Boca Raton, FL: CRC Press, 256p. 2001.

D’OTTAVIANO, I. M. L.; FEITOSA, H. A.; “Sobre a História da Lógica, a Lógica Clássica e o Surgimento das Lógicas Não-Clássicas” – Versão alterada do mini curso ministrado no “V Seminário Nacional de História da Matemática, UNESP. 34p, Rio Claro, SP, 2003.

DA COSTA, N. C. A. Sistemas formais inconsistentes (Tese), Universidade Federal do Paraná, Brasil, 1963.

DA COSTA, N. C. A. ; “*Calculs propositionnels pour les systèmes formels inconsistentes*”. *Comptes rendus de l’Académie de Sciences de Paris*, v. 257, p. 3790-3793. 1963a.

DA COSTA, N. C. A.; ABE, J. M.; DA SILVA FILHO, J. I.; MUROLO, A. C.; LEITE, C. F. S.; “Lógica Paraconsistente Aplicada”. Ed. Atlas S.A., 1ª edição, 214p. São Paulo, SP, 1999.

DA ROCHA, D. A. P; MORAIS, W. A. “Gestão de Ativos Aplicando Métodos para Saneamento de Dados”. In: 73º Congresso Anual da ABM, *ABM Proceedings*. Editora *Blucher*, v. 73. p. 3312-3324, São Paulo, SP, 2018a.

DA ROCHA, D.A.P.; MORAIS, W.A.; “Gestão de Ativos Aplicando Métodos Paraconsistentes para Saneamento de Dados”. *SELEÇÃO DOCUMENTAL*, N50, Ano 13, p. 3-12, 2018b.

DA ROCHA, D.A.P.; MORAIS, W.A.; “Análise dos Dados de Vida para Ativos Industriais Utilizando Distribuição Weibull 3P”. A ser submetido, 2019.

DA SILVA FILHO, J. I., ABE, J. M., TORRES, G. L.; “Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes”. Editora LTC, 1ª edição, 313 p. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

DA SILVA FILHO, J. I., ABE, J. M.; “Fundamentos das redes neurais artificiais paraconsistente”. São Paulo: Editora Arte & Ciência, 188p. 2000.

DA SILVA FILHO, J. I.; “Análises de Sinais de Informações em Lógica Paraconsistente Anotada”. Revista Seleção Documental, n.14 ano 4 p.22-p. 26, 2009.

DA SILVA FILHO, J. I.; “Implementação de Circuitos Lógicos Fundamentos em uma Classe de Lógicas Paraconsistentes Anotadas”. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 131p. São Paulo, SP, 2018.

DA SILVA FILHO, J. I.; “Introdução ao conceito de estado Lógico Paraconsistente”. Revista Seleção Documental, n.17 - ano 5 p.20-p. 24, 2010.

DA SILVA FILHO, J. I.; “Lógica Paraconsistente e Probabilidade Pragmática no Tratamento de Incerteza”. Revista Seleção Documental, n.9 ano 3 p.16-p.19, 2008.

DA SILVA FILHO, J. I.; “Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v”. Revista Seleção Documental, n.1 ano 1 p.18-p. 25, 2006.

DA SILVA, J.L.H. “Análise de falhas em elementos mecânicos: aplicação de métodos fiabilísticos”. Dissertação (Doutorado) - Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia 160 p. - Porto, Portugal, 2016.

DHILON, B. S.; “*Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*” – Ed. Taylor & Francis Group – Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 221p. 2006.

DIAS, Acires. “Confiabilidade na Manutenção Industrial”. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, 19p. Florianópolis, SC, 2009.

ELSAYED, E. A.; “*Reliability Engineering*”. Massachusetts: Addison Wesley, 737p. 1996.

FOGLIATTO, F. S.: “Confiabilidade e Manutenção Industrial” – Ed. Flávio Sanson Fogliatto e José Luís Ribeiro Duarte – Rio de Janeiro: Elsevier, 265p. 2009.

GUZZON, S. O.; “Proposta de Análise de Confiabilidade a partir de Dados Qualitativos Provenientes de FMEA”. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 103p. - Porto Alegre, RS, 2009.

ICA “INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION” - *Latin America*. “Asset Management - Application Guide for ISO 55.000” - Chile, 2015.

KARDEC, A. K., NASCIF, J. – “Manutenção Função Estratégica” – Rio de Janeiro: Qualitymark Petrobrás, 368p. 2001.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; LAFRAIA, J.R.; ESMERALDO, J.; “Gestão de Ativos”. Rio de Janeiro. Ed. Qualitymark. 376p. 2014.

LAFRAIA, J. R. B.; “Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade”. Rio de Janeiro. Ed. Qualitymark. Petrobras. 388p. 2001.

LEEMIS, L. *Reliability: probabilistic models and statistical methods*. Nova York: Prentice-Hall, 384p. 1995.

LEMES, D. V.; “Proposta de Método de análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos Empregando Dados de Retorno em Garantia”. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. 149p. – São Paulo, SP, 2006.

MINITAB. “Minitab Inc.”. Versão 18. Disponível em: <http://http://www.minitab.com/en-us/products/minitab/>. Acesso em fevereiro de 2019.

MOUBRAY, J.; “RCM II - *Reliability – Centered Maintenance*”. *Second edition*, New York: Industrial Press Inc, 440p.1997.

MOYANO; L. D. L.; REBELATO; B. L. e B.; “Gestão de Ativos Empregando Análise de Confiabilidade Estatística de Weibull e Aplicação para a Manutenção Otimizada de uma Correia Transportadora”. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Santa Cecília. Orientador: Willy Ank de Moraes.

NETO, M. C. L.; VENSON, N.; “Lógica Paraconsistente”. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Informática e Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina. 6p. Santa Catarina, Brasil, 2002.

NETO, T. C. M.; “Aplicação da Análise do Custo do Ciclo de Vida em uma Indústria de Mineração com base na Gestão de Ativos”. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia. 116p. Salvador, BA, 2018.

OFFICE. “Microsoft Office Professional Plus 2013”. Versão 15.0.5101.1002 (32bits). Disponível em <https://www.microsoft.com/pt-br/download/office.aspx>.

PEREIRA, A. J. C.; “Análise do Custo do Ciclo de Vida da ETA Queimadela” Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto. 101p. Porto, Portugal, 2009.

RELIABILITY HOT WIRE, “Conceitos da Confiabilidade: Características da Distribuição Weibull”, Reliasoft Brasil. Ed: 3, maio de 2005, www.reliasoft.com.br. 2005.

RELIASOFT CORPORATION, “Engenharia de Confiabilidade”, www.reliasoft.com.br, 2001.

RELIASOFT CORPORATION, “RS575: Apostila “Introdução aos Conceitos da Confiabilidade”, AZ, versão: 1.0. www.reliasoft.com.br. 2005.

RELIASOFT CORPORATION; “Gestão de Ativos Suportada pela Engenharia da Confiabilidade”, www.reliasoft.com.br, 2010.

RINNE, H.; “*The Weibull Distribution Handbook*” – Ed. Taylor & Francis Group – Giessen, Germany: Justus-Liebig-University, 808p. 2008.

RODRIGUES, K. P. “Estudo de Confiabilidade do sistema de Viradores de Vagões do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – CVRD”. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Mecânica – Universidade Estadual do Maranhão. 112p. – São Luís, MA, 2006.

SIMONETTI, M. J.; SOUZA, A.L.; SILVEIRA, L. F. S.; ARRUDA, J. P. S.,” A Importância da Engenharia da Confiabilidade e os Conceitos Básicos de Distribuição de Weibull”; Revista Sapere; VOL. 1, Nº 1 – julho a dezembro/2009.

SOUZA, V. S.; “Mineração de Dados de Padrões Climáticos Sazonais Usando a Lógica Paraconsistente”. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Computação Aplicada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. 83p. São José dos Campos, SP, 2009.

TAVARES, F. G. “Análise Comparativa Para Determinar a Resistência Mecânica a Flexão de Materiais Cerâmicos Utilizando Distribuição de Weibull E Lógica Paraconsistente Anotada Dois Valores”. Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília. 76 p. - Santos, SP, 2015.

WILEY JOHN & SONS, INC PUBLICATION; “*Case Studies in Reliability and Maintenance*” – Ed. Wallace R. Blischke and D. N. Prabhakar Murthy - New Jersey, NY: Wiley Interscience, 691p. 2003.

WILKINS, D. J.; “*The bathtub curve and product failure behavior – part one: the bathtub curve, infant mortality and burn-in*. Reliability HotWire”. Tucson, v.21, nov.2002a.

WILKINS, D. J.; “*The bathtub curve and product failure behavior – part two: the bathtub curve, normal life and wear-out*. Reliability HotWire”. Tucson, v.22, dez.2002b.

APÊNDICE A - Planilhas Operacionais do Processo de Granulação.

A seguir foram disponibilizadas as planilhas operacionais, originadas pela área responsável pela produção de Fertilizantes Granulados. Essas planilhas são preenchidas pelos próprios operadores da planta, somente quando há algum evento que provoque a parada total da produção. Para as análises realizadas no presente trabalho foram filtradas apenas as paradas por “Manutenção Corretiva” e determinados os Tempo para Falha “TPF” conforme ocorrências de eventos no período determinado.

Elevador de Canecas EC-A

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
22/01/2012	0:45	22/1/12 0:45	0:00	23/1/12 21:00	44,25	504,75	Elevador
15/02/2012	17:00	15/2/12 17:00	20:00	15/2/12 20:00	3,00	548,00	Elevador
25/03/2012	9:30	25/3/12 9:30	10:30	25/3/12 10:30	1,00	925,50	Elevador
10/06/2012	23:15	10/6/12 23:15	0:00	11/6/12 6:30	7,25	1860,75	Elevador
03/08/2012	1:20	3/8/12 1:20	3:00	3/8/12 3:00	1,67	1266,83	Elevador
29/09/2012	23:30	29/9/12 23:30	0:00	30/9/12 2:00	2,50	1388,50	Elevador
01/10/2012	10:00	1/10/12 10:00	15:00	1/10/12 15:00	5,00	32,00	Elevador
30/10/2012	23:00	30/10/12 23:00	0:00	31/10/12 2:30	3,50	704,00	Elevador
23/11/2012	17:00	23/11/12 17:00	23:00	23/11/12 23:00	6,00	566,50	Elevador
30/01/2013	0:30	30/1/13 0:30	16:00	30/1/13 16:00	15,50	1609,50	Elevador
28/05/2013	13:00	28/5/13 13:00	16:30	28/5/13 16:30	3,50	2829,00	Elevador
04/10/2013	9:30	4/10/13 9:30	11:00	4/10/13 11:00	1,50	3089,00	Elevador
10/02/2014	14:30	10/2/14 14:30	0:00	11/2/14 19:00	28,50	3099,50	Elevador
16/02/2014	18:30	16/2/14 18:30	22:30	10/3/14 18:30	38,92	119,50	Elevador
19/12/2014	11:30	19/12/14 11:30	19:00	19/12/14 19:00	7,50	6809,00	Elevador
12/01/2015	13:00	12/1/15 13:00	19:30	12/1/15 19:30	6,50	570,00	Elevador
20/03/2015	2:00	20/3/15 2:00	18:00	20/3/15 18:00	16,00	1590,50	Elevador
11/08/2015	15:15	11/8/15 15:15	19:30	11/8/15 19:30	4,25	3453,25	Elevador
10/09/2015	13:00	10/9/15 13:00	17:00	10/9/15 17:00	4,00	713,50	Elevador
04/10/2015	23:50	4/10/15 23:50	0:00	5/10/15 4:30	4,67	582,83	Elevador
22/11/2015	2:00	22/11/15 2:00	13:00	22/11/15 13:00	11,00	1149,50	Elevador
28/12/2015	12:00	28/12/15 12:00	18:30	22/1/16 12:00	71,83	863,00	Elevador
14/04/16	10:30	14/4/16 10:30	14:30	14/4/16 14:30	4,00	1990,50	Elevador
05/08/16	4:00	5/8/16 4:00	11:30	5/8/16 11:30	7,50	2701,50	Elevador
05/02/17	11:00	5/2/17 11:00	16:00	5/2/17 16:30	5,50	4415,50	Elevador
06/04/17	9:30	6/4/17 9:30	10:00	6/4/17 10:00	0,50	1433,00	Elevador
02/06/17	0:00	2/6/17 0:00	3:00	2/6/17 17:30	5,50	1358,00	Elevador
20/06/17	10:00	20/6/17 10:00	15:00	20/6/17 15:00	5,00	424,50	Elevador
26/06/17	15:30	26/6/17 15:30	20:00	26/6/17 20:00	4,50	144,50	Elevador
31/07/17	1:40	31/7/17 1:40	3:30	31/7/17 3:30	1,83	821,67	Elevador
24/08/17	11:30	24/8/17 11:30	0:00	25/8/17 7:45	20,25	584,00	Elevador
28/08/17	14:50	28/8/17 14:50	20:30	28/8/17 20:30	5,67	79,08	Elevador
31/08/17	4:00	31/8/17 4:00	5:25	31/8/17 5:25	1,42	55,50	Elevador
19/11/17	10:30	19/11/17 10:30	19:15	21/11/17 4:00	18,08	1925,08	Elevador

Elevador de Canecas EC-B

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
29/02/2012	13:00	29/2/12 13:00	16:00	29/2/12 16:00	3,00	1429,00	Elevador
07/05/2012	12:15	7/5/12 12:15	14:15	7/5/12 14:15	2,00	1628,25	Elevador
12/11/2012	23:15	12/11/12 23:15	0:00	13/11/12 19:30	20,20	4545,00	Elevador
19/11/2012	11:30	19/11/12 11:30	15:30	19/11/12 15:30	4,00	136,00	Elevador
09/02/2015	3:00	9/2/15 3:00	17:30	9/2/15 17:30	14,50	19475,50	Elevador
13/02/2015	16:00	13/2/15 16:00	18:30	13/2/15 18:30	2,50	94,50	Elevador
19/05/2015	10:30	19/5/15 10:30	12:30	19/5/15 12:30	2,00	2272,00	Elevador
04/03/16	10:30	4/3/16 10:30	13:30	4/3/16 13:30	3,00	6958,00	Elevador
08/06/16	17:45	8/6/16 17:45	22:30	8/6/16 22:30	4,75	2308,25	Elevador
03/08/17	7:00	3/8/17 7:00	15:00	3/8/17 15:00	8,00	10088,50	Elevador
29/08/17	7:50	29/8/17 7:50	23:59	30/8/17 0:45	16,90	616,83	Elevador
07/11/17	2:55	7/11/17 2:55	12:50	7/11/17 12:50	9,92	1658,17	Elevador

Fornalha F-A

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TTF (h')	Equipamento
20/07/2012	15:00	20/7/12 15:00	16:00	20/7/12 16:00	1,00	4839,00	Fornalha
25/09/2012	13:30	25/9/12 13:30	14:00	25/9/12 14:00	0,50	1605,50	Fornalha
01/02/2013	18:30	1/2/13 18:30	0:00	2/2/13 2:00	7,50	3100,50	Fornalha
21/02/2013	13:00	21/2/13 13:00	14:30	21/2/13 14:30	1,50	467,00	Fornalha
26/03/2013	0:00	26/3/13 0:00	4:45	26/3/13 4:45	4,75	777,50	Fornalha
31/03/2013	17:30	31/3/13 17:30	18:45	31/3/13 18:45	1,25	132,75	Fornalha
11/04/2013	3:00	11/4/13 3:00	6:30	11/4/13 6:30	3,50	248,25	Fornalha
09/05/2013	19:00	9/5/13 19:00	0:00	10/5/13 3:30	8,50	684,50	Fornalha
26/05/2013	23:00	26/5/13 23:00	0:00	27/5/13 1:30	2,50	403,50	Fornalha
31/05/2013	18:00	31/5/13 18:00	19:42	31/5/13 19:42	1,70	112,50	Fornalha
09/06/2013	11:30	9/6/13 11:30	14:00	9/6/13 14:00	2,50	207,80	Fornalha
17/06/2013	12:00	17/6/13 12:00	0:00	18/6/13 6:15	18,25	190,00	Fornalha
11/07/2013	16:00	11/7/13 16:00	0:00	22/7/13 1:30	249,50	561,75	Fornalha
18/01/2014	3:30	18/1/14 3:30	0:00	18/1/14 0:00	20,50	4322,00	Fornalha
15/03/2014	16:00	15/3/14 16:00	19:30	16/3/14 20:40	19,67	1360,00	Fornalha
07/05/2014	10:15	7/5/14 10:15	12:00	7/5/14 12:00	1,75	1237,58	Fornalha
22/09/2014	0:00	22/9/14 0:00	0:00	24/9/14 21:30	69,50	3300,00	Fornalha
19/05/2015	12:30	19/5/15 12:30	14:50	19/5/15 14:50	2,33	5679,00	Fornalha
16/07/2015	3:30	16/7/15 3:30	0:00	22/7/15 5:00	120,50	1380,67	Fornalha
21/08/2015	20:00	21/8/15 20:00	0:00	25/8/15 15:30	91,50	735,00	Fornalha
08/09/16	4:00	8/9/16 4:00	5:45	8/9/16 5:45	1,75	9108,50	Fornalha
16/12/16	17:10	16/12/16 17:10	18:10	16/12/16 18:10	1,00	2387,42	Fornalha
03/05/17	4:15	3/5/17 4:15	6:30	3/5/17 6:30	2,25	3298,08	Fornalha
06/11/17	16:45	6/11/17 16:45	18:00	6/11/17 18:00	1,25	4498,25	Fornalha
21/12/17	4:00	21/12/17 4:00	5:15	21/12/17 5:15	1,25	1066,00	Fornalha

Secador S-A

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
17/01/2012	16:00	17/1/12 16:00	18:30	17/1/12 18:30	2,50	400,00	Secador
27/05/2012	9:30	27/5/12 9:30	12:00	27/5/12 12:00	2,50	3135,00	Secador
18/01/2013	11:30	18/1/13 11:30	12:30	18/1/13 12:30	1,00	5663,50	Secador
13/05/2013	16:00	13/5/13 16:00	0:00	14/5/13 5:00	13,00	2763,50	Secador
23/09/2013	19:00	23/9/13 19:00	0:00	25/9/13 10:30	39,50	3182,00	Secador
05/11/2013	18:15	5/11/13 18:15	0:00	10/11/13 18:30	57,25	991,75	Secador
12/03/2014	22:45	12/3/14 22:45	0:00	13/3/14 8:00	9,25	2932,25	Secador
17/04/2014	12:30	17/4/14 12:30	15:15	17/4/14 15:15	2,75	844,50	Secador
24/05/2014	9:00	24/5/14 9:00	13:00	24/5/14 13:00	4,00	881,75	Secador
24/08/2014	16:00	24/8/14 16:00	20:50	24/8/14 20:50	4,83	2211,00	Secador
12/12/2014	14:30	12/12/14 14:30	16:00	12/12/14 16:00	1,50	2633,67	Secador
28/12/2014	9:30	28/12/14 9:30	16:00	15/2/15 15:30	25,50	377,50	Secador
13/04/2015	13:00	13/4/15 13:00	15:45	13/4/15 15:45	2,75	1365,50	Secador
07/05/2015	15:00	7/5/15 15:00	16:00	8/5/15 22:00	12,50	575,25	Secador
21/07/2015	0:00	21/7/15 0:00	22:30	21/7/15 22:30	22,50	1754,00	Secador
24/07/2015	10:00	24/7/15 10:00	16:30	24/7/15 16:30	6,50	59,50	Secador
27/08/2015	14:00	27/8/15 14:00	15:00	27/8/15 15:00	1,00	813,50	Secador
02/09/2015	17:00	2/9/15 17:00	0:00	4/9/15 17:00	43,00	146,00	Secador
19/09/2015	15:45	19/9/15 15:45	0:00	19/9/15 0:00	8,25	358,75	Secador
11/12/2015	13:50	11/12/15 13:50	16:00	11/12/15 17:45	3,92	2005,83	Secador
05/02/16	14:30	5/2/16 14:30	23:00	5/2/16 23:00	8,50	1340,75	Secador
13/04/16	0:30	13/4/16 0:30	5:30	13/4/16 5:30	5,00	1609,50	Secador
18/04/16	14:00	18/4/16 14:00	16:00	18/4/16 16:30	2,50	128,50	Secador
26/04/16	20:30	26/4/16 20:30	22:30	26/4/16 22:30	2,00	196,00	Secador
10/11/16	15:10	10/11/16 15:10	15:40	11/11/16 22:00	9,50	4744,67	Secador
06/12/16	22:30	6/12/16 22:30	0:00	7/12/16 11:30	13,00	600,50	Secador
04/02/17	13:45	4/2/17 13:45	16:00	4/2/17 20:00	6,25	1418,25	Secador
03/05/17	8:30	3/5/17 8:30	13:00	3/5/17 13:00	4,50	2100,50	Secador
18/08/17	20:00	18/8/17 20:00	23:00	21/8/17 14:00	9,00	2575,00	Secador

Granulador G-A

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
23/02/2012	10:00	23/2/12 10:00	0:00	25/2/12 0:00	62,00	1282,00	Granulador
13/07/2012	14:00	13/7/12 14:00	21:00	13/7/12 21:00	7,00	3350,00	Granulador
28/03/2013	10:00	28/3/13 10:00	18:30	28/3/13 18:30	8,50	6181,00	Granulador
10/07/2013	13:00	10/7/13 13:00	18:00	10/7/13 18:00	5,00	2490,50	Granulador
27/07/2013	6:10	27/7/13 6:10	12:00	27/7/13 12:00	5,83	396,17	Granulador
23/08/2013	10:30	23/8/13 10:30	13:30	23/8/13 13:30	3,00	646,50	Granulador
15/04/2014	17:50	15/4/14 17:50	20:20	15/4/14 20:20	2,50	5644,33	Granulador
10/06/2014	9:30	10/6/14 9:30	0:00	11/6/14 4:15	18,75	1333,17	Granulador
12/09/2014	14:00	12/9/14 14:00	18:30	12/9/14 18:30	4,50	2241,75	Granulador
13/11/2014	13:00	13/11/14 13:00	15:15	13/11/14 15:15	2,25	1482,50	Granulador
12/02/2015	17:00	12/2/15 17:00	23:00	12/2/15 23:00	6,00	2185,75	Granulador
17/04/2015	9:15	17/4/15 9:15	13:45	17/4/15 13:45	4,50	1522,25	Granulador
26/05/2015	9:30	26/5/15 9:30	18:00	26/5/15 18:00	8,50	931,75	Granulador
23/06/2015	9:00	23/6/15 9:00	13:45	23/6/15 13:45	4,75	663,00	Granulador
21/10/2015	14:40	21/10/15 14:40	16:00	22/10/15 4:30	13,83	2880,92	Granulador
17/04/16	18:30	17/4/16 18:30	23:00	17/4/16 23:00	4,50	4286,00	Granulador
05/05/16	14:45	5/5/16 14:45	17:00	27/8/16 19:30	7,50	423,75	Granulador
15/12/16	11:00	15/12/16 11:00	14:00	15/12/16 14:00	3,00	2631,50	Granulador
08/03/17	21:00	8/3/17 21:00	0:00	9/3/17 1:40	4,67	1999,00	Granulador
19/04/17	14:30	19/4/17 14:30	16:00	19/4/17 17:00	2,50	996,83	Granulador
30/08/17	9:40	30/8/17 9:40	10:00	30/8/17 10:00	0,33	3184,67	Granulador
04/09/17	4:45	4/9/17 4:45	8:00	4/9/17 8:00	3,25	114,75	Granulador
19/10/17	15:00	19/10/17 15:00	19:20	21/10/17 18:00	11,58	1087,00	Granulador
06/11/17	8:00	6/11/17 8:00	16:00	10/11/17 18:15	13,58	374,00	Granulador
08/12/17	10:00	8/12/17 10:00	11:00	8/12/17 11:00	1,00	663,75	Granulador
14/12/17	9:00	14/12/17 9:00	13:00	14/12/17 13:00	4,00	142,00	Granulador

Correia Transportadora CT-A

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
12/03/2012	18:30	12/3/12 18:30	20:30	12/3/12 20:30	2,00	1722,50	Correia Transportadora
17/05/2012	14:00	17/5/12 14:00	15:00	17/5/12 15:00	1,00	1577,50	Correia Transportadora
22/06/2012	13:00	22/6/12 13:00	14:00	22/6/12 14:00	1,00	862,00	Correia Transportadora
23/05/2013	8:40	23/5/13 8:40	9:40	23/5/13 9:40	1,00	8034,67	Correia Transportadora
15/06/2013	1:15	15/6/13 1:15	22:15	15/6/13 22:15	21,00	543,58	Correia Transportadora
30/06/2013	12:00	30/6/13 12:00	0:00	1/7/13 10:30	14,50	349,75	Correia Transportadora
02/08/2013	9:30	2/8/13 9:30	12:00	2/8/13 12:00	2,50	767,00	Correia Transportadora
26/01/2014	16:15	26/1/14 16:15	20:45	26/1/14 20:45	4,50	4252,25	Correia Transportadora
24/03/2014	22:30	24/3/14 22:30	0:00	25/3/14 3:30	5,00	1369,75	Correia Transportadora
19/06/2014	10:40	19/6/14 10:40	12:00	19/6/14 12:00	1,33	2071,17	Correia Transportadora
27/08/2014	8:30	27/8/14 8:30	14:00	27/8/14 14:00	5,50	1652,50	Correia Transportadora
02/10/2014	9:00	2/10/14 9:00	10:00	2/10/14 10:00	1,00	859,00	Correia Transportadora
13/04/2015	0:00	13/4/15 0:00	5:30	13/4/15 5:30	5,50	4622,00	Correia Transportadora
02/07/2015	13:00	2/7/15 13:00	20:00	2/7/15 20:00	7,00	1927,50	Correia Transportadora
08/07/2015	16:00	8/7/15 16:00	16:45	8/7/15 16:45	0,75	140,00	Correia Transportadora
21/12/2015	4:15	21/12/15 4:15	6:00	21/12/15 6:00	1,75	3971,50	Correia Transportadora
03/03/16	16:00	3/3/16 16:00	0:00	6/3/16 9:30	12,75	1762,00	Correia Transportadora
23/07/16	8:00	23/7/16 8:00	17:15	23/7/16 17:15	9,25	3334,50	Correia Transportadora
03/08/16	8:00	3/8/16 8:00	17:30	3/8/16 17:30	9,50	254,75	Correia Transportadora
11/08/16	13:00	11/8/16 13:00	15:15	11/8/16 15:15	2,25	187,50	Correia Transportadora
14/08/16	13:30	14/8/16 13:30	0:00	15/8/16 3:00	13,50	70,25	Correia Transportadora
22/08/16	10:30	22/8/16 10:30	18:30	22/8/16 18:30	8,00	175,50	Correia Transportadora
23/10/16	17:30	23/10/16 17:30	20:30	23/10/16 20:30	3,00	1487,00	Correia Transportadora
08/11/16	13:00	8/11/16 13:00	15:15	8/11/16 15:15	2,25	376,50	Correia Transportadora
18/12/16	21:20	18/12/16 21:20	0:00	19/12/16 5:30	8,17	966,08	Correia Transportadora
07/01/17	21:00	7/1/17 21:00	0:00	8/1/17 2:00	5,00	471,50	Correia Transportadora
05/05/17	1:15	5/5/17 1:15	5:15	5/5/17 8:30	5,50	2807,25	Correia Transportadora
03/06/17	20:30	3/6/17 20:30	22:45	3/6/17 22:45	2,25	708,00	Correia Transportadora
05/06/17	10:00	5/6/17 10:00	16:00	5/6/17 16:00	6,00	35,25	Correia Transportadora
30/10/17	16:00	30/10/17 16:00	17:25	30/10/17 17:25	1,42	3528,00	Correia Transportadora
22/11/17	8:00	22/11/17 8:00	16:20	22/11/17 16:20	8,33	542,58	Correia Transportadora

Correia Transportadora CT-B

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
13/01/2012	21:00	13/1/12 21:00	23:30	13/1/12 23:30	2,50	309,00	Correia Transportadora
23/08/2012	12:30	23/8/12 12:30	13:30	23/8/12 13:30	1,00	5341,00	Correia Transportadora
22/10/2012	8:00	22/10/12 8:00	15:00	22/10/12 2:00	8,00	1434,50	Correia Transportadora
24/01/2013	11:00	24/1/13 11:00	13:00	24/1/13 13:00	2,00	2265,00	Correia Transportadora
21/05/2013	5:30	21/5/13 5:30	6:30	21/5/13 6:30	1,00	2800,50	Correia Transportadora
13/02/2014	13:10	13/2/14 13:10	14:10	14/2/14 17:30	2,50	6438,67	Correia Transportadora
23/04/2014	9:00	23/4/14 9:00	12:30	25/4/14 21:10	9,50	1623,50	Correia Transportadora
28/05/2014	10:40	28/5/14 10:40	14:00	28/5/14 14:00	3,33	781,50	Correia Transportadora
28/06/2014	12:00	28/6/14 12:00	14:15	28/6/14 14:15	2,25	742,00	Correia Transportadora
01/07/2014	13:15	1/7/14 13:15	16:00	1/7/14 19:30	6,25	71,00	Correia Transportadora
16/08/2014	5:30	16/8/14 5:30	19:15	16/8/14 19:15	13,75	1090,00	Correia Transportadora
25/08/2014	13:30	25/8/14 13:30	14:30	25/8/14 14:30	1,00	210,25	Correia Transportadora
19/01/2015	20:15	19/1/15 20:15	23:30	19/1/15 23:30	3,25	3533,75	Correia Transportadora
05/04/2015	0:10	5/4/15 0:10	3:10	5/4/15 3:10	3,00	1800,67	Correia Transportadora
26/06/2015	14:00	26/6/15 14:00	16:00	26/6/15 19:40	5,67	1978,83	Correia Transportadora
19/10/2015	23:00	19/10/15 23:00	0:00	1/11/15 18:00	11,67	2763,33	Correia Transportadora
07/05/16	23:00	7/5/16 23:00	0:00	8/5/16 2:00	3,00	4517,00	Correia Transportadora
11/09/16	11:30	11/9/16 11:30	14:00	18/9/16 14:00	16,42	3033,50	Correia Transportadora
01/01/17	11:00	1/1/17 11:00	13:30	1/1/17 13:30	2,50	2517,00	Correia Transportadora
01/02/17	11:00	1/2/17 11:00	12:00	1/2/17 12:00	1,00	741,50	Correia Transportadora
11/02/17	17:15	11/2/17 17:15	19:45	12/2/17 9:30	7,00	245,25	Correia Transportadora
21/08/17	18:00	21/8/17 18:00	0:00	21/8/17 0:00	6,00	4568,50	Correia Transportadora
03/09/17	9:30	3/9/17 9:30	11:50	3/9/17 11:50	2,33	321,50	Correia Transportadora
08/12/17	0:30	8/12/17 0:30	8:30	8/12/17 8:30	8,00	2292,67	Correia Transportadora

Correia Transportadora CT-C

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
10/02/2012	19:30	10/2/12 19:30	21:00	11/2/12 9:30	2,00	979,50	Correia Transportadora
08/03/2012	17:21	8/3/12 17:21	19:00	9/3/12 17:30	6,65	631,85	Correia Transportadora
11/03/2012	5:15	11/3/12 5:15	6:15	16/4/12 14:15	6,75	35,75	Correia Transportadora
31/10/2012	10:45	31/10/12 10:45	19:00	31/10/12 19:00	1,50	4748,50	Correia Transportadora
14/11/2012	20:30	14/11/12 20:30	22:00	14/11/12 22:00	1,50	337,50	Correia Transportadora
02/01/2013	17:30	2/1/13 17:30	18:30	2/1/13 18:30	1,00	1171,50	Correia Transportadora
03/03/2013	13:00	3/3/13 13:00	14:30	3/3/13 14:30	1,50	1434,50	Correia Transportadora
22/05/2013	0:00	22/5/13 0:00	2:45	22/5/13 2:45	2,75	1905,50	Correia Transportadora
11/09/2013	19:15	11/9/13 19:15	21:00	11/9/13 21:00	1,75	2704,50	Correia Transportadora
23/12/2013	5:45	23/12/13 5:45	6:45	23/12/13 16:30	4,50	2456,75	Correia Transportadora
27/01/2014	21:40	27/1/14 21:40	0:00	27/1/14 0:00	2,33	845,17	Correia Transportadora
08/02/2014	14:30	8/2/14 14:30	17:00	8/2/14 17:00	2,50	302,50	Correia Transportadora
17/02/2014	10:40	17/2/14 10:40	13:10	17/2/14 13:10	2,50	209,67	Correia Transportadora
08/03/2014	8:00	8/3/14 8:00	10:45	24/3/14 11:00	4,20	450,83	Correia Transportadora
28/03/2014	15:30	28/3/14 15:30	17:30	28/3/14 17:30	2,00	100,50	Correia Transportadora
29/04/2014	3:30	29/4/14 3:30	5:00	29/4/14 5:00	1,50	754,00	Correia Transportadora
03/05/2014	11:30	3/5/14 11:30	17:00	3/5/14 17:00	5,50	102,50	Correia Transportadora
10/05/2014	16:50	10/5/14 16:50	18:30	10/5/14 18:30	1,67	167,83	Correia Transportadora
27/06/2014	17:10	27/6/14 17:10	18:40	27/6/14 18:40	1,50	1150,67	Correia Transportadora
01/11/2014	18:15	1/11/14 18:15	20:15	1/11/14 20:15	2,00	3047,58	Correia Transportadora
20/12/2014	16:20	20/12/14 16:20	19:25	8/1/15 4:40	7,58	1172,08	Correia Transportadora
02/03/2015	19:00	2/3/15 19:00	19:30	6/3/15 14:30	2,75	1286,33	Correia Transportadora
05/05/2015	22:30	5/5/15 22:30	23:30	5/5/15 23:30	1,00	1448,00	Correia Transportadora
05/10/2015	12:30	5/10/15 12:30	14:15	24/10/15 10:00	2,50	3661,00	Correia Transportadora
09/01/16	19:15	9/1/16 19:15	19:45	9/1/16 19:45	0,50	1857,25	Correia Transportadora
01/02/16	15:00	1/2/16 15:00	18:15	10/2/16 15:00	5,25	547,25	Correia Transportadora
17/04/16	11:00	17/4/16 11:00	12:00	17/4/16 12:00	1,00	1604,00	Correia Transportadora
17/07/16	11:45	17/7/16 11:45	18:30	17/7/16 18:30	6,75	2183,75	Correia Transportadora
01/11/16	6:20	1/11/16 6:20	6:50	1/11/16 6:50	0,50	2555,83	Correia Transportadora
10/12/16	11:15	10/12/16 11:15	20:20	10/12/16 20:20	9,08	940,42	Correia Transportadora
26/01/17	4:45	26/1/17 4:45	5:30	26/1/17 5:30	0,75	1112,42	Correia Transportadora
13/03/17	8:30	13/3/17 8:30	15:30	13/3/17 15:30	7,00	1107,00	Correia Transportadora
29/04/17	6:45	29/4/17 6:45	7:15	29/4/17 7:15	0,50	1119,25	Correia Transportadora
17/06/17	4:00	17/6/17 4:00	10:45	17/6/17 10:45	6,75	1172,75	Correia Transportadora
08/07/17	9:00	8/7/17 9:00	10:30	8/7/17 10:30	1,50	502,25	Correia Transportadora
11/07/17	12:40	11/7/17 12:40	14:30	11/7/17 14:30	1,83	74,17	Correia Transportadora
21/07/17	4:10	21/7/17 4:10	5:40	21/7/17 5:40	1,50	229,67	Correia Transportadora
01/09/17	11:30	1/9/17 11:30	12:00	1/9/17 12:00	0,50	1013,83	Correia Transportadora
07/09/17	14:30	7/9/17 14:30	0:00	8/9/17 1:00	10,50	146,50	Correia Transportadora
30/09/17	9:00	30/9/17 9:00	9:45	30/9/17 9:45	0,75	536,00	Correia Transportadora
26/11/17	9:00	26/11/17 9:00	9:15	26/11/17 9:15	0,25	1367,25	Correia Transportadora

Correia Transportadora CT-D

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
04/03/2014	22:45	4/3/14 22:45	23:30	4/3/14 23:30	0,75	19054,75	Correia Transportadora
16/04/2014	11:20	16/4/14 11:20	13:00	24/4/14 20:40	3,50	1019,83	Correia Transportadora
19/06/2014	12:00	19/6/14 12:00	13:15	19/6/14 13:15	1,25	1335,33	Correia Transportadora
08/09/2014	0:00	8/9/14 0:00	3:30	8/9/14 14:00	4,50	1930,75	Correia Transportadora
30/09/2014	17:40	30/9/14 17:40	20:40	31/10/14 0:00	16,50	531,67	Correia Transportadora
21/12/2014	15:40	21/12/14 15:40	18:30	21/12/14 18:30	2,83	1239,67	Correia Transportadora
30/12/2014	9:00	30/12/14 9:00	11:30	30/12/14 11:30	2,50	206,50	Correia Transportadora
13/01/2015	6:30	13/1/15 6:30	7:30	19/1/15 18:00	13,33	331,00	Correia Transportadora
19/02/2015	0:01	19/2/15 0:01	2:15	19/2/15 2:15	2,23	726,02	Correia Transportadora
24/04/2015	11:50	24/4/15 11:50	13:20	24/4/15 13:20	1,50	1545,58	Correia Transportadora
13/06/2015	13:00	13/6/15 13:00	14:45	13/6/15 14:45	1,75	1199,67	Correia Transportadora
16/09/2015	7:20	16/9/15 7:20	19:00	16/9/15 19:00	11,67	2272,58	Correia Transportadora
11/11/2015	9:00	11/11/15 9:00	14:30	11/11/15 14:30	5,50	1334,00	Correia Transportadora
12/01/16	13:00	12/1/16 13:00	16:00	12/1/16 0:00	11,00	1486,50	Correia Transportadora
16/02/16	10:30	16/2/16 10:30	12:30	16/2/16 12:30	2,00	850,50	Correia Transportadora
30/04/16	11:15	30/4/16 11:15	11:35	30/4/16 11:35	0,33	1774,75	Correia Transportadora
03/05/16	15:00	3/5/16 15:00	16:00	4/5/16 10:15	3,75	75,42	Correia Transportadora
16/07/16	11:30	16/7/16 11:30	13:00	16/7/16 13:00	1,50	1753,25	Correia Transportadora
04/08/16	11:30	4/8/16 11:30	19:00	4/8/16 19:00	7,50	454,50	Correia Transportadora
01/09/16	10:15	1/9/16 10:15	13:00	1/9/16 13:00	2,75	663,25	Correia Transportadora
09/09/16	18:30	9/9/16 18:30	21:00	16/10/16 5:40	6,17	197,50	Correia Transportadora
18/10/16	2:00	18/10/16 2:00	20:30	18/10/16 20:30	18,50	44,33	Correia Transportadora
01/11/16	10:45	1/11/16 10:45	11:15	15/11/16 19:00	2,00	326,25	Correia Transportadora
23/11/16	13:30	23/11/16 13:30	14:30	23/11/16 14:30	1,00	186,50	Correia Transportadora
10/12/16	6:45	10/12/16 6:45	7:45	9/2/17 11:00	15,83	400,25	Correia Transportadora
26/02/17	10:30	26/2/17 10:30	16:00	26/2/17 19:30	9,00	407,50	Correia Transportadora
23/03/17	20:20	23/3/17 20:20	0:00	24/3/17 8:00	11,67	600,83	Correia Transportadora
26/04/17	21:15	26/4/17 21:15	23:15	26/4/17 23:15	2,00	805,25	Correia Transportadora
07/05/17	1:40	7/5/17 1:40	8:00	7/5/17 19:00	17,33	242,42	Correia Transportadora
10/05/17	5:00	10/5/17 5:00	7:00	10/5/17 20:00	3,00	58,00	Correia Transportadora
14/07/17	20:00	14/7/17 20:00	22:00	14/7/17 22:00	2,00	1560,00	Correia Transportadora
14/08/17	1:10	14/8/17 1:10	2:40	5/9/17 3:15	3,67	723,17	Correia Transportadora
09/09/17	10:25	9/9/17 10:25	23:20	9/9/17 23:20	12,92	103,17	Correia Transportadora
26/09/17	4:45	26/9/17 4:45	5:45	15/10/17 16:00	2,33	389,42	Correia Transportadora

Correia Transportadora CT-E

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
06/06/2012	19:00	6/6/12 19:00	0:00	7/6/12 3:30	8,50	3787,00	Correia Transportadora
20/10/2012	18:30	20/10/12 18:30	0:00	21/10/12 3:30	9,00	3255,00	Correia Transportadora
29/10/2012	0:09	29/10/12 0:09	5:00	29/10/12 5:00	4,85	188,65	Correia Transportadora
08/11/2012	2:39	8/11/12 2:39	8:00	8/11/12 8:00	5,35	237,65	Correia Transportadora
21/01/2013	0:30	21/1/13 0:30	4:00	21/1/13 4:00	3,50	1768,50	Correia Transportadora
23/02/2013	7:30	23/2/13 7:30	0:00	24/2/13 2:00	18,50	795,50	Correia Transportadora
26/03/2013	21:00	26/3/13 21:00	0:00	26/3/13 0:00	3,00	739,00	Correia Transportadora
22/07/2013	15:00	22/7/13 15:00	19:30	22/7/13 19:30	4,50	2847,00	Correia Transportadora
17/12/2013	11:00	17/12/13 11:00	12:00	17/12/13 12:00	1,00	3543,50	Correia Transportadora
21/01/2014	13:45	21/1/14 13:45	14:45	21/1/14 14:45	1,00	841,75	Correia Transportadora
22/05/2014	13:30	22/5/14 13:30	16:00	27/6/14 10:55	9,08	2902,75	Correia Transportadora
14/11/2014	17:15	14/11/14 17:15	19:15	26/11/14 20:20	3,50	3366,33	Correia Transportadora
20/05/17	0:00	20/5/17 0:00	8:00	20/5/17 8:00	8,00	21723,67	Correia Transportadora
04/07/17	14:00	4/7/17 14:00	16:00	4/7/17 17:00	3,00	1086,00	Correia Transportadora
26/09/17	11:00	26/9/17 11:00	13:30	26/9/17 13:30	2,50	2010,00	Correia Transportadora
14/12/17	18:00	14/12/17 18:00	0:00	15/12/17 2:00	8,00	1900,50	Correia Transportadora

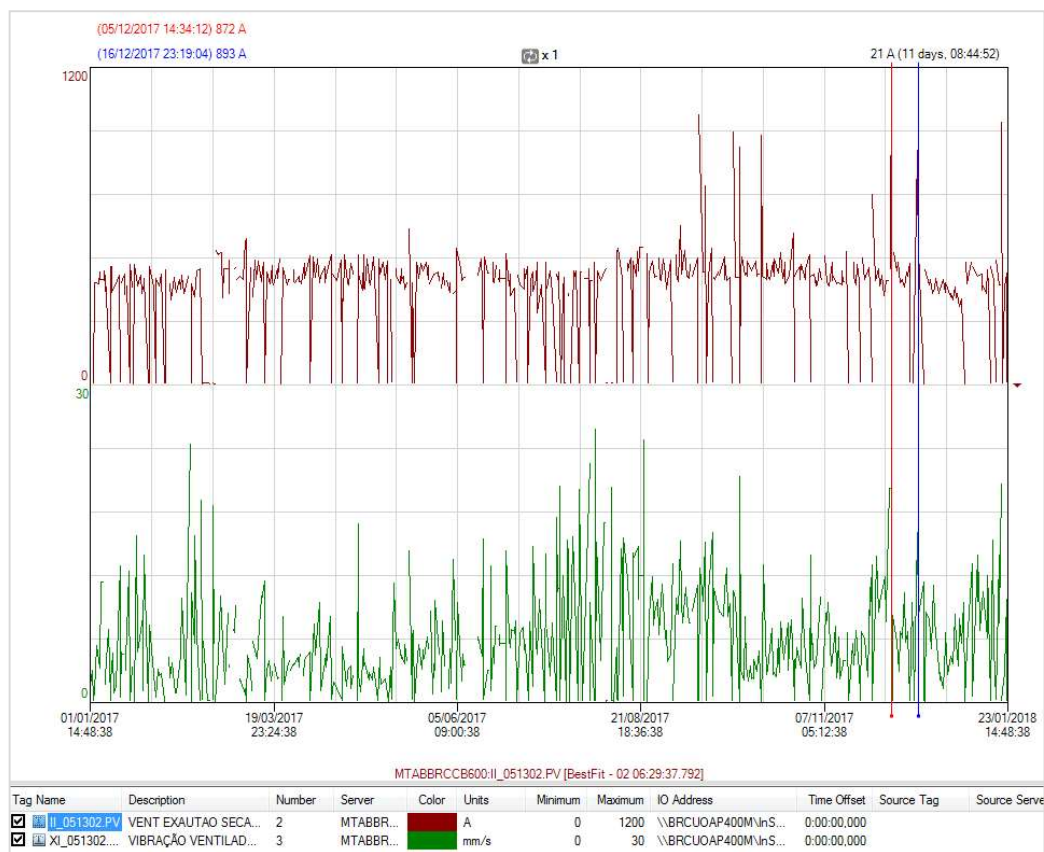
Exaustor – EX-A

Data	Início	Início da Falha	Fim	Fim da falha	TTR (h')	TPF (h')	Equipamento
18/03/2012	16:00	18/3/12 16:00	21:30	18/3/12 21:30	5,50	1864,00	Exaustor
11/01/2013	8:00	11/1/13 8:00	10:45	11/1/13 10:45	2,75	7162,50	Exaustor
31/05/2013	12:15	31/5/13 12:15	18:00	31/5/13 18:00	5,75	3361,50	Exaustor
24/10/2013	17:30	24/10/13 17:30	19:30	24/10/13 19:30	2,00	3503,50	Exaustor
25/11/2013	15:00	25/11/13 15:00	20:15	25/11/13 20:15	5,25	763,50	Exaustor
13/03/2014	19:00	13/3/14 19:00	0:00	14/3/14 1:00	6,00	2590,75	Exaustor
15/03/2014	10:45	15/3/14 10:45	16:00	15/3/14 16:00	5,25	33,75	Exaustor
19/03/2014	0:00	19/3/14 0:00	6:10	19/3/14 13:00	8,17	80,00	Exaustor
08/07/2014	9:00	8/7/14 9:00	12:30	8/7/14 12:30	3,50	2660,00	Exaustor
03/10/2014	9:40	3/10/14 9:40	12:25	3/10/14 12:25	2,75	2085,17	Exaustor
01/11/2014	0:00	1/11/14 0:00	4:00	1/11/14 4:00	4,00	683,58	Exaustor
07/11/2014	9:00	7/11/14 9:00	16:00	7/11/14 16:00	7,00	149,00	Exaustor
15/12/2014	12:00	15/12/14 12:00	17:00	15/12/14 17:00	5,00	908,00	Exaustor
20/05/2015	13:20	20/5/15 13:20	17:30	20/5/15 17:30	4,17	3740,33	Exaustor
02/06/2015	15:00	2/6/15 15:00	15:30	2/6/15 15:30	0,50	309,50	Exaustor
09/06/2015	21:00	9/6/15 21:00	0:00	10/6/15 2:00	5,00	173,50	Exaustor
28/08/2015	20:00	28/8/15 20:00	0:00	29/8/15 4:15	8,25	1914,00	Exaustor
28/12/2015	9:30	28/12/15 9:30	12:00	28/12/15 12:00	2,50	2909,25	Exaustor
13/05/2016	19:00	13/5/16 19:00	20:00	13/5/16 20:00	1,00	3295,00	Exaustor
06/09/2016	10:45	6/9/16 10:45	12:45	6/9/16 12:45	2,00	2774,75	Exaustor
07/10/2016	4:45	7/10/16 4:45	5:30	7/10/16 13:30	3,25	736,00	Exaustor
19/12/2016	6:00	19/12/16 6:00	7:00	19/12/16 7:00	1,00	1744,50	Exaustor
21/12/2016	5:30	21/12/16 5:30	8:00	21/12/16 8:00	2,50	46,50	Exaustor
26/12/2016	10:30	26/12/16 10:30	11:30	26/12/16 12:40	1,50	122,50	Exaustor
28/12/2016	5:00	28/12/16 5:00	6:00	28/12/16 6:00	1,00	40,33	Exaustor
13/02/2017	4:30	13/2/17 4:30	10:30	13/2/17 10:30	6,00	1126,50	Exaustor
16/05/2017	5:00	16/5/17 5:00	5:30	17/5/17 11:00	1,17	2202,50	Exaustor
17/07/2017	7:30	17/7/17 7:30	8:00	17/7/17 12:30	5,00	1460,50	Exaustor
18/07/2017	21:00	18/7/17 21:00	0:00	19/7/17 3:30	6,50	32,50	Exaustor
20/07/2017	11:30	20/7/17 11:30	15:30	21/7/17 11:45	6,75	32,00	Exaustor
26/07/2017	13:45	26/7/17 13:45	16:00	28/7/17 11:00	17,25	122,00	Exaustor
02/08/2017	19:30	2/8/17 19:30	22:00	3/8/17 5:30	10,00	128,50	Exaustor
06/08/2017	16:00	6/8/17 16:00	17:00	6/8/17 17:00	1,00	82,50	Exaustor
23/08/2017	3:00	23/8/17 3:00	13:00	23/8/17 13:00	10,00	394,00	Exaustor
27/11/2017	15:00	27/11/17 15:00	17:00	27/11/17 17:00	2,00	2306,00	Exaustor
05/12/2017	3:45	5/12/17 3:45	10:00	6/12/17 11:00	25,25	178,75	Exaustor

APÊNDICE B – Tela de Acompanhamento Sistema PIMS.

A seguir estão representados os Gráficos de Controle do Sistema PIMS® para acompanhamento de parâmetros operacionais. No presente trabalho, foram utilizadas as medições referentes a corrente elétrica (A) e a vibração mecânica (mm/s) de um motor responsável pelo funcionamento do ativo “Exaustor EX-A”, com esses gráficos foi possível visualizar os valores “nulos” que indicam alguma parada por falha inesperada ou manutenção programada e os “picos” gerados por alguma sobrecarga.

Corrente Elétrica (A)



Vibração Mecânica (mm)

