

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

BRENO CASTELIONI MARCHIORI

**AUMENTO DE CONFIABILIDADE DE VÁLVULAS GUILHOTINA DE
UM SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

BRENO CASTELIONI MARCHIORI

**AUMENTO DE CONFIABILIDADE DE VÁLVULAS GUILHOTINA DE
UM SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO**

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

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

AUMENTO DE CONFIABILIDADE DE VÁLVULAS GUILHOTINA DE UM SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO

por

BRENO CASTELIONI MARCHIORI

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

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

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

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

Dedico esse trabalho à Deus por tudo que me concedeste, pela luz em guiar meu caminho.

À família, Leilany, Davi e Daniel, por todo o apoio no tempo de dedicação necessário a esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à ArcelorMittal Tubarão, na pessoa do Sr. Wellington Guidoni, por terem me proporcionado essa formação, que muito contribuiu para o meu crescimento profissional.

Ao quadro gerencial pelo apoio, incentivo, expectativas e reconhecimento.

Às pessoas que trabalharam comigo, que me proporcionaram um ambiente de incentivo, cooperação, diálogos franco e aberto, e que provocaram sempre a crença que o melhor é um caminho inegociável.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Eng. Emerson Rigoni pelo compromisso e auxílio com que me guiou nessa trajetória.

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

RESUMO

MARCHIORI, Breno Castelioni. **Aumento de Confiabilidade de Válvulas Guilhotina de um Sistema de Despoeiramento. 2017. 59 folhas.** Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

As válvulas guilhotina são muito utilizadas em Equipamentos de Controle Ambiental. A falta de confiabilidade delas trazem o aumento dos custos de manutenção e a possibilidade de impactos operacionais. Ações de melhoria através da aplicação de material duro, e mais caro, nas faces que sofrem desgaste na válvula estavam em estudo. A aplicação da Engenharia de Confiabilidade permitiu identificar os motivos das falhas ao longo da vida das válvulas, e conseqüentemente, as ações de manutenção necessárias para o aumento de confiabilidade. Uma etapa fundamental é o nivelamento em toda equipe dos tipos de falhas e a padronização dos retornos de serviço de manutenção dessas válvulas. Gerando assim um histórico com qualidade que permita um LDA (Análise de dados de Vida) o mais verossímil com relação a vida até falha dos componentes. O RDB (Diagrama de Blocos de confiabilidade) com uma configuração série simples demonstra a contribuição que cada componente têm à diminuição da confiabilidade da válvula, no respectivo tempo de vida. Essa maior clareza sobre como cada componente da válvula falha permite priorizar as ações de manutenção de forma mais eficiente. Demonstrando que a aplicação de material mais duro não iria aumentar a confiabilidade das válvulas no tempo de vida inicial, sendo sua contribuição positiva apenas após 647 dias em operação. E que a utilização dos sobressalentes originais somado à uma revisão dos critérios na manutenção iria aumentar a confiabilidade da válvula efetivamente, sem somar os custos proveniente da aplicação do material duro.

Palavras-chave: Sistema de Despoeiramento. Válvulas Guilhotina. Aumento de Confiabilidade. LDA. RDB

ABSTRACT

MARCHIORI, Breno Castelioni. Increased Reliability of Knife Valves for a Dedusting System. 2017. 70 sheets. Monography (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

Knife valves are widely used in Environmental Control Equipment. Their lack of reliability brings increased maintenance costs and the possibility of operational impacts. Improvement actions through the application of hard, and more expensive, material on the faces that under wear were under study. The application of Reliability Engineering allowed to identify the reasons for failures along the life of the valves, and consequently, the necessary maintenance actions to increase reliability. A fundamental step is the team leveling of the types of failures and the standardization of the servicing returns of these valves. Generating thus a history with quality that allows a LDA (*Life Data Analysis*) the most probable with regard to life until failure of the components. The RDB (*Reliability Block Diagram*) with a simple series configuration demonstrates the contribution that each component has to the decrease of the reliability of the valve, in the respective life time. This greater clarity about how each component of the valve fails allows prioritizing maintenance actions more efficiently. Proving that the application of harder material would not increase the reliability of the valves in the initial life time, being its positive contribution only after 647 days in operation. And that the use of the original spare parts added to a revision of the criteria in the maintenance would increase the reliability of the valve effectively, without adding the costs coming from the application of the hard material.

Keywords: Dedust System. Knife Valves. Increased Reliability. LDA. RDB

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1– Esquema típico de sistema de despoeiramento.....	16
Figura 2.1 – Posições aberta e fechada das Válvulas AD's	26
Figura 3.1 – Esquema de um sistema formado por componentes	35
Figura 3.2 - Diagrama de Blocos de um Sistema	37
Figura 3.3 - Diagrama de Função/Reparo de um Sistema Reparável.....	39
Figura 4.1- RDB das Válvulas AD's	44
Figura 4.2 – Parâmetros da Função de Confiabilidade – Cilindro	45
Figura 4.3 - Parâmetros da Função de Confiabilidade - Mola	46
Figura 4.4 - Teste de aderência – parâmetros	47
Figura 4.5- Teste de aderência – desvio global.....	48
Figura 4.6 - Parâmetros da Função de Confiabilidade Weibull – Mola.....	48
Figura 4.7 - Parâmetros da Função de Confiabilidade – Faca	49
Figura 4.8 - Parâmetros da Função de Confiabilidade – Corpo	50
Figura 4.9 – Curvas de Confiabilidade com 10 anos.....	52
Figura 4.10 – Curvas de Confiabilidade com 5 anos.....	53
Fotografia 2.1 – Câmaras de Sedimentação	23
Fotografia 2.2 – Câmara de Sedimentação – Detalhe.....	24
Fotografia 2.3 – Local de Instalação das Válvulas AD's.....	25
Fotografia 2.4 - Exemplos de ponto de erosão nas Válvulas AD's.....	27
Quadro 1.1– Etapas do Trabalho	19
Quadro 3.1 - Tempos até falha de um Sistema.....	38
Quadro 4.1 - histórico de falhas válvulas AD'S - (22/08/16 à 14/06/17)	42
Quadro 4.2 - Parâmetros de Confiabilidade para cada componente das válvulas	51
Quadro 4.3 – Componentes de menor criticidade e respectivo período de vida	55
Quadro 4.4 – Ações proposta de manutenção	55

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

CDQ	<i>Coke Dry Quench</i> – Apagamento de Coque à Seco
LCCA	Análise de Custos de Ciclo de Vida
LDA	Análise de Dados de Vida
RDB	Diagrama de Blocos de Confiabilidade
RGA	Análise de Crescimento de Confiabilidade

LISTA DE SÍMBOLOS

γ : parâmetro de localização

λ : parâmetro de escala

β : parâmetro de forma

η : parâmetro de escala, ou vida característica

σ : desvio padrão dos tempos até falha

σ = parâmetro de escala para Distribuição Logística

σ = parâmetro de forma para Distribuição Loglogística

σ' = desvio padrão do logaritmo natural dos tempos até falha

t: tempo (anos, dias, horas, ciclos, rotações)

t' : logaritmo dos tempos até falha

μ : média normal dos tempos até falha para a Distribuição Normal

μ : parâmetro de localização para a Distribuição Logística e Gumbel

μ : parâmetro de escala para a Distribuição Loglogística

μ' : média do logaritmo natural dos tempos até falha

θ : parâmetro de escala

$\Gamma(x)$: função gama de x.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	17
RESUMO	18
ABSTRACT	19
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	20
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS	21
LISTA DE SÍMBOLOS	22
SUMÁRIO	23
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2 OBJETIVOS	17
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 VÁLVULAS GUILHOTINA DE UM SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO	22
2.1 APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO	22
2.2 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	28
3 REFERENCIAL TEÓRICO	29
3.1 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE VIDA.....	29
3.2 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE SISTEMAS.....	33
3.3 DIAGRAMAS DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE	35
3.4 SISTEMAS REPARÁVEIS E NÃO REPARÁVEIS.....	36
3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	39
4 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE NAS VÁLVULAS GUILHOTINAS	41
4.1 HISTÓRICO DE VIDA ATÉ FALHA DAS VÁLVULAS.....	41
4.2 CONCEITOS TEÓRICOS APLICADOS À ANÁLISE.....	43
4.3 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DOS COMPONENTES DAS VÁLVULAS	45
4.4 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DO SISTEMA	51
4.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	56
5 CONCLUSÃO	58
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Empresas que atuam nos mercados globais necessitam cada vez mais de buscar a melhoria dos seus processos internos de forma a fazer frente à forte competição existente nesses mercados. Principalmente a competição com empresas instaladas em outros países que possuem um ambiente mais propício ao mercado. Por razão por exemplo de: condições econômicas favoráveis, políticas, sociais, legislação do trabalho, mercado de trabalho, disponibilidades de recursos naturais, legislação ambiental, etc...

Essa grande diversidade de motivos que se relacionam e afetam a competitividade das empresas inseridas no mercado internacional faz com que cada vez mais se busque competências para vencer os desafios impostos, buscando minimizar perdas desnecessárias e que, se não trabalhadas com foco nas mais diferentes áreas da organização.

Com isso, faz-se necessário a busca rotineira da otimização dos ativos, da força de trabalho, da diminuição das perdas materiais, dos reprocessamentos desnecessários, da perda do potencial intelectual humano como um programa contínuo da busca da excelência de forma a suportar à competitividade. Perdas como ativos que operam fora do seu ponto adequado, quer seja por condições de projeto, operacionais ou de manutenção. Acarretam outras perdas como maior necessidade de intervenções, que por sua vez demandam maior gasto de força de trabalho e diminuição de disponibilidade do equipamento para produzir.

Tais condições geram “gargalos” que demandam maior tempo, investimento e análise na identificação real do problema, e principalmente as ações necessárias para correção. É comum a identificação, mesmo que subjetivamente, dos equipamentos que apresentam desempenho inadequado face às condições operacionais. Necessitando assim a aplicação de técnicas, conhecimentos e experiências de forma a corrigi-las, independente do seu nível de complexidade.

Um dos exemplos de equipamentos recorrentes em instalações industriais são as válvulas, que em caso de falha, podem trazer impactos significativos. Principalmente os impactos provenientes do desvio nos processos que afetam a qualidade, o homem ou o meio ambiente. Tais equipamentos estão fortemente ligados ao processo, são sujeitas aos parâmetros operacionais com as propriedades do fluido: tipo, propriedades físicas, químicas, temperatura; e os ciclos operacionais:

maior ou menor frequência de trabalho. Esse conjunto de fatores faz com que muitas das vezes as válvulas apresentem vida útil diferente da vivenciada anteriormente, principalmente com uma diminuição da confiabilidade.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

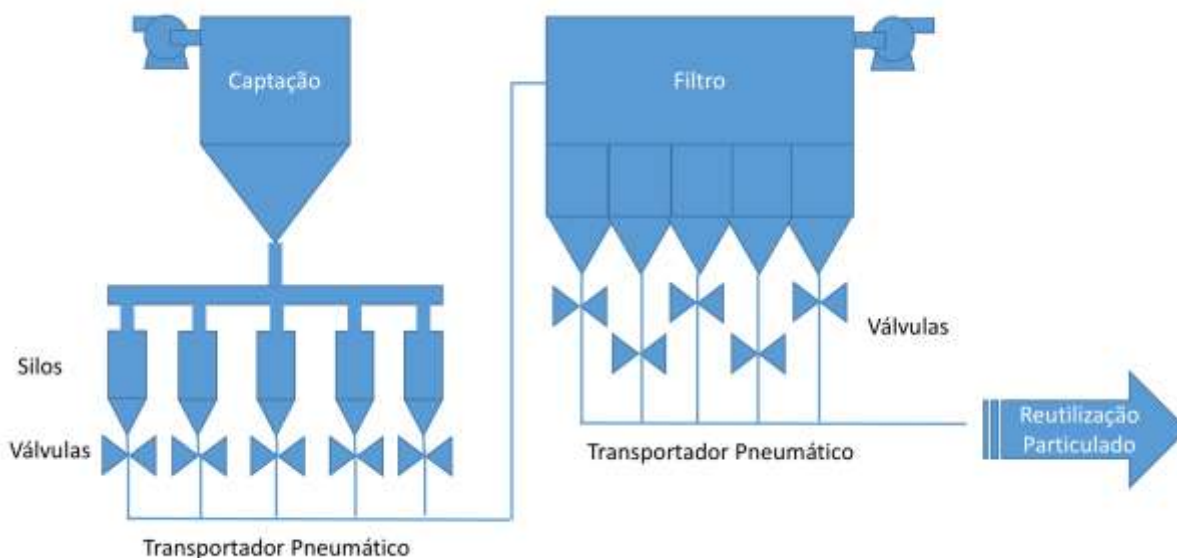
Em função das exigências legais de minimizar os impactos ambientais em instalações industriais é recorrente a presença de equipamentos que fazem a captação de particulados provenientes do processo. Esse fluxo de gases com partículas precisa ser conduzido de forma hermética para equipamentos que possam fazer o tratamento, separando seus constituintes de forma à serem aplicados em outras etapas do processo e com menor impacto ambiental, ou devolvendo tratado ao meio ambiente dentro de parâmetros adequados.

Parte dessa etapa do processo é retirar o material particulado e conduzi-lo para destinação e/ou utilização em outros processos. Esse aproveitamento, além do objetivo de mitigação de impactos, pode ser vantajoso ao diminuir perdas e consequentemente reduzir custos operacionais.

Uma das formas de condução desse material particulado é a utilização de transportadores pneumáticos, que possuindo uma série de diferentes tipos de válvulas, fazem o controle operacional do processo.

Na Figura 1.1 pode-se ver um esquema típico onde o material particulado é succionado através de um dispositivo de captação, e depois o particulado deposita-se em silos. De acordo com o nível atingido e seguindo uma lógica operacional, a carga dos silos é descarregada uma de cada vez nos transportadores pneumáticos através da abertura de válvulas guilhotinas acionadas pneumáticamente. O transportador pneumático conduz o material particulado até a próxima etapa do processo. O fluxo de particulado é movimentado através do vácuo exercido na extremidade da linha. Descarregados nos filtros, o material particulado é separado do ar que entrou no transportador, depositando-se em silos individuais. Novamente cada válvula segue um ciclo operacional, abrindo uma de cada vez, sendo descarregado em um novo trecho de transportador pneumático que por sua vez leva o particulado para ser reutilizado (Fonte: Adaptado do Manual do Fabricante (1995)).

Figura 1.1– Esquema típico de sistema de despoeiramento



Fonte: Adaptado do Manual do Fabricante (1995).

Essa passagem do particulado internamente na válvula provoca um processo de degradação física provocado principalmente pela erosão do fluxo de particulado na sua sede de vedação. Esse desgaste ao longo do tempo provoca uma diminuição da estanqueidade da válvula nos ciclos que ela está fechada. Fazendo com que ar externo seja admitido dentro da tubulação, diminuindo a diferença de pressão e conseqüentemente baixando o rendimento do transportador. Como a saída de todas as válvulas são interligadas por uma mesma tubulação, a degradação de uma delas afeta todo o rendimento do transporte. Em uma condição de falha de uma das válvulas é necessário a correção dela própria, podendo ser necessário a drenagem do silo específico com outros equipamentos de apoio. No caso dessa ação corretiva não ser feita em tempo adequado, é possível ter a perda da função do sistema de despoeiramento, sendo necessário assim a interrupção de toda planta.

A equipe tem buscado ações que possam aumentar a vida da válvula, como:

- A aquisição de materiais de fornecedores idôneos;
- Planos de inspeção com frequência adequada;
- Equipes de execução fixas e com experiência nesse tipo de válvula;
- Geração de histórico de falha de cada válvula.

Porém, a constatação é que o desgaste é resultado da condição operacional: tipo de particulado, ciclo de operação e que o material fabricado da válvula é de menor desempenho. Outras soluções alternativas foram identificadas, como a adição de material de maior dureza em parte das válvulas onde essa erosão é mais acentuada (nas partes de selagem), o que já existe uma válvula em testes. Ou mesmo válvulas com outra forma construtiva que pode oferecer uma maior vida.

Face à situação de baixa vida das válvulas, o que acarreta um volume de intervenções pela equipe de manutenção juntamente com outros gastos como equipamentos para drenagem de silos motiva a busca de soluções que possam corrigir esse cenário. Dessa forma vê-se 3 caminhos que se pode seguir: (i) a aplicação de matérias mais nobres nas sedes de vedação das válvulas atuais, (ii) a mudança de todas as válvulas por outras com expectativa de vida maior, (iii) ou o que pode ser feito para melhorar a vida das válvulas atuais. Essas 3 opções envolvem custos e riscos de aplicação, e dentre elas a que está mais exequível é a última. Já que existe o histórico como referência de análise, bem como da vivência da equipe dos resultados sobre os problemas já identificados. Entender a situação atual e o que pode ser melhorado para aumento da vida das válvulas. Criando uma base para que no futuro seja possível identificar o limite de vida que se poderá alcançar. É de suma importância para uma análise mais real comparativa para também corroborar para as outras opções de aplicação de material mais nobre (i), ou mesmo a substituição da tecnologia das válvulas (ii). Então a grande pergunta é o que pode ser melhorado dentro da rotina de manutenção para se aumentar a vida das válvulas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar ações que possam ser implementadas na rotina da manutenção de forma a aumentar a vida útil das válvulas AD's do transportador pneumático do sistema de despoeiramento do CDQ.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento do histórico de falhas através dos retornos de ordens dos serviços realizados pela equipe de manutenção, somando-se aos relatórios de falhas da equipe de turno;
- Gerar curva de confiabilidade no tempo e identificar natureza de falha de acordo com os parâmetros da curva;
- Realizar entrevistas com as pessoas da inspeção e execução mecânica para buscar mais informações como histórico vivenciado (o que foi bem e o que não se obteve o resultado esperado), relatórios, controles ou outros tipos de informações;
- Buscar relação de causa e efeito das falhas das válvulas, de forma a identificar os motivos das falhas;
- Propor metodologia de trabalho na manutenção de forma a promover o aumento de vida.

1.3 JUSTIFICATIVA

O problema apresentado de baixo tempo de vida das válvulas AD's do sistema de Despoeiramento do CDQ – Coqueria tem demandado energia das equipes de inspeção e manutenção em função da baixa confiabilidade, gerando por vezes falhas que podem impactar na operação da planta. Essa baixa confiabilidade gera também um aumento de serviços em emergência e demanda de atuação da equipe de manutenção para reparar as válvulas danificadas. Soma-se outros custos indiretos para remoção do particulado retido no transporte pneumático.

Mesmo tendo algumas alternativas técnicas viáveis como já em testes a aplicação de outros materiais nas válvulas atuais ou alternativa de substituição das válvulas atuais por outras de diferente tecnologia. Pode-se ter uma lacuna em saber se é possível alguma ação que possa impactar positivamente nas válvulas atuais a um custo mais vantajoso quanto comparado com essas alternativas mencionadas anteriormente. Pesa a isso também o fato que as atuais válvulas atendem aos requisitos operacionais quando em funcionamento.

A identificação e aplicação de soluções que tragam ganhos de aumento de confiabilidade dessas válvulas podem primeiramente gerar um maior conhecimento dos equipamentos, e agregando valor para as equipes. Outra vantagem é que pode servir de base para, assim que se identificar um patamar de tempo de vida das válvulas, seguir nos próximos passos pela aplicação de outros materiais para o estabelecimento de um novo patamar de tempo de vida. Além de que pode subsidiar de forma mais aprofundada decisões para a substituição das válvulas por outras com vantagens de menor custos de manutenção.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o objetivo de desenvolver o trabalho de forma mais adequado dentro do escopo e prazo proposto, as atividades foram organizadas de forma a seguir etapas bem definidas. O Quadro 1.1 apresenta a estrutura das etapas do trabalho proposto.

Quadro 1.1– Etapas do Trabalho

Item	O que fazer	Como fazer	Quando fazer	Onde fazer
1	Histórico	Conforme retorno das Ordens de Serviço	Etapa inicial do trabalho	Sistema de Manutenção
2	Gerar curva de falha	Lançar tempo até a falha	Após item 1	Reliasoft Weibull ++
3	Histórico das Equipes	Entrevista com as Equipes de Manutenção	Após o item 2	Com as pessoas que normalmente fazem a manutenção
4	Análise de Causa e Efeito	Verificar os motivos da falha	Após item 3	Relatórios de falhas anteriores, análise de válvulas já retiradas, desenhos, especificações do manual do fabricante
5	Proposta de Mudança de Rotina de Manutenção	Verificar serviços internos e/ou externos especializados	Após item 4	Atuais contratos de prestação de serviço ou execução própria

Fonte: o autor (2017).

Conforme exposto, o objetivo é a geração das curvas de vida baseado no histórico de serviços de manutenção, comparando com os itens observados pela equipe de execução em campo. Dessa forma, permitindo verificar se a estratégia de manutenção está adequada.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será composto de por 5 capítulos, sendo:

- Capítulo 1: Introdução;
- Capítulo 2: Tema;
- Capítulo 3: Referencial Teórico;
- Capítulo 4: Desenvolvimento;
- Capítulo 5: Conclusão.

O Capítulo 1 introdutório deste estudo apresenta o tema da pesquisa e sua delimitação. Contextualiza de uma maneira mais ampla do ponto de vista externo, nas relações e exigências em que a empresa está inserida principalmente em um mercado globalizado. Do ponto de vista interno, a necessidade das empresas de melhorar os processos de manutenção como forma de redução de custos. Faz também uma apresentação do funcionamento do equipamento e como as válvulas frutos desse trabalho estão inseridas na operação. Apresenta os objetivos básicos do trabalho, e a estruturação de cada etapa do estudo.

O Capítulo 2 apresenta de forma detalhada o tema do trabalho, os impactos com relação a baixa confiabilidade das válvulas. A análise e proposta de mudança de execução dos serviços de manutenção. E os objetivos que se espera atingir na implementação de nova rotina de manutenção.

O Capítulo 3 apresenta o referencial teórico da Engenharia de Confiabilidade aplicada ao trabalho.

O Capítulo 4 apresenta em detalhes o referencial teórico, abordado no Capítulo 3, ao objeto de pesquisa abordado no Capítulo 2. Bem como o

procedimento para coleta e análise de dados, as considerações e simplificações adotadas e os resultados obtidos com os respectivos comentários.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos, as dificuldades e soluções encontradas e os benefícios para a empresa. Também faz sugestões para próximos trabalhos baseados no tema desse trabalho.

2 VÁLVULAS GUILHOTINA DE UM SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO

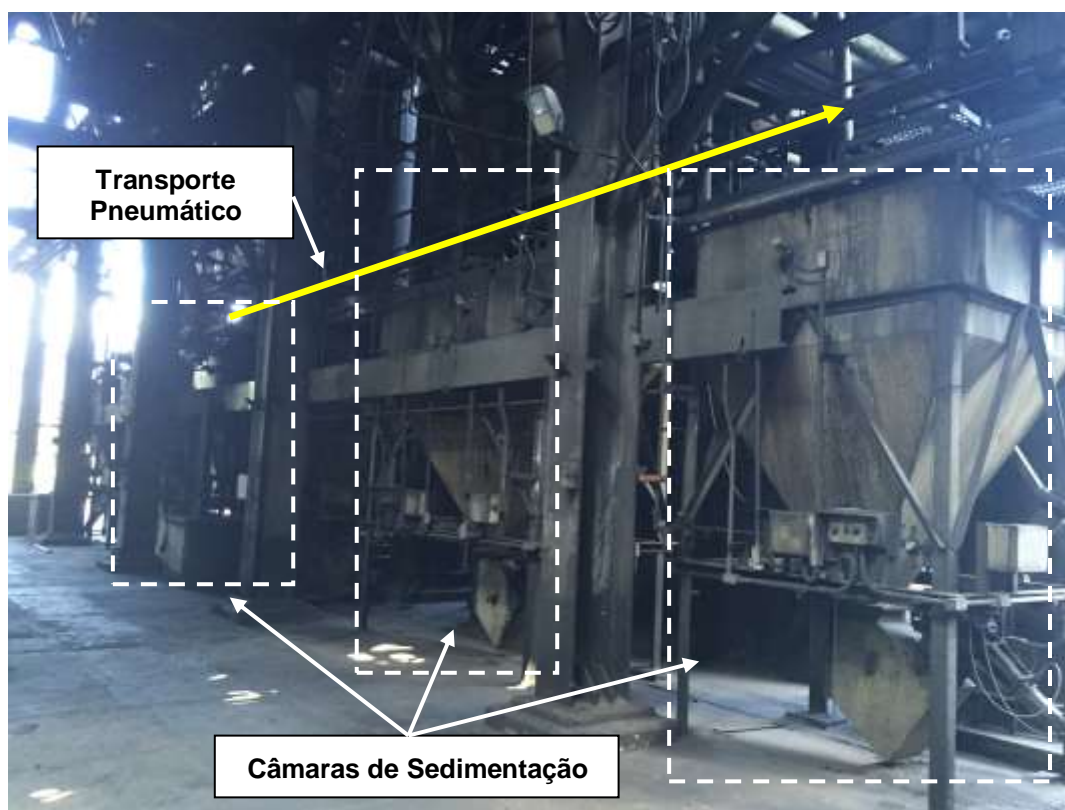
Neste capítulo será apresentado o Sistema de Despoeiramento em que as válvulas AD's estão instaladas, sua função operacional, seus componentes e funcionamento interno.

2.1 APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O Sistema de Despoeiramento é formado por vários equipamentos que fazem a captação de material particulado até sua destinação em outros processos da empresa, conforme mencionado no Capítulo 1.

Parte desse sistema é formado por conjuntos de Câmaras de Sedimentação, conforme demarcados pelas linhas tracejadas, que se repetem lado a lado e se interligam através do Transporte Pneumático, conforme seta contínua que indica o fluxo do material. Conforme pode ser visto na Fotografia 2.1.

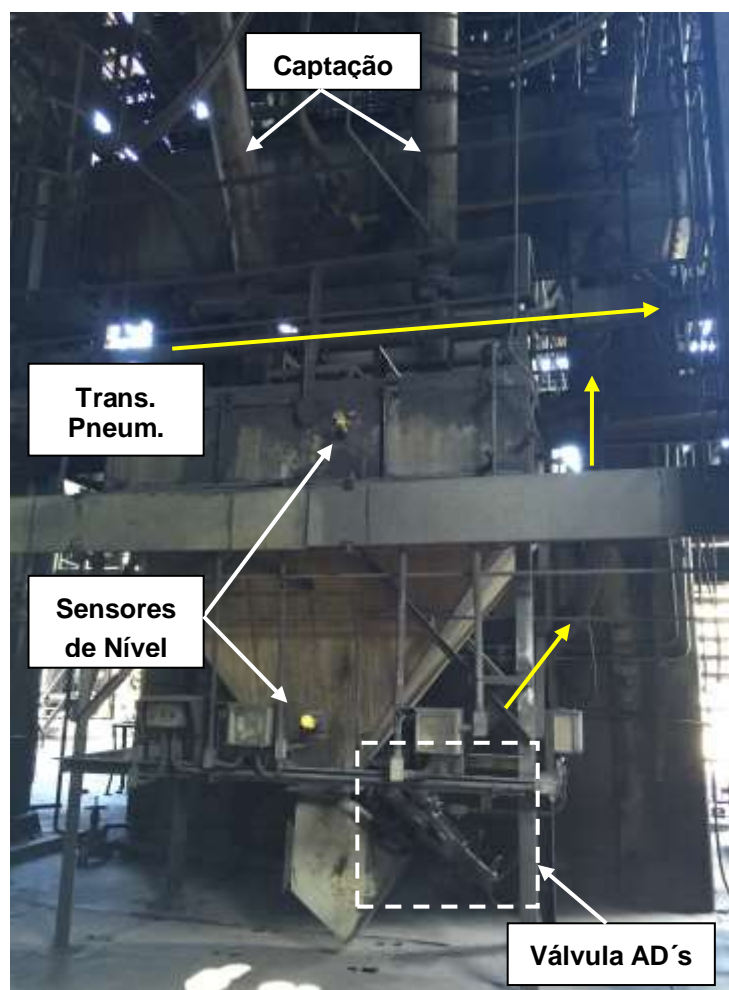
Fotografia 2.1 – Câmaras de Sedimentação



Fonte: o autor (2017).

A função das Câmaras de Sedimentação é reter as partículas captadas pelo sistema. Na Fotografia 2.2 é possível verificar com mais detalhes:

Fotografia 2.2 – Câmara de Sedimentação – Detalhe



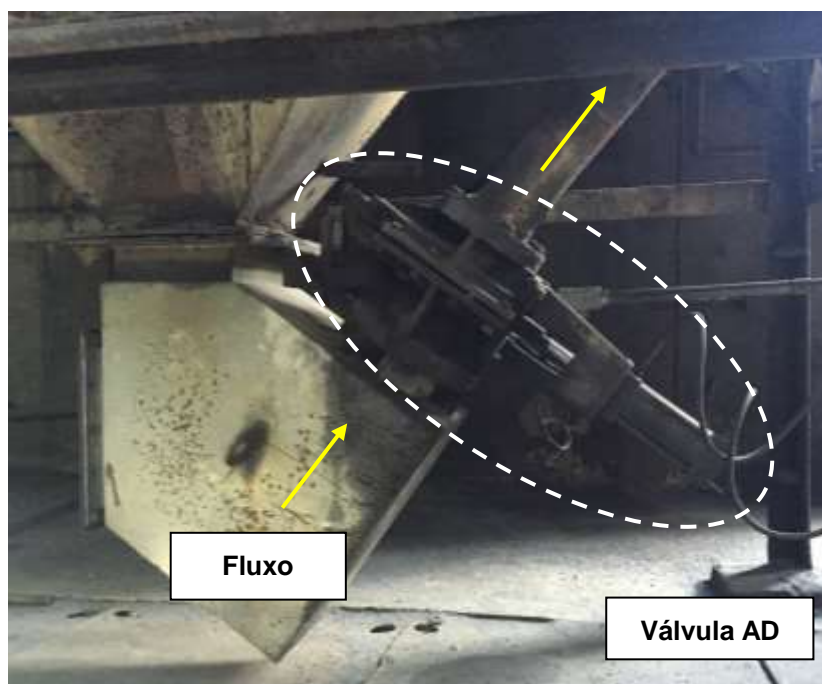
Fonte: o autor (2017).

O material captado pelo sistema é direcionado através das tubulações no seu topo para cada Câmara de Sedimentação, o nível de material sobe no decorrer do tempo até atingir o nível máximo identificado pelo sensor. Nesse momento é feita a abertura da válvula AD que interliga a Câmara de Sedimentação à linha do Transporte Pneumático que provoca o arraste do material particulado. Esse ciclo opera até que o nível mínimo seja atingido através do acionamento do sensor correspondente. Nesse momento a válvula AD é fechada, cessando o transporte de material. Após o fechamento, é feita a purga no Transportador Pneumático reestabelecendo os níveis de pressão negativa como preparativo para o próximo ciclo de descarga da próxima Câmara de Sedimentação. Dessa forma, só é aberta

uma válvula AD por ciclo de transporte, seguido por uma etapa de purga. Esse ciclo se repete em cada Câmara de Sedimentação de acordo com que os níveis máximos e mínimos de carga vão sendo atingidos.

Na Fotografia 2.3 é possível ver com mais detalhe a válvula AD instalada:

Fotografia 2.3 – Local de Instalação das Válvulas AD's



Fonte: o autor (2017).

As AD's são válvulas de 5" de diâmetro formado por duas facas contrapostas formam uma gaveta deslizante, que é montada no corpo da válvula com um conjunto de molas. Estas molas pressionam as facas contra as guias usinadas do corpo, mantendo a estanqueidade do conjunto. Este sistema garante a compensação de eventuais folgas entre o corpo e as duas facas.

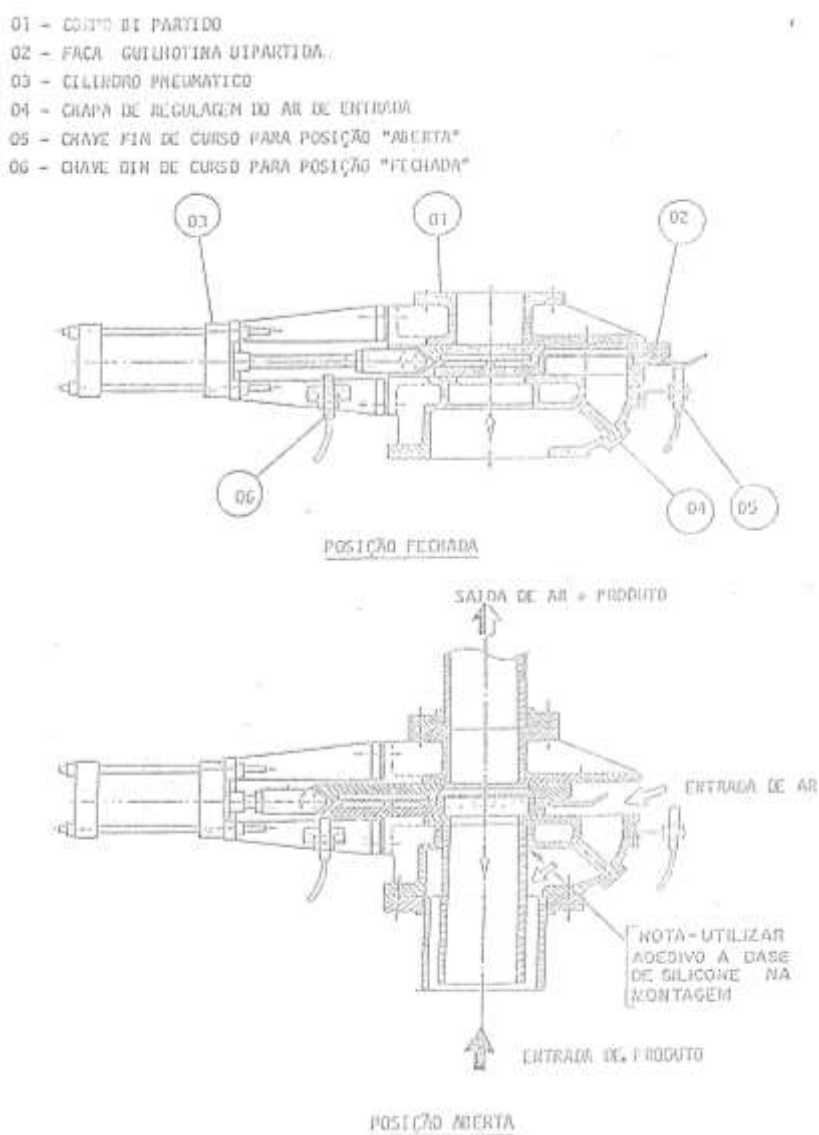
As facas possuem um furo correspondente ao diâmetro da sede da válvula formando uma passagem direta quando manobrada para a posição "aberta". A estanqueidade entre as facas é garantida por um anel O'ring.

O acionamento é feito através de um cilindro pneumático de duplo efeito, e sua posição de "aberto" e "fechado" é referenciado através de sensores de fim de curso.

O corpo da válvula possui uma passagem que se abre junto com a abertura da válvula, e têm o objetivo de admitir ar exterior provocando o fluxo e consequentemente o arraste do material.

Na Figura 2.1 pode-se ver um esquemático da válvula AD de cada componente e das condições de aberto e fechado.

Figura 2.1 – Posições aberta e fechada das Válvulas AD's



Fonte: Manual do Fabricante (1998)

Os ciclos de operação “abre-fecha” das válvulas AD’s provoca um fluxo de material particulado com ar que é abrasivo. Provocando um desgaste acentuado na sede de vedação da válvula formado pelas duas faces usinadas das facas junto com as faces do corpo da válvula. Vide Fotografia 2.4 para alguns exemplos desse desgaste.

Fotografia 2.4 - Exemplos de ponto de erosão nas Válvulas AD's



Fonte: o autor (2017).

Esse desgaste provoca uma diminuição da vedação da válvula, afetando assim as curvas de pressão necessárias à eficiência do Transporte Pneumático nos ciclos de operação. Já que todas as válvulas estão ligadas na mesma linha, o efeito de apenas uma delas interage com todo o transporte.

2.2 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi abordado o ciclo de operação do equipamento em que a válvula do estudo está instalada, seu funcionamento e partes constituintes. Bem como o desgaste que afeta sua condição normal de operacionalidade.

Isso permitirá entender com maior profundidade a função da válvula no contexto operacional em que ela está inserida, bem como das consequências operacionais da perda de sua função. Relacionando assim com os pontos de degradação interna que afetam a função.

No próximo capítulo será abordado o referencial teórico utilizado para a análise do problema e consequentes contramedidas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo objetiva a apresentação do referencial teórico que se baseia o trabalho.

3.1 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE VIDA

A Análise de Dados de Vida (*Life Data Analysis* - LDA) estuda e modela o comportamento de vida de produtos observados. Dados de vida como o tempo que um produto opera corretamente ou o tempo que o produto opera antes da falha.

A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas. ” (LEEMIS, 1995 apud FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009, p. 1)

Para a LDA, é feita a amostra de dados de tempo ou ciclo em operação do produto, esses dados agrupados e comparados entre si geram distribuições estatísticas ajustadas (modelos). Podendo dessa forma ser usados para estimar características de vida importantes do produto, equipamento ou sistema; como confiabilidade ou probabilidade de falha em um momento específico, a vida média e a taxa de falha. A LDA exige os seguintes passos:

- Reunião de dados de vida para o produto/equipamento;
- Seleção de uma distribuição ao longo da vida que corresponda aos dados e modelar a vida útil do produto;
- Estimar os parâmetros que irão ajustar a distribuição aos dados;
- Gerar gráficos e resultados que estimem as características de vida do produto, como a confiabilidade ou a vida média.

Tais gráficos podem ser ajustados para variadas distribuições, as mais aplicadas seguem conforme a seguir.

Distribuição Exponencial: É comumente usada para componentes ou sistemas que apresentam uma taxa constante de falha. Pela sua simplicidade é amplamente utilizada. A função densidade de probabilidade é dada por:

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

Sendo:

- γ : parâmetro de localização, se positivo, desloca o início da distribuição por uma distância à direita da origem, significando que a possibilidade de falha começa a ocorrer somente após o tempo de operação especificado.
- λ : parâmetro de escala, define como a função se distribui ao longo do tempo. $\frac{1}{\lambda} = \bar{t} - \gamma$

Distribuição de Weibull: é uma distribuição de confiabilidade de usos geral, geralmente usada para aplicações em esforços sobre materiais, tempo até falha de componentes, equipamentos ou sistemas mecânicos e eletrônicos. A função densidade de probabilidade é dada por:

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

Onde:

$$f(t) \geq 0, t \geq \gamma$$

$$\beta > 0, \text{ parâmetro de forma}$$

$$\eta > 0, \text{ parâmetro de escala, ou vida característica}$$

$$-\infty < \gamma < +\infty, \gamma = \text{parâmetro de localização, ou vida sem falha}$$

Distribuição Normal: é comumente usada em análises de confiabilidade de uso geral, tempo até falha de componentes, equipamentos ou sistemas simples eletrônicos ou mecânicos. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2}$$

Onde:

μ = média normal dos tempos até falha

σ = desvio padrão dos tempos até falha

Distribuição Lognormal: é comumente usada em análises de confiabilidade de uso geral, ciclos até falha para fadiga, esforços sobre materiais e carregamentos variáveis. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t') = \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t' - \mu'}{\sigma'} \right)^2}$$

Onde:

$t' = \ln(t)$ e t , são tempos até falha

μ' = média do logaritmo natural dos tempos até falha

σ' = desvio padrão do logaritmo natural dos tempos até falha

Distribuição Gama Generalizada: comparado com as outras distribuições anteriormente discutidas, a distribuição Gama Generalizada não é tão frequentemente usada para modelar dados de vida; no entanto, tem a capacidade de imitar outras distribuições, como o Weibull ou o Lognormal, com base nos valores dos parâmetros da distribuição. Isso oferece um compromisso entre duas distribuições de vida como uma alternativa que favorece a análise. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\Gamma(k)\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{k\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta}$$

Onde:

$\theta > 0$ é o parâmetro de escala

$\beta > 0$ e $k > 0$ são os parâmetros de forma

$\Gamma(x)$ é a função gama de x .

Distribuição Gama: trata-se de uma distribuição flexível e oferece um ajuste adequado em muitos conjuntos de dado de vida. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{e^{kz - e^z}}{t\Gamma(k)}$$

Onde:

$$z = \ln(t) - \mu$$

e^μ = parâmetro de escala

$K > 0$, K = parâmetro de forma

$$0 < t < \infty$$

$$-\infty < \mu < \infty$$

Distribuição Logística: possui uma distribuição muito semelhante à normal (forma de sino), é normalmente utilizada em modelos de crescimento, em certos modelos de regressão como a regressão logística. Possui também aplicação na modelagem de dados de vida. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{e^z}{\sigma(1 + e^z)^2}$$

Onde:

$$z = \frac{t - \mu}{\sigma}$$

$$-\infty < t < \infty$$

$$-\infty < \mu < \infty$$

$$\sigma > 0$$

μ = parâmetro de localização

σ = parâmetro de escala

Distribuição Loglogística: como sugerido pelo nome, a distribuição loglogística é semelhante à distribuição logística. Especificamente, os dados seguem uma distribuição loglogística quando os logaritmos naturais dos tempos de falha seguem uma distribuição logística. Conseqüentemente, as distribuições loglogísticas e lognormal também compartilham muitas semelhanças. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{e^z}{\sigma t(1 + e^z)^2}$$

Onde:

$$z = \frac{t' - \mu}{\sigma}$$

$$t' = \ln(t)$$

$$0 < t < \infty$$

$$-\infty < \mu < \infty$$

$$0 < \sigma < \infty$$

μ = parâmetro de escala

σ = parâmetro de forma

Distribuição Gumbel: é apropriada para a curva é desviada para a esquerda (por exemplo, poucas unidades falham sob baixo estresse, enquanto o resto falha em esforços mais altos). Ou de outra forma, também pode ser apropriada para modelar a vida de produtos que experimentam um desgaste muito rápido depois de atingir uma certa idade. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} e^{z-e^z}$$

Onde:

$$f(t) \geq 0$$

$$z = \frac{t - \mu}{\sigma}$$

μ = parâmetro de localização

σ = parâmetro de escala

Na próxima seção será abordada a forma com que as curvas de confiabilidade podem descrever um sistema.

3.2 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE SISTEMAS

Na LDA o principal objetivo é obter a distribuição de vida. E consequentemente, torna-se possível calcular o tempo até a falha, MTBF ou MTTF, vida média, etc., ... Tais predições podem subsidiar várias decisões com relação ao

componente, subsistema ou sistema. Tais como comparativos de desempenho de vida, definição de manutenção ou de substituição.

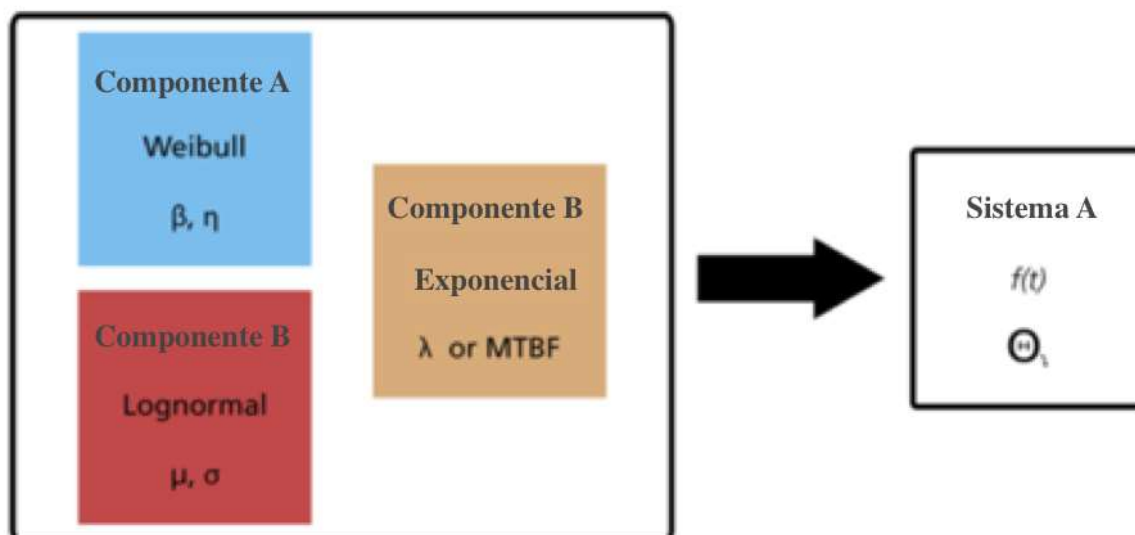
Sistema é todo o conjunto de componentes interconectados segundo um projeto predeterminado, de forma a realizar um conjunto de funções de maneira confiável e com bom desempenho. Sistemas são aqui representados por arranjos de blocos funcionais. Os blocos funcionais, aqui designados por componentes, podem ser subsistemas ou componentes individuais, dependendo do tipo de sistema e das condições estabelecidas para o estudo. O tipo e a qualidade dos componentes usados, bem como a forma como estão arrançados influi diretamente no desempenho e na confiabilidade do sistema por eles composto. Uma vez configurado o sistema, sua confiabilidade pode ser determinada. Se o sistema não oferecer um nível adequado de confiabilidade, tanto o seu arranjo estrutural como a confiabilidade de suas partes componentes podem ser alterados, em um processo iterativo, em busca de um projeto que atenda às especificações de confiabilidade. (FOGLIATTO, Flavio S. ; RIBEIRO, José L. D. 2009, p.67)

Para todas as Análises de Vida é necessário a escolha do nível de detalhe que se quer abordar: componente, subsistema ou sistema. Já que, independente da escolha, a análise considera como se fosse uma “caixa preta”, um bloco modelo que descreve um determinado comportamento. Se for identificado a necessidade de aumentar o nível de detalhe, ou seja, das partes que formam esse bloco, uma nova Análise de Vida deve ser feita com os dados de vida pertinentes a cada parte que compõe o bloco. Por ex., de sistema para subsistema, de subsistema para componente.

Para qualquer análise de dados de vida, escolhe-se um ponto em que nenhuma informação mais detalhada sobre o objeto de análise é conhecida ou precisa ser considerada. Nesse ponto, trata-se o objeto da análise como uma "caixa preta". A seleção desse nível (por exemplo, componente, subconjunto, montagem ou sistema) determina o detalhe da análise. (...) Em outras palavras, na análise de confiabilidade do sistema, estamos preocupados com a construção de um modelo (distribuição de vida) que representa os tempos de falha de todo o sistema com base nas distribuições de vida dos componentes, subconjuntos e / conjuntos ("caixas preta") do qual o sistema é composto. (Reliawiki.org / System Analysis Reference (RBDs and Fault Trees) / Basics of System Reliability Analysis. Disponível em: http://www.reliawiki.org/index.php/Basics_of_System_Reliability_Analysis. Acesso em: 02 out. 2017, 18:30, tradução nossa).

Na Figura 3.1 observa-se como um sistema pode ser representado por seus componentes e respectivas curvas de confiabilidade.

Figura 3.1 – Esquema de um sistema formado por componentes



Fonte: Reliawiki.org / System Analysis Reference (RBDs and Fault Trees) / Basics of System Reliability Analysis (2017).

Ou seja, na análise de confiabilidade do sistema, é possível ou desejável a construção de um modelo (distribuição de vida) que representa os tempos de falha de todo o sistema com base nas distribuições de vida dos componentes, subconjuntos e / ou subsistemas. Dessa forma é possível através da melhoria de uma parte que compõe esse sistema, prever o resultado geral do sistema.

3.3 DIAGRAMAS DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE

Diagramas de Blocos de Confiabilidade, ou em inglês “*Reability Block Diagrams*” (RBD), são usados para descrever a inter-relação entre componentes, e conseqüentemente a formação de um sistema. Ele consiste em uma representação gráfica dos componentes de um sistema e como estão inter-relacionados do ponto de vista de confiabilidade, e não necessariamente suas ligações físicas.

RDB's são representados por blocos, e nele são inseridos os dados relativos à confiabilidade:

- Histórico de falhas;
- Distribuições de Vida;
- Manutenibilidade;
- Disponibilidade;
- Custos;

A inter-relação entre os blocos é feita através de linhas que conectam os blocos de um sistema. Formando assim a confiabilidade de todo o sistema.

3.4 SISTEMAS REPARÁVEIS E NÃO REPARÁVEIS

Sistemas podem ser classificados como reparáveis e não reparáveis.

Os Não Reparáveis como sugere o nome são substituídos ao apresentarem a falha. Essa abordagem de não reparabilidade pode ser em função inerente do sistema, como por ex. pastilhas de freio que se desgastam no uso até o limite de não poderem desempenhar sua função. Pode ser por uma característica construtiva, como por exemplo um moto-redutor de pequeno tamanho que é construído de forma a não permitir sua reparabilidade. Ou mesmo por uma decisão financeira em que o custo do reparo possui valor significativo quanto comparado à um novo.

Geralmente nesses casos, os dados de vida do componente formam um bloco, ou como escrito anteriormente, uma “caixa preta”. Participando assim de um sistema de nível mais abrangente. Como todo o componente apresenta o mesmo tempo de vida; foi instalado e substituído no mesmo tempo, aplica-se a Análise de Dados de Vida (LDA).

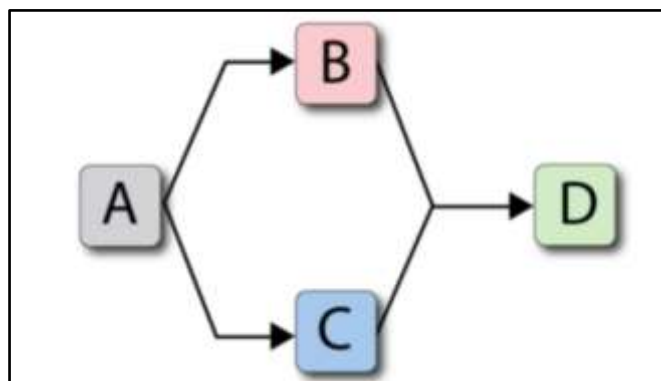
Já os Sistemas Reparáveis possuem uma abordagem de atividades de manutenção após a falha. Um bom exemplo é o carro, que à medida que avança seu tempo de operação (quilômetros rodados ou anos de uso), as falhas vão ocorrendo e aquele componente ou conjunto que falhou é substituído (por ex., pastilhas de freio, pneus, lâmpadas); ou reparado (amassados na carroceria, danos leves no para-choque, retífica de motor). Ao longo do tempo em operação ter-se-á várias partes (subsistema, conjunto ou componente) com diferentes tempos de vida: os já reparados, os substituídos, ou os que ainda irão falhar.

Dessa forma é mais aplicável uma abordagem diferenciada, quando comparado aos Sistemas Não Reparáveis, já que é necessário explicitar melhor essas diferenciações de tempo de vida de cada componente. Aplica-se então o RBD, em que cada componente/conjunto/subsistema pode ser melhor representado através de um bloco de confiabilidade conforme descrito anteriormente.

Outra diferenciação para os Sistemas Reparáveis é que possuem, além do tempo até falha, o tempo até reparo. Acrescentando assim a distribuição que representa o tempo em que o conjunto/subsistema possui para ser reparado. Ou seja, os sistemas reparáveis apresentam um ciclo em operação formado pelo tempo até a falha. No momento seguinte é formado por um tempo até o reparo. Até que a função é restabelecida e um novo ciclo de operação é iniciado.

Na Figura 3.2 é possível verificar um sistema composto pelos blocos com suas inter-relações de confiabilidade.

Figura 3.2 - Diagrama de Blocos de um Sistema



Fonte: Reliawiki.org / System Analysis Reference (RBDs and Fault Trees) / Repairable Systems Analysis Through Simulation (2017).

Exemplificando um comportamento real de ciclos de operação e manutenção, considere que o sistema é formado pelos blocos “A”, “B”, “C” e “D” e apresentam os seguintes comportamentos de tempos até falha:

- Bloco “A”: falha a cada 100 horas;
- Bloco “B”: falha a cada 120 horas;
- Bloco “C”: falha a cada 140 horas;

- Bloco “D”: falha a cada 160 horas;
- O tempo de reparo total para todos os blocos é de 10 horas.

O comportamento detalhado do sistema considerando uma operação com tempo até 300h será conforme o Quadro 3.1.

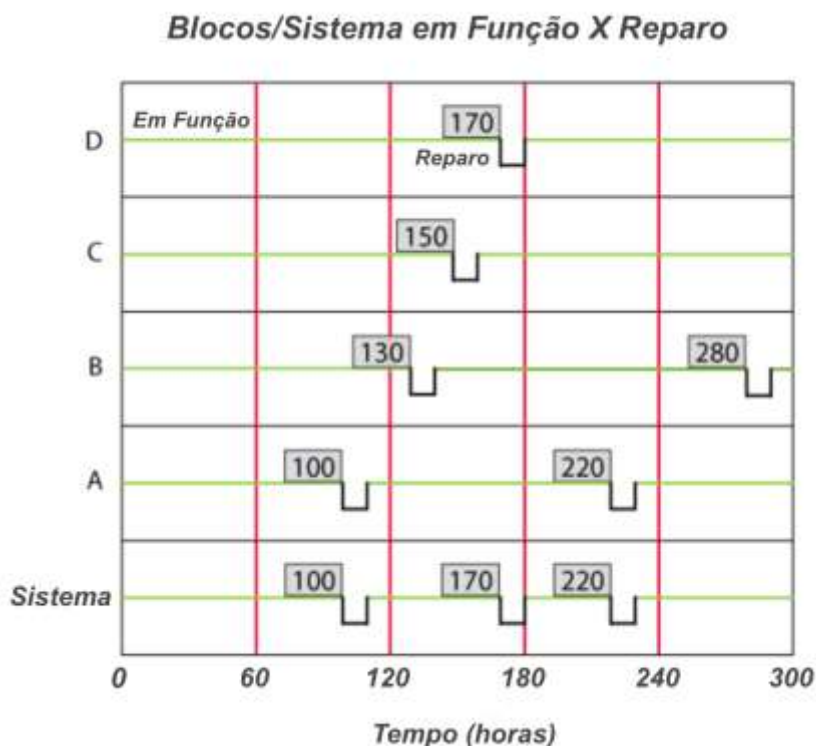
Quadro 3.1 - Tempos até falha de um Sistema

Tempo (horas)	Bloco	Função do Bloco	Função do sistema
100	A	Falha e é reparado até às 110h	Em falha
130	B	Falha e é reparado até às 140h	Continua a operar
150	C	Falha e é reparado até às 160h	Continua a operar
170	D	Falha e é reparado até às 180h	Em falha
220	A	Falha e é reparado até às 230h	Em falha
280	B	Falha e é reparado até às 290h	Continua a operar
300	Encerra-se.		

Fonte: Reliawiki.org / System Analysis Reference (RBDs and Fault Trees) / Repairable Systems Analysis Through Simulation (2017).

Na Figura 3.3 é possível verificar visualmente o comportamento de cada bloco com relação aos dados de vida e os de reparo. Bem como a relação de cada um deles com a função do sistema.

Figura 3.3 - Diagrama de Função/Reparo de um Sistema Reparável



Fonte: Reliawiki.org / System Analysis Reference (RBDs and Fault Trees) / Repairable Systems Analysis Through Simulation (2017).

Observa-se então em um sistema reparável componentes que falham e que são reparados. Esses tempos de falha de cada componente podem ser diferentes e influem na confiabilidade do sistema de acordo com o diagrama de confiabilidade.

3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi abordado o referencial teórico que será utilizado nesse trabalho com relação a metodologia aplicada para as válvulas AD's.

Em Modelos de Distribuição de Vida que são curvas estatísticas que modelam os dados históricos de vida de um componente. Apresentado uma breve descrição das curvas mais utilizadas e em quais aplicações: uso geral, fadiga, carga, etc.

Em Análise de Confiabilidade de Sistema fez-se um comparativo entre a menor unidade assumida na análise (bloco ou caixa preta); com um sistema mais complexo e formado de vários componentes (blocos). Abordando assim de que

forma pode ser tratado diferentes níveis dos equipamentos, do mais simples ao mais complexos, baseado no histórico de vida existente.

Em Diagramas de Bloco de Confiabilidade, apresentou-se a forma em que é utilizado a Confiabilidade de Sistemas com suas respectivas subdivisões (blocos). A aplicação dos Modelos de Distribuição de Vida em cada bloco. E, como é feito a inter-relação do ponto de vista de confiabilidade de cada bloco com os demais. E como eles interagem refletindo no comportamento de um sistema. E os consequentes resultados possíveis no que tange à análise de confiabilidade: disponibilidade, distribuição de vida, etc...

Em Sistemas Reparáveis e Não Reparáveis apresentou-se o que são e os motivos da diferenciação desses sistemas. Bem como de que forma o Diagrama de Blocos pode suportar os Sistemas Reparáveis como forma de se atingir uma Curva de Vida.

No próximo capítulo será abordado a forma em que o referencial teórico foi aplicado para a análise de confiabilidade das Válvulas AD's. Bem como o procedimento para a coleta e análise dos dados, as considerações e simplificações adotadas, e os respectivos resultados e comentários.

4 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE NAS VÁLVULAS GUILHOTINAS

Nesse capítulo será apresentada a aplicação dos conceitos escritos no capítulo anterior, baseando-se no histórico de vida até falha das válvulas, das informações coletadas e analisadas, as considerações e simplificações adotadas, bem como os resultados obtidos com os respectivos comentários.

4.1 HISTÓRICO DE VIDA ATÉ FALHA DAS VÁLVULAS

O trabalho de geração de histórico sobre o que ocorre nas válvulas iniciou-se há cerca de 1 (hum) ano antes, em função da percepção de falhas constantes, definiu-se requisitos mínimos de informação nos retornos das ordens de serviço executadas pela equipe de manutenção. Esses requisitos deveriam constar o número da válvula, o que foi feito e o porquê. Inicialmente tais serviços foram acompanhados por pessoas com maior experiência para verificar a efetividade das ações desenvolvidas de reparo. Já que foi observado inicialmente uma tendência de redação diferente para a mesma falha, e/ou a identificação inadequada entre efeito e causa da má função das válvulas. Ambos podendo interferir na análise do problema. O aprendizado é que o alinhamento adequado desses requisitos, e do conhecimento disseminado entre os envolvidos foi muito importante para o resultado. Ter-se o envolvimento dos diferentes níveis: mecânicos, inspetores, supervisores e engenheiros; enxergando o problema da mesma forma. E, ao se deparar sobre um novo problema, todos irem ao campo na busca desse alinhamento. Para isso faz-se necessário checagens no local das atividades de manutenção, reuniões de alinhamento, elaboração e apresentação de relatórios e disseminação da informação.

Todos os retornos nas ordens de serviço eram verificados posteriormente com relação à qualidade da informação, bem como os resultados inseridos em uma planilha para posterior análise. Esse trabalho foi de suma importância para a criação de um histórico adequado. Todo o fluxo de geração, programação e retorno das ordens de serviço era suportado por um sistema estruturado de manutenção, conforme atividades de rotina de manutenção na Empresa.

O histórico de tempo até falha considerado é em “dias”, já que é uma medida adequada para as programações realizadas no sistema de manutenção face ao histórico de tempo até falhas. Já o equipamento analisado opera em regime de 24h/dia, 7 dias/semana.

A informação das atividades relativa às datas e nomes das pessoas de execução constava no corpo das ordens de serviço, sendo geradas automaticamente pelo sistema de manutenção conforme programação. Já o número da válvula que foi reparada, o que foi feito e porquê constava no texto de retorno das ordens de serviço. Toda a atividade era realizada e acompanhada pelo inspetor do equipamento, e seu retorno aprovado pelo mesmo. Gerando assim o histórico no sistema de manutenção.

Conforme descrito no capítulo 2, cada válvula guilhotina é formada por faca, corpo, molas e cilindro pneumático. E as falhas relatadas eram conforme abaixo:

- Facas: desgaste por abrasão da sede de vedação, impedindo assim a selagem entre a linha de vácuo e a câmara de materiais, vazamento;
- Corpo: folga excessiva por onde deslocava as facas, permitindo agregação de material particulado e conseqüentemente travamentos;
- Molas: desgaste ou quebra, vazamento.
- Cilindro Pneumático: passagem pela selagem de vedação no êmbolo, e conseqüentemente força aplicada menor do que a requerida para o deslocamento da faca, ou seja, travamento.

Mensalmente, cada ordem de serviço executada e aprovada era lida seu retorno e os dados passados para uma tabela de controle conforme Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - histórico de falhas válvulas AD'S - (22/08/16 à 14/06/17)

Válvula	Componente	Data Falha	Dias até a falha	Status
AD1	Faca	16/03/2017		
	Faca	02/05/2017	47	F
	Faca		121	S
	Corpo	30/08/2016		
	Corpo	12/09/2016	13	F

	Corpo	10/11/2016	59	F
	Corpo	24/11/2016	14	F
	Corpo		280	S
	Mola	02/05/2017	121	S
AD2	Corpo	30/08/2016		
	Corpo	12/09/2016	13	F
	Corpo	10/11/2016	59	F
	Corpo	08/05/2017	179	F
	Corpo		115	S
AD3	Faca	04/04/2017	149	S
	Corpo	30/08/2016		
	Corpo	10/11/2016	72	F
	Corpo	10/01/2017	61	F
	Corpo		233	S
	Mola	10/01/2017		
	Mola	04/04/2017	84	F
	Mola		149	S
	Cilindro	25/04/2017	128	S
(...) Continua até a Válvula 23 (...)				
AD23	Corpo	30/08/2016	366	S

Fonte: o autor (2017).

Conforme pode ser observado, as informações eram agrupadas por válvula, e posteriormente por tipo de falha. Sempre ordenadas na sequência cronológica crescente. Ou seja, à medida da sua ocorrência em cada válvula. A primeira data de cada ocorrência de falha era usada como referencial para marcar o início do tempo até falha daquela ocorrência em específico. Podendo ter tempo até falha completos (F) ou dados censurados/com suspensão (S).

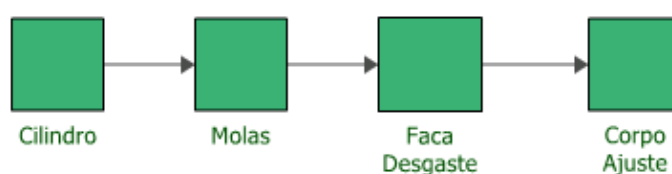
4.2 CONCEITOS TEÓRICOS APLICADOS À ANÁLISE

Para a aplicação dos conceitos na análise das válvulas AD's considerou-se que cada componente (facas, corpo, molas e cilindro) são tratados como as unidades mínimas de reparo, ou "LRU" (*Lowest Repairable Unit*). No caso da falha das molas, a atividade tecnicamente aplicável é a substituição. Já as facas eram

substituídas por novas, ou reparada a superfície desgastada, considerando-se assim que após o reparo apresentam desempenho igual como se fossem novas. O mesmo se aplica ao corpo da válvula e dos cilindros pneumáticos.

Essa simplificação de que cada componente é a mínima unidade reparável, possibilita a aplicação de análise de dados de vida (“LDA”) pelo histórico de tempos até falha. A descrição da válvula dar-se-á pela exemplificação de um diagrama lógico de confiabilidade (“RBD”), conforme Figura 4.1.

Figura 4.1- RDB das Válvulas AD´s



Fonte: o autor (2017).

Essa configuração lógica de confiabilidade em que cada componente está em série simples é condicente com a válvula na prática, já que a válvula irá falhar desde que no mínimo um dos componentes falhar.

Em uma configuração em série, o componente com menor confiabilidade tem o maior efeito na confiabilidade do sistema. Como se diz que uma corrente é tão forte quanto o seu elo mais fraco. Este é um bom exemplo do efeito de um componente em um sistema em série. Em uma corrente, todos os elos estão em série e, se algum dos elos quebrar, o sistema falha. Além disso, o elo mais fraco na corrente é o que vai falhar primeiro. O elo mais fraco dita a força da corrente da mesma maneira que o componente / subsistema mais fraco dita a confiabilidade de um sistema em série. Como resultado, a confiabilidade de um sistema em série é sempre menor que a confiabilidade do componente menos confiável. (<http://www.reliawiki.org> , RBDs and Analytical System Reliability, Effect of Component Reliability in a Series System. Disponível em: http://www.reliawiki.org/index.php/RBDs_and_Analytical_System_Reliability . Acesso em: 17 set. 2017, 21:30, tradução nossa)

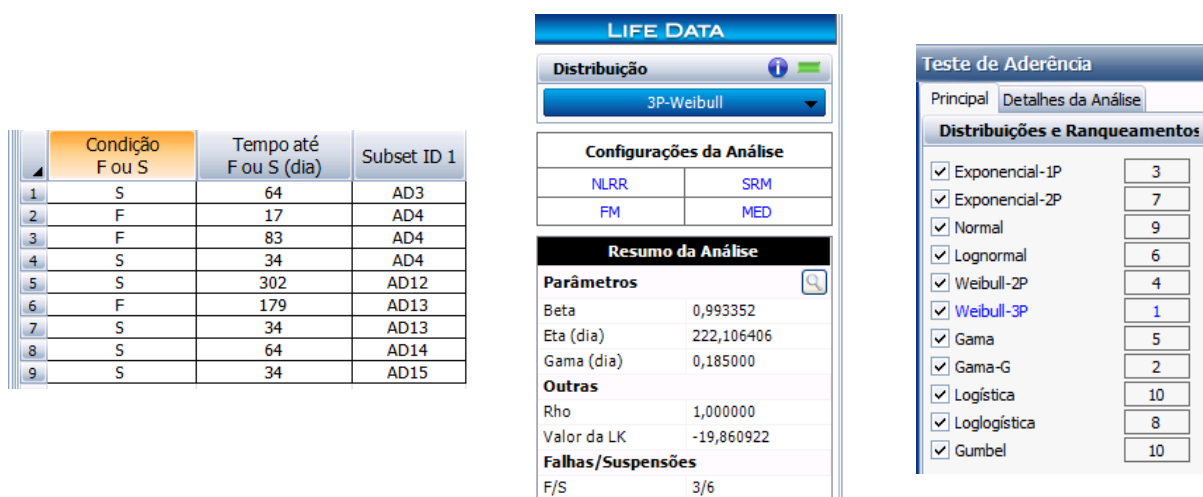
Outra consideração é que todas as válvulas possuem o mesmo contexto operacional, ou seja, estão sujeitas às mesmas condições operacionais. E conseqüentemente estão sujeitas ao mesmo tipo e nível de esforço. Com isso, torna-se possível o agrupamento dos dados de vida de todas as válvulas. E permitindo um histórico com maior quantidade de dados a serem analisados.

4.3 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DOS COMPONENTES DAS VÁLVULAS

Conforme descrito anteriormente, os dados de vida agrupados de cada componente das válvulas foram inseridos no Reliasoft Weibull ++, realizado teste de aderência, e aplicado a melhor curva.

Os resultados para o Cilindro é conforme Figura 4.2.

Figura 4.2 – Parâmetros da Função de Confiabilidade – Cilindro



Fonte: o autor (2017).

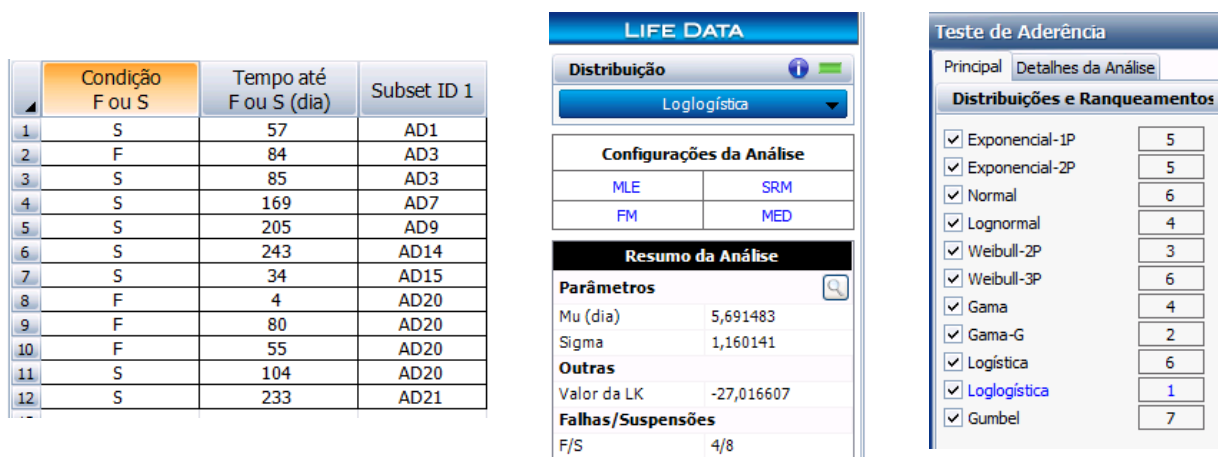
A curva melhor ajustada é a Weibull tri paramétrica, o valor de $\beta=0,9933$ está próximo de $\beta=1$. Nesses casos é possível considerar que a falha possui característica aleatória (taxa de falha constante) ou de que o componente está sendo retirado ainda durante sua vida útil.

Para o resultado de $\gamma=0,185$ dia, que é o parâmetro de localização, demonstra que a distribuição iniciou em tempo=0,185 dias = 4,4 horas. Isso deve-se à frações de dias que o serviço pode ocorrer, por ex. OS`s que começaram à tarde do mesmo dia.

Já para o resultado de $\eta=222$ dias referencia o parâmetro de escala da abcissa, deve ser utilizada comparando conjuntamente com os valores de outros parâmetros da distribuição (β e γ).

Os resultados para as molas é conforme Figura 4.3

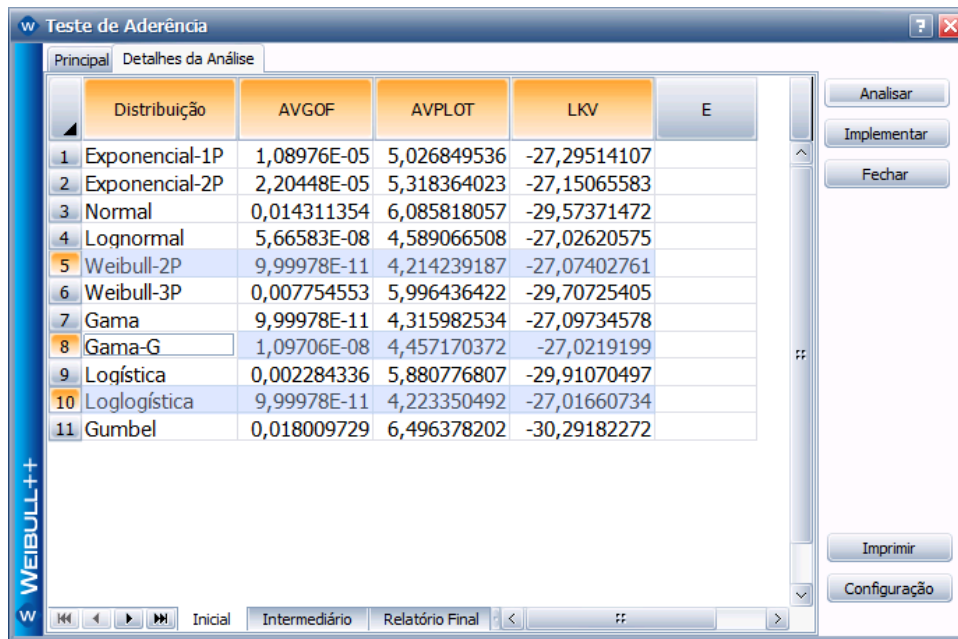
Figura 4.3 - Parâmetros da Função de Confiabilidade - Mola



Fonte: o autor (2017).

A curva melhor ajustada é a Loglogística conforme acima. Porém, para uma melhor análise de dados de vida do componente, será escolhido a Weibull bi paramétrica. Já que pelo Teste de Aderência no Weibull++ os três parâmetros: Kolmogorov-Smirnov (K-S), o coeficiente de correlação normalizado e o valor de máxima verossimilhança estão próximos conforme Figura 4.4.

Figura 4.4 - Teste de aderência – parâmetros



	Distribuição	AVGOF	AVPLOT	LKV	E
1	Exponencial-1P	1,08976E-05	5,026849536	-27,29514107	
2	Exponencial-2P	2,20448E-05	5,318364023	-27,15065583	
3	Normal	0,014311354	6,085818057	-29,57371472	
4	Lognormal	5,66583E-08	4,589066508	-27,02620575	
5	Weibull-2P	9,99978E-11	4,214239187	-27,07402761	
6	Weibull-3P	0,007754553	5,996436422	-29,70725405	
7	Gama	9,99978E-11	4,315982534	-27,09734578	
8	Gama-G	1,09706E-08	4,457170372	-27,0219199	
9	Logística	0,002284336	5,880776807	-29,91070497	
10	Loglogística	9,99978E-11	4,223350492	-27,01660734	
11	Gumbel	0,018009729	6,496378202	-30,29182272	

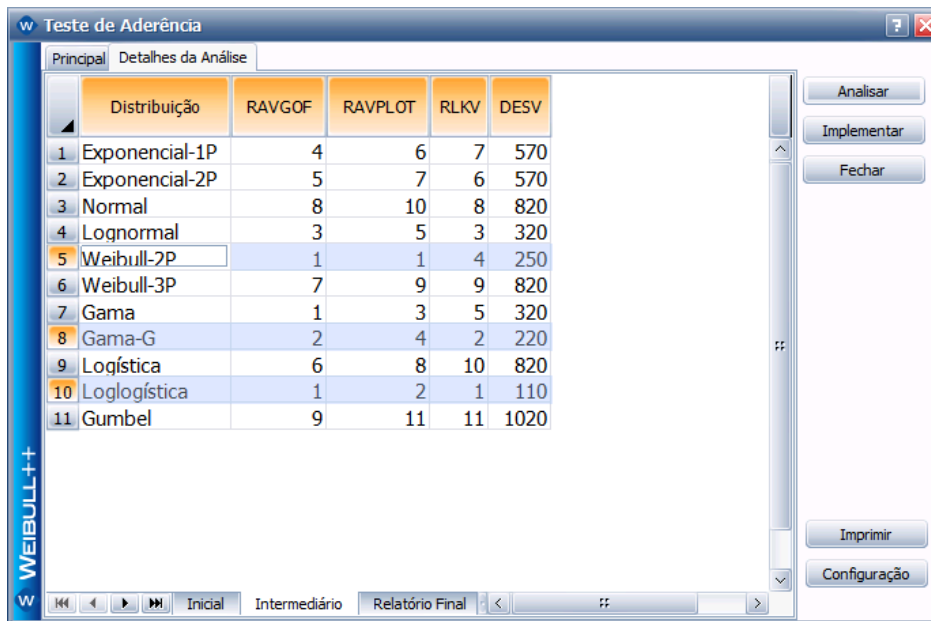
Fonte: o autor (2017).

Já para o desvio global resultado da ponderação dos três parâmetros acima é dado por:

$$\text{DESV} = (\text{AVGOF Rank} \times \text{AVGOF Weight}) + (\text{AVPLOT Rank} \times \text{AVPLOT Weight}) + (\text{LKV Rank} \times \text{LKV Weight})$$

Com o valor calculado conforme Figura 4.5.

Figura 4.5- Teste de aderência – desvio global

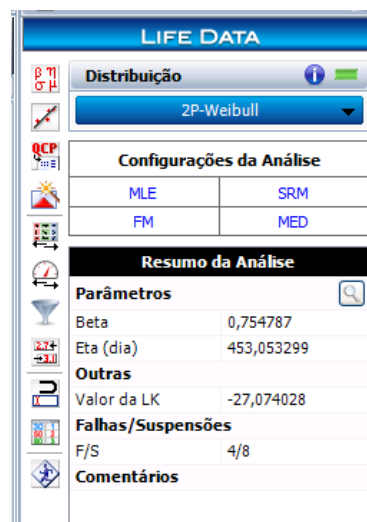


	Distribuição	RAVGOF	RAVPLOT	RLKV	DESV
1	Exponencial-1P	4	6	7	570
2	Exponencial-2P	5	7	6	570
3	Normal	8	10	8	820
4	Lognormal	3	5	3	320
5	Weibull-2P	1	1	4	250
6	Weibull-3P	7	9	9	820
7	Gama	1	3	5	320
8	Gama-G	2	4	2	220
9	Logística	6	8	10	820
10	Loglogística	1	2	1	110
11	Gumbel	9	11	11	1020

Fonte: o autor (2017).

A Figura 4.6 demonstra o resultado na aplicação para a curva Weibull bi paramétrica.

Figura 4.6 - Parâmetros da Função de Confiabilidade Weibull – Mola



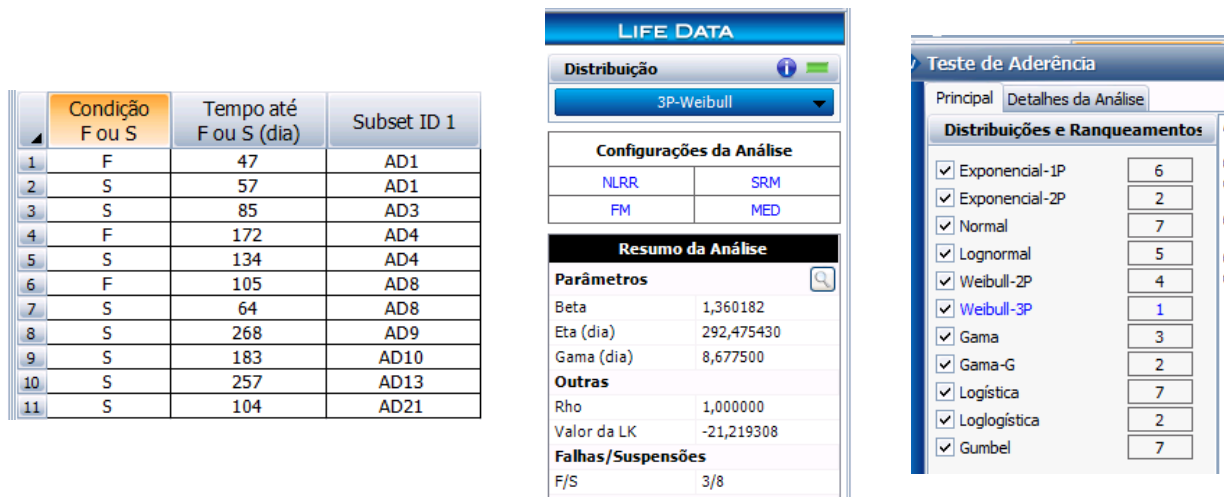
LIFE DATA	
Distribuição	
2P-Weibull	
Configurações da Análise	
MLE	SRM
FM	MED
Resumo da Análise	
Parâmetros	
Beta	0,754787
Eta (dia)	453,053299
Outras	
Valor da LK	-27,074028
Falhas/Suspensões	
F/S	4/8
Comentários	

Fonte: o autor (2017).

Com o valor de $\beta=0,7547$ ($0 \leq \beta \leq 1$), o fator de forma indica uma taxa de falha decrescente, típico nos casos de falha prematura.

A Figura 4.7 demonstra os resultados para as facas.

Figura 4.7 - Parâmetros da Função de Confiabilidade – Faca



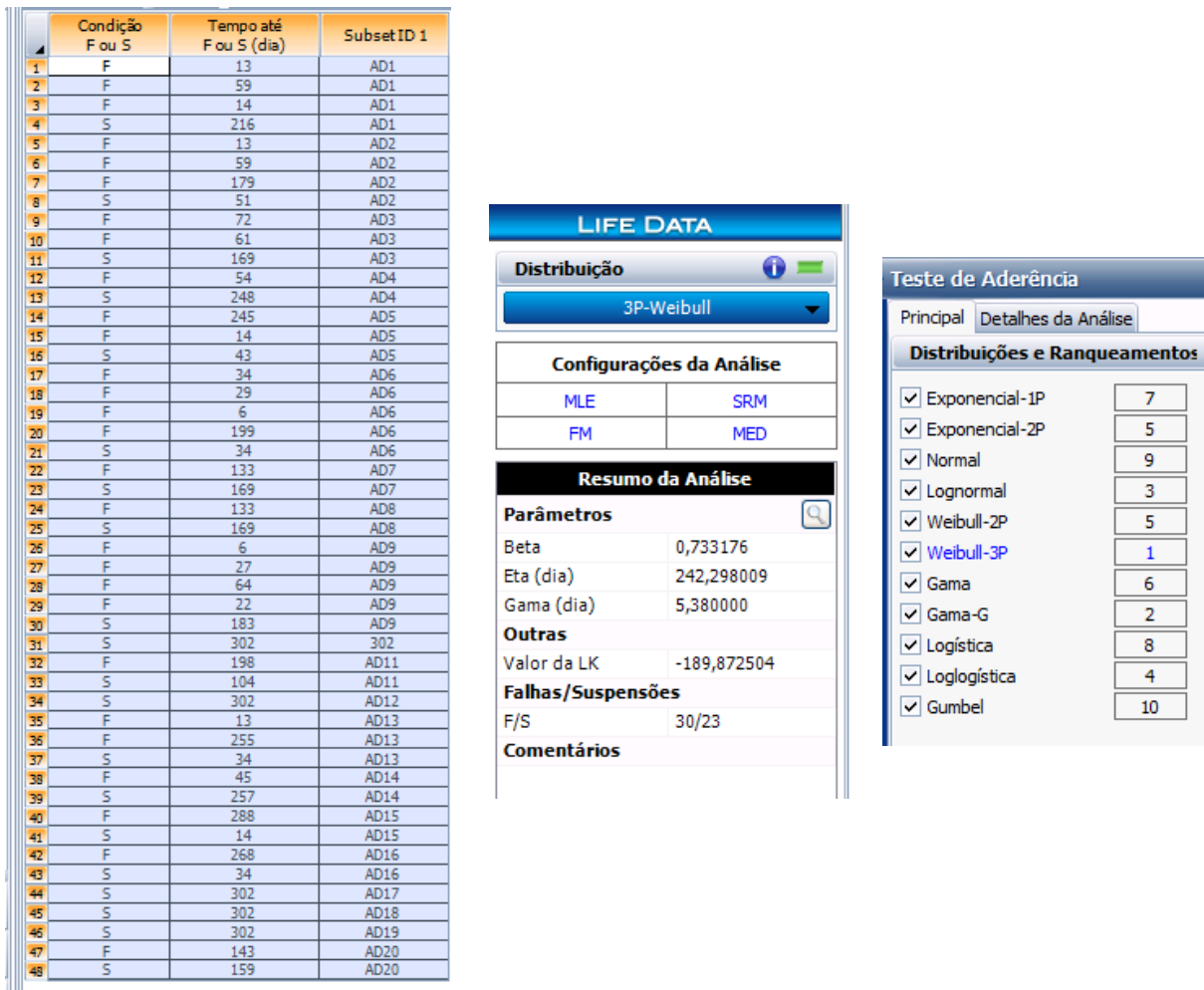
Fonte: o autor (2017).

A curva melhor ajustada é a Weibull tri paramétrica, o valor de $\beta=1,360$ ($\beta > 1$) o fator de forma indica uma taxa de falha crescente, típico de falha por desgaste. Resultado condicente com o fenômeno físico fundamental que o componente está exposto em funcionamento.

- Corpo:

Os resultados para o Corpo é conforme Figura 4.8.

Figura 4.8 - Parâmetros da Função de Confiabilidade – Corpo



Fonte: o autor (2017).

A curva melhor ajustada é a Weibull tri paramétrica, o valor de $\beta=0,733$ ($0 \leq \beta \leq 1$) o fator de forma indica uma taxa de falha decrescente, típico nos casos de falha prematura.

No Quadro 4.2 pode verificar o resumo das curvas de confiabilidade Weibull para cada componente das válvulas AD's, com os respectivos parâmetros e a falha típica.

Quadro 4.2 - Parâmetros de Confiabilidade para cada componente das válvulas

Componente	Curva	β	Tipo de Falha
Cilindro	Weibull tri paramétrica	$\beta=0,9933$ ($\beta \cong 1$)	Típico de falha aleatória
Mola	Weibull bi paramétrica	$\beta=0,7547$ ($0 \leq \beta \leq 1$),	Típico de falha prematura
Faca	Weibull tri paramétrica	$\beta=1,360$ ($\beta > 1$)	Típico de falha por desgaste
Corpo	Weibull tri paramétrica	$\beta=0,733$ ($\beta < 1$)	Típico falha prematura

Fonte: o autor (2017).

As informações do comportamento de cada componente com relação à curva de confiabilidade traz informação importante para a análise proposta do trabalho que será melhor explorado na próxima seção.

4.4 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DO SISTEMA

No capítulo 3 anteriormente descrito apresentou-se o referencial teórico desse trabalho, principalmente nos capítulos: 3.2 Análise de Confiabilidade de Sistemas e 3.3 Diagramas de Blocos de Confiabilidade. Abordando-se como um sistema pode se descrito por partes (componentes/subsistemas) sob o ponto de vista de confiabilidade.

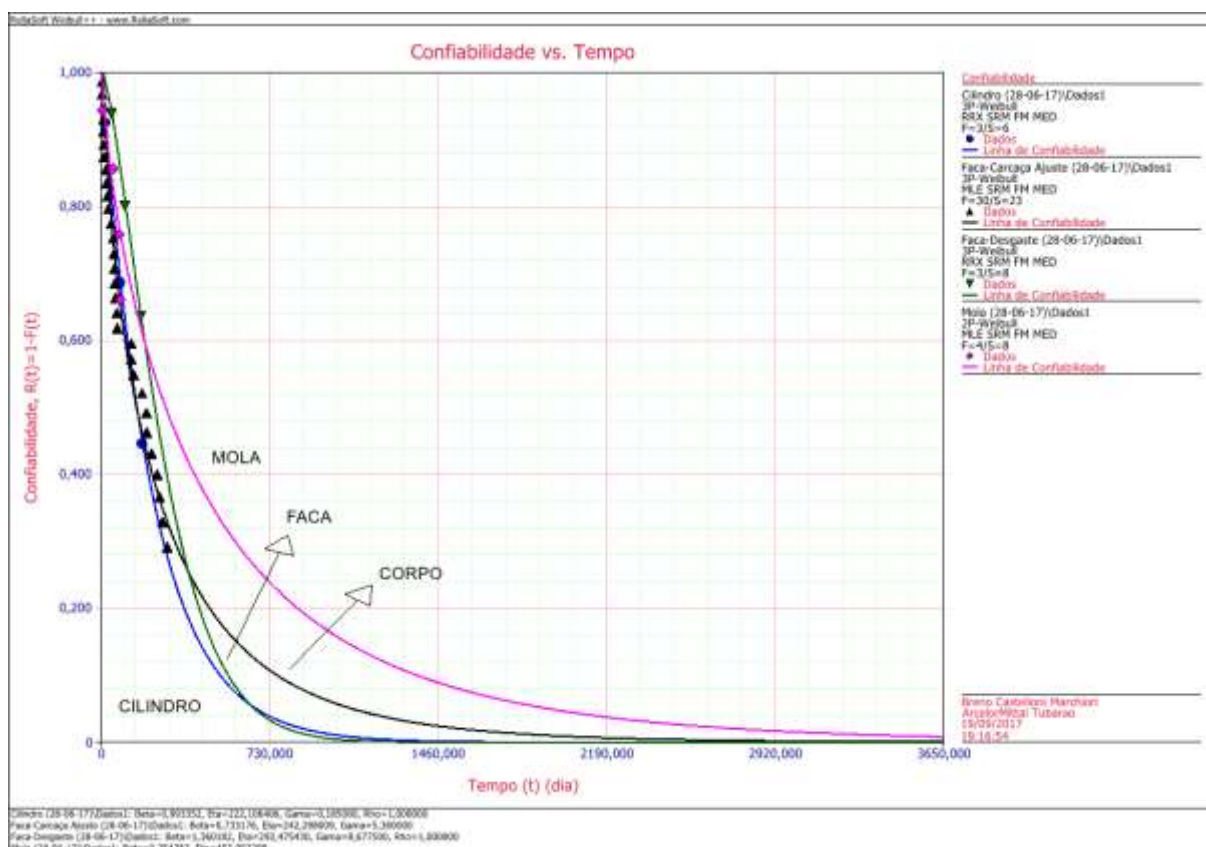
Já na seção 4.2 conceitos teóricos aplicados à análise, apresentou-se como a confiabilidade de cada bloco pode interferir na confiabilidade do sistema. Principalmente com relação aos elementos/blocos de menor confiabilidade.

Esses conceitos aplicados permitem diagnosticar os componentes que estão contribuindo para a redução da confiabilidade do sistema. E conseqüentemente as definições de estratégia de manutenção para melhoria da confiabilidade.

Na Figura 4.9 observa-se o comportamento da confiabilidade baseado no histórico de vida de cada componente ao longo de 10 anos (3650 dias). Os pontos

na curva mais próximo da abscissa possuem menor confiabilidade para um mesmo tempo de vida, e conseqüentemente afetam mais fortemente a redução de confiabilidade das válvulas AD's.

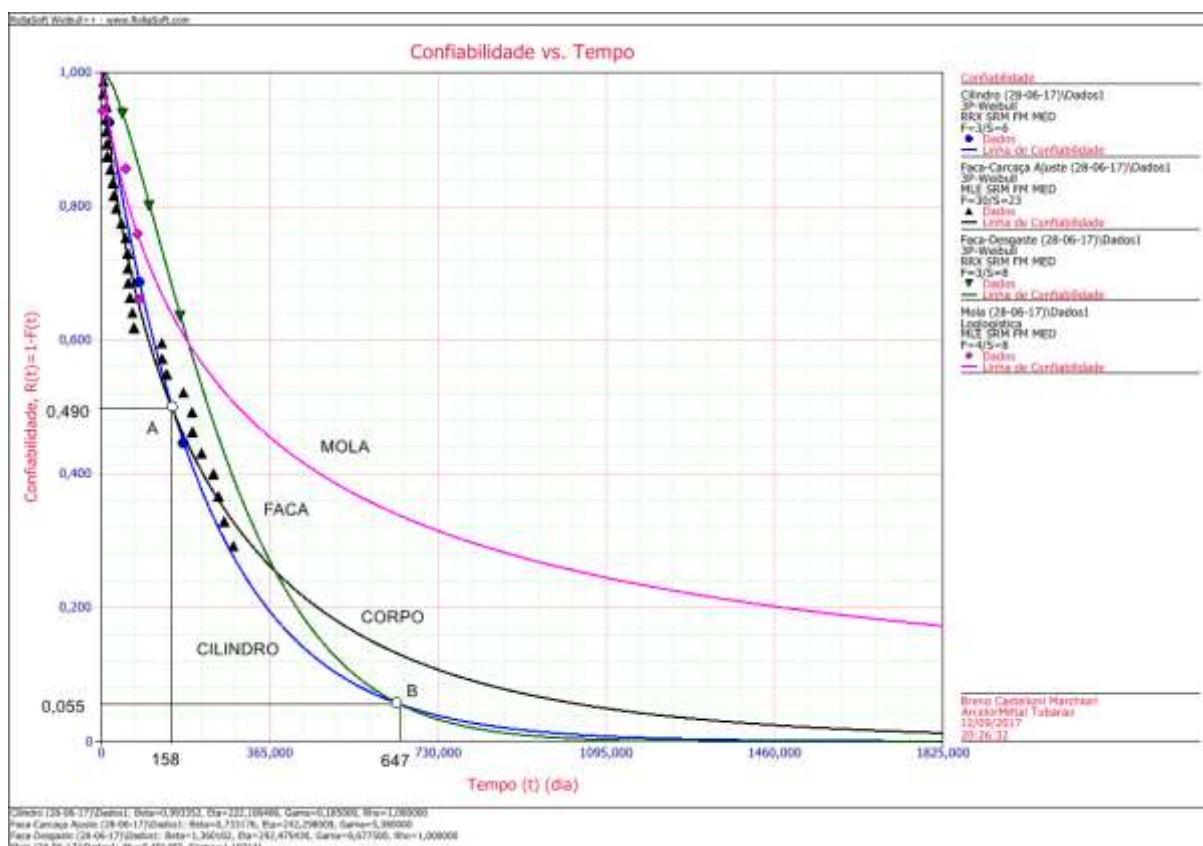
Figura 4.9 – Curvas de Confiabilidade com 10 anos



Fonte: o autor (2017).

Já na Figura 4.10 pode-se ver com mais detalhes para um tempo de vida de até 5 anos o comportamento de cada componente:

Figura 4.10 – Curvas de Confiabilidade com 5 anos



Fonte: o autor (2017).

Observa-se então os períodos:

- Tempo até 158 dias: a curva mais próxima da abcissa é a correspondente ao corpo da válvula.
- Tempo de 158 a 647 dias: o cilindro é o componente que apresenta a menor confiabilidade.
- Tempo a partir de 647 dias: a faca é o componente de menor confiabilidade.

Confirmando assim que as curvas de confiabilidade conseguem de fato descrever o comportamento que cada componente têm com relação ao princípio físico da degradação da válvula.

No primeiro período (até 158 dias), o corpo da válvula é o componente que possui a menor confiabilidade. A confiabilidade de cada componente interfere com o resultado da confiabilidade do sistema, porém o corpo da válvula é o “elo mais fraco dessa corrente” conforme descrito na seção 4.2. Fisicamente, isso deve-se ao fato de que a folga existente entre a faca e o corpo é ajustada durante as atividades de reparo em campo, ao abrir a válvula para substituição dos componentes defeituosos. Logo, têm-se a possibilidade de adoção de uma rotina com definição de parâmetros para uma maior precisão de ajuste na montagem. Principalmente que para o corpo a falha típica indica falha prematura ($\beta < 1$) de acordo com o parâmetro da curva Weibull, conforme descrito no texto anteriormente.

Já para o segundo período que compreende de 158 dias até 647 dias o cilindro possui a menor confiabilidade. Como o indicativo de falha de acordo com o parâmetro β da curva Weibull possui indicação típica de falha aleatória. Ações ligadas ao cilindro, como por ex.: qualidade do ar comprimido com relação à pressão, vazão e presença de contaminantes; treinamentos especializados, melhoramento no diagnóstico de falha; comparativo de fornecedor; faz necessário para a melhoria da confiabilidade.

Para o terceiro período que compreende a partir de 647 dias o desgaste da faca é o mais preeminente com relação à redução de confiabilidade. Como o parâmetro β da curva Weibull é típico de falha por desgaste. Ocasionada pela abrasão do material particulado fino em contato com a superfície de selagem das facas. Esse desgaste ocorre em um tempo de maior vida em função da necessidade de exposição contínua, acumulando assim o desgaste do material.

No Quadro 4.3 observa-se os intervalos de vida e respectivos componentes com menor confiabilidade no sistema, bem como os resultados de curva de confiabilidade e falhas típicas.

Quadro 4.3 – Componentes de menor criticidade e respectivo período de vida

Intervalos	Período de Vida (dias)	Componente com menor confiabilidade	Curva	β	Tipo de Falha
1	Até 158	Corpo da Válvula	Weibull tri paramétrica	$\beta=0,733$ ($\beta<1$)	Típico falha prematura
2	158 à 647	Cilindro	Weibull tri paramétrica	$\beta=0,9933$ ($\beta\approx 1$)	Típico de falha aleatória
3	À partir de 647	Faca	Weibull tri paramétrica	$\beta=1,360$ ($\beta>1$)	Típico de falha por desgaste

Fonte: o autor (2017).

Isso permite a priorização e identificação de ações propostas de manutenção de forma a corrigir desvios e aumentar a confiabilidade, conforme pode ser visto no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Ações proposta de manutenção

Intervalos	Período de Vida (dias)	Componente com menor confiabilidade	Ações propostas de manutenção
1	Até 158	Corpo da Válvula	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de desgaste no corpo (substituição); • Ajuste adequado conforme projeto;
2	158 à 647	Cilindro	<ul style="list-style-type: none"> • Treinamento sobre Manutenção em cilindros pneumáticos; • Checagem de pressão da linha de ar comprimido; • Tratamento de impurezas no ar.
3	À partir de 647	Faca	<ul style="list-style-type: none"> • Substituição; • Aplicação de material de maior resistência à abrasão.

Fonte: o autor (2017).

Conforme demonstrado na Figura 4.10, a mola é o componente de maior confiabilidade no tempo de vida estudado dentre os demais componentes. Logo, é o que menos contribui para a diminuição da confiabilidade das válvulas. Porém, conforme descrito no Quadro 4.2, possui curva característica com parâmetro $\beta < 1$, típico de falha prematura. Em entrevista à equipe de execução, foi mencionado que de fato algumas molas novas apresentam mal funcionamento durante os testes após reparo. Sendo necessário algumas vezes serem substituídas por outras. Com isso, em função do baixo custo das molas com relação aos demais componentes da válvula. É possível a aplicação de rotinas que melhorem a confiabilidade das molas através de ações junto aos fornecedores. Como por exemplo, propriedades do material e controle dimensional. Isso contribuiria também para o aumento de confiabilidade das válvulas.

4.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi aplicado o referencial teórico abordado no Capítulo 3, ao objeto de pesquisa abordado no Capítulo 2.

Apresentado a metodologia de levantamento de dados de vida através do registro das atividades de manutenção nas válvulas AD's. A necessidade de uma tratativa consolidada com os envolvidos no projeto com relação à importância da qualidade e quantidade da informação. Conseguida através do alinhamento entre todos da equipe com relação ao conhecimento adequado das falhas, causas e efeitos. A estruturação dos registros de falhas, a sistemática de atualização baseado no histórico gerado e como os cálculos de tempo até falha foram feitos.

Posteriormente apresentou-se os conceitos teóricos aplicados à análise, as considerações com relação aos componentes serem não reparáveis. A descrição do sistema válvula AD através da aplicação do RDB em uma configuração em série simples. E como a confiabilidade de cada bloco interfere na confiabilidade do sistema para a configuração aplicada à análise do sistema em estudo.

A utilização do programa Weibull++ para a análise de dados até falha de cada componente da válvula: cilindro, mola, faca e corpo. A identificação das funções mais aderentes a cada componente, e a análise dos parâmetros da função Weibull para indicação da natureza de falha: falhas prematuras, aleatórias ou de desgaste para cada componente.

A sobreposição das curvas geradas de Confiabilidade x Tempo (dias) permitiu a identificação de como cada componente afeta a confiabilidade do sistema, os intervalados de tempo dessa interação e a priorização do respectivo componente de menor confiabilidade. Permitindo assim uma validação das curvas geradas baseado na observação física das falhas. E, principalmente, a possibilidade de identificação de ações de manutenção para correção de eventuais falhas de manutenção ou de componente. Com isso, propiciar um aumento da confiabilidade de todo sistema válvula AD's.

5 CONCLUSÃO

Empresas que atuam nos mercados globais necessitam cada vez mais de buscar a melhoria dos seus processos internos de forma a fazer frente à forte competição existente nesses mercados. Com isso, faz-se necessário a busca rotineira da otimização dos ativos, da força de trabalho, da diminuição das perdas materiais, dos reprocessamentos desnecessários, da perda do potencial intelectual humano como um programa contínuo da busca da excelência de forma a suportar à competitividade.

As exigências legais de funcionamento dessas empresas nos locais que estão instaladas são, dentre outros aspectos, com relação ao tratamento de contaminação do ar. Através de equipamentos de despoeiramento que minimizam os impactos ambientais através da captação, filtragem e liberação do ar dentro de parâmetros legais. Esse material particulado filtrado é conduzido através de linhas de transporte, que através da ação de válvulas, controlam o fluxo para posterior descarga. Logo, a confiabilidade de tais equipamentos é de vital importância para o funcionamento de toda empresa.

O objetivo desse trabalho foi o estudo especificamente dessas válvulas chamadas de válvulas AD's, bem como quais ações poderiam ser adotadas dentro da rotina de manutenção de forma a melhorar a sua confiabilidade. Principalmente ao desgaste que elas apresentam em função da passagem de finos abrasivos.

A dificuldade inicial foi a diversidade de textos de retorno, a falta de padronização e até de entendimento sobre os mecanismos de falha das válvulas. Com isso, identificou-se a necessidade de que todos envolvidos na manutenção dessas válvulas conhecessem com propriedade seu funcionamento e as falhas apresentadas, de forma a nivelar os conceitos para retornos de serviços de manutenção com a qualidade necessária. Divergências textuais nos retornos deveriam ser retiradas. E o conhecimento das possíveis falhas, suas causas e efeitos. Essa etapa foi de vital importância, pois permitiu um histórico adequado para a análise. Bem como a geração de conhecimento da equipe sobre as válvula AD's.

A aplicação dos conceitos de Engenharia de Confiabilidade permitiu identificar quanto cada componente contribui para a confiabilidade total da válvula ao longo do tempo de vida em uso. Identificando intervalos de vida e respectivos

componentes que mais diminuía a confiabilidade. Esses resultados demonstrados através das curvas de confiabilidade ao longo do tempo (dias) aumentaram em muito o conhecimento de como a válvula falha e seus agentes. Convergindo o conhecimento até então das falhas durante a fase de geração de histórico com os resultados quantitativos das curvas de confiabilidade.

Outro ponto relevante identificado é que as ações em curso da proposta de aplicação de material com melhor propriedades em abrasão na face só terá efeito com relação à confiabilidade à partir de 647 dias (1,77 anos). Os custos apurados relativo a aplicação dessa camada de material duro corresponde ao custo de uma válvula completa nova. Ou seja, a utilização dessa rotina dobraria o custo de material para uma contribuição de ganho de confiabilidade só a partir de 1,7 anos de uso. E que o bom resultado da válvula nos testes deve-se inicialmente ao fato de que trata-se de uma válvula com todos componentes novos e ajustados, e não necessariamente dos ganhos oriundos das melhores propriedades do material duro na face da face.

Isso demonstrou que existe um espaço a ser explorado antes da aplicação de material duro. E que o custo previsto que seria utilizado na aplicação do material duro pode ser convertido em ações de manutenção mais adequadas, conforme mencionado no Quadro 4.4. Inclusive eventuais substituições de componentes que forem necessárias.

A aplicação da Engenharia de Confiabilidade permitiu um maior conhecimento sobre como cada componente contribui para as falhas das válvulas AD's. Identificando assim ações de manutenção mais adequadas ao foco que é o aumento de confiabilidade e diminuição dos custos. Tais como custos diretos através de mão-de-obra e reposição de peças defeituosas; e dos custos indiretos, como eventuais necessidades de utilização de equipamentos para remoção do material particulado acumulado dentro do sistema de transporte do sistema de despoeiramento. Bem como do risco de suspensão de operação de uma unidade produtiva na empresa em função da deficiência de transporte e descarga do material particulado. Acarretado por falhas simultâneas de várias válvulas, ou prolongamento de reparo corretivo a alguma válvula AD's.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base na experiência adquirida na elaboração desse trabalho, bem como do aprendizado sobre as válvulas AD's. Segue sugestões de continuidade desse trabalho:

- Aplicação de Delineamento de Experimentos (DOE) em ensaios acelerados com o objetivo de comparar o efeito de melhoria à abrasão da aplicação do material duro comparativamente ao material original, permitindo assim projetar o ganho de vida das válvulas AD's com relação às falhas proveniente de desgaste por abrasão do pó.
- Aplicação de RGA (Reliability Growth Analysis) para um acompanhamento e projeção dos ganhos durante a implementação de melhorias de manutenção proposto nesse trabalho;
- Aplicação de LCCA (Life-Cycle Cost Analysis) para análise dos custos envolvidos com relação à manutenção e o ponto ótimo de substituição das válvulas.

Dessa forma acredita-se que os conceitos abordados nesse trabalho podem contribuir com soluções relevantes para o estudo de Engenharia de Confiabilidade aplicado às necessidades práticas com relação ao papel da manutenção. Bem como a finalidade apresentada e almejada no Capítulo 1 desse trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** Informação e documentação – Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. (modelo de referência com autoria coletiva).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024:** Informação e documentação – Numeração progressiva das seções de um documento - Apresentação. 2 Ed. Rio de Janeiro, 2012. (modelo de referência com autoria coletiva).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027:** Informação e documentação – Sumário - Apresentação. 2 Ed. Rio de Janeiro, 2012. (modelo de referência com autoria coletiva).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028:** Informação e documentação – Resumo - Apresentação. Rio de Janeiro, 2003. (modelo de referência com autoria coletiva).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6034:** Informação e documentação – Índice - Apresentação. 2 Ed. Rio de Janeiro, 2004. (modelo de referência com autoria coletiva).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:** Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2002. (modelo de referência com autoria coletiva).

FOGLIATTO, Flávio. S.; RIBEIRO, José Luiz D. . **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

RAUSAND, Marvin. ; HøYLAND, Arnljot. **System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications**. 2.Ed. New Jersey: Wiley Interscience, 2004.

KNEZEVIC, Jezdimir. **Reliability, Maintainability and Supportability: A Probabilistic Approach**. 1.Ed. London: McGRAW-HILL, 2003.

MURTHY, D. N. Prabhakar; XIE, Min; JIANG, Renyan. **Weibull Models**. 1 Ed. New Jersey: Wiley Interscience, 2004.

Weibull ++. Versão 11.0.1: Reliasoft , 2017. Disponível em: <<http://www.reliasoft.com/index.html>> . Acesso em: 13 out. 2017.

Reliawiki.org/ System Analysis Reference (RBDs and Fault Trees) / Repairable Systems Analysis Through Simulation. Disponível em: <http://www.reliawiki.org/index.php/Repairable_Systems_Analysis_Through_Simulation>. Acesso em 28 set. 2017.

Tecnologia Pneumática Industrial: Apostila M1001-1 BR: Parker, **apostila_M1001_1_BR.pdf**, Disponível em: <https://www.parker.com/literature/Brazil/apostila_M1001_1_BR.pdf>. Acesso em: 13 out. 2017.