

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

CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA

**SUBSTITUIÇÃO DE DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO:  
aumento de confiabilidade e de patrimônio  
em empresas concessionárias de Energia Elétrica**

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2013

CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA

**SUBSTITUIÇÃO DE DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO:  
aumento de confiabilidade e de patrimônio  
em empresas concessionárias de Energia Elétrica**

Monografia de Conclusão de Curso de Especialização em Engenharia de Confiabilidade do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica apresentada como requisito parcial para obtenção do título de especialização em Engenharia de Confiabilidade pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Marcelo Rodrigues, Prof. Dr  
Co-orientador: Cid Augusto Costa, Eng.

CURITIBA  
2013

**FOLHA DESTINADA À INCLUSÃO DA FICHA CATALOGRÁFICA**

**FOLHA DESTINADA AO TERMO DE APROVAÇÃO**

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico os meus sinceros agradecimentos:

- aos meus pais que jamais mediram esforços para que eu pudesse estudar da melhor forma possível;
- a minha companheira, Caroline Pereira Silva Melo, por abrir mão de seus fins de semana comigo e por todas as palavras de incentivo;
- a Companhia Paranaense de Energia por patrocinar minha formação neste curso;
- ao Professor Marcelo Rodrigues que orientou este trabalho;
- aos professores do curso de Especialização em Engenharia de Confiabilidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Dedico este trabalho a Deus.

O serviço realizado por companhias elétricas e seus empregados deve ser tão bem feito que todos os membros da companhia e da comunidade possam se orgulhar dele.

Edison Electric Institute

## RESUMO

Silva, Clailton Leopoldo da. **Substituição de Disjuntores de Alta Tensão – Retorno de Investimento e aumento de Confiabilidade**. 2013. 17 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

Esta monografia apresenta o tema de retorno de investimentos, e também o aumento de confiabilidade do sistema elétrico brasileiro, das empresas distribuidoras de energia elétrica ao se trocar os equipamentos depreciados por outros novos. Especificamente tratará a troca de equipamentos essenciais no contexto de uma subestação e com um alto valor econômico agregado, que são os disjuntores de alta tensão instalados em subestações de energia elétrica responsáveis pela transmissão e distribuição de energia elétrica, baseada nas regras atuais do responsável pela regulação desse ramo de mercado, a Agência Nacional de Energia Elétrica. Este trabalho é classificado como uma pesquisa científica aplicada com propósito explicativo e tem por objetivo propor a renovação dos equipamentos instalados dando como exemplo o retorno obtido ao se trocar um equipamento. Os resultados foram: validação da metodologia contábil, demonstração do aumento de confiabilidade do sistema após as substituições, demonstração do retorno de investimento e melhoria na gestão financeira destinada a verbas de custeio da empresa e em uma segunda etapa verificar as características técnicas dos vários modelos de disjuntores.

Palavras-chave: Disjuntores de Alta Tensão. Confiabilidade. Retorno de Investimento. Gestão de Ativos.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Curva da banheira .....	12
FIGURA 2 – A relação entre confiabilidade e custo .....	13
FIGURA 3 – Partes constituintes do disjuntor de alta tensão .....	22
FIGURA 4 – a) Histograma de frequência de uma amostra aleatória. b) Histograma de frequência de outra amostra da mesma população.....	31
FIGURA 5 – Função de densidade de probabilidade.....	32
FIGURA 6 – Distribuição de probabilidade contínua .....	32
FIGURA 7 – Distribuição de probabilidade contínua em um intervalo de tempo.....	33
FIGURA 8 – Função de densidade de probabilidade da distribuição de Weibull .....	35
FIGURA 9 – Função densidade acumulada de falhas da distribuição de Weibull.....	36
FIGURA 10 – Variação dos valores $\beta$ em função do tempo da distribuição de Weibull .....	37
FIGURA 11 – Fases da curva da banheira .....	37
FIGURA 12 – Número de equipamentos versus depreciação .....	40
FIGURA 13 – Patrimônio em disjuntores de alta tensão .....	40
FIGURA 14 – Histograma modelo antigo .....	45
FIGURA 15 – Confiabilidade variando no tempo de equipamento antigo, confiança 90% ....	46
FIGURA 16 – Probabilidade de falha variando no tempo de equipamento antigo, confiança 90%.....	47
FIGURA 17 – Taxa de falha variando no tempo de equipamento antigo, confiança 90% ....	47
FIGURA 18 – Confiabilidade variando no tempo de equipamento novo, confiança 90% .....	50
FIGURA 19 – Probabilidade de falha variando no tempo de equipamento novo, confiança 90%.....	51
FIGURA 20 – Taxa de falha variando no tempo de equipamento novo, confiança 90%.....	52
FIGURA 21 – Vida média dos disjuntores de alta tensão novos e antigos, confiança 90% ..	53
FIGURA 22 – Comparação de Confiabilidade e Probabilidade entre os equipamentos, confiança 90%.....	54
FIGURA 23 – Comparação de Confiabilidade entre disjuntores novos e antigos, confiança 90%.....	54

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Expressões da distribuição de Weibull .....	34
QUADRO 2 – Parâmetros da função de Weibull.....	35
QUADRO 3 – Base de remuneração em disjuntores .....	41
QUADRO 4 – Patrimônio líquido a incorporar base.....	42
QUADRO 5 – Ganho em patrimônio .....	42
QUADRO 6 – Falhas em disjuntores modelo antigo .....	44
QUADRO 7 – Falhas em disjuntores modelo novo.....	49
QUADRO 8 – Comparações de Confiabilidade entre os modelos: Antigo e Novo.....	53

## LISTA DE SÍGLAS E ABREVIATURAS

AIS	Ativo Imobilizado em Serviço
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BRR	Base de Remuneração Regulatória
FDP	Função de densidade de probabilidades
FMEA	Análise do Modo e Efeito de Falha
FMECA	Análise do Modo de Falha, Efeito e Criticidade
FTA	Análise de Árvore de Falha
MCPSE	Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
RCA	Análise de Causa Raiz
RR	Receita Requerida
RT	Reposicionamento Tarifário

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Tema .....</b>	<b>12</b>
1.1.1	Delimitação do Tema .....	14
<b>1.2</b>	<b>Problemas e Premissas.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>16</b>
1.4.1	Objetivo Geral .....	16
1.4.2	Objetivos Específicos .....	16
<b>1.5</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.6</b>	<b>Procedimentos metodológicos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.7</b>	<b>Embasamento teórico .....</b>	<b>18</b>
1.7.1	Tarifas de energia elétrica brasileiras .....	18
1.7.2	Depreciação de disjuntores de alta tensão.....	20
1.7.3	Estrutura do trabalho.....	20
<b>2</b>	<b>DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>História.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Partes constituintes .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Meios de extinção.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Síntese e conclusão do capítulo .....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Generalidades.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Confiabilidade em sistemas elétricos .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Defeitos, falhas e custos de avaria em disjuntores de alta tensão .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4</b>	<b>Distribuições de Confiabilidade .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Síntese e conclusão do capítulo .....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>RETORNO DE INVESTIMENTOS.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1</b>	<b>Base atual .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2</b>	<b>Investimentos .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3</b>	<b>Síntese e conclusão do capítulo .....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>AUMENTO DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA ELÉTRICO.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1</b>	<b>Confiabilidade equipamentos antigos .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2</b>	<b>Confiabilidade equipamentos novos .....</b>	<b>48</b>
<b>5.3</b>	<b>Comparação entre equipamentos antigos e novos .....</b>	<b>52</b>
	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>

<b>Trabalhos futuros .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresentará tema, problema, objetivos, justificativa, procedimento metodológico, embasamento teórico e estrutura do trabalho.

### 1.1 Tema

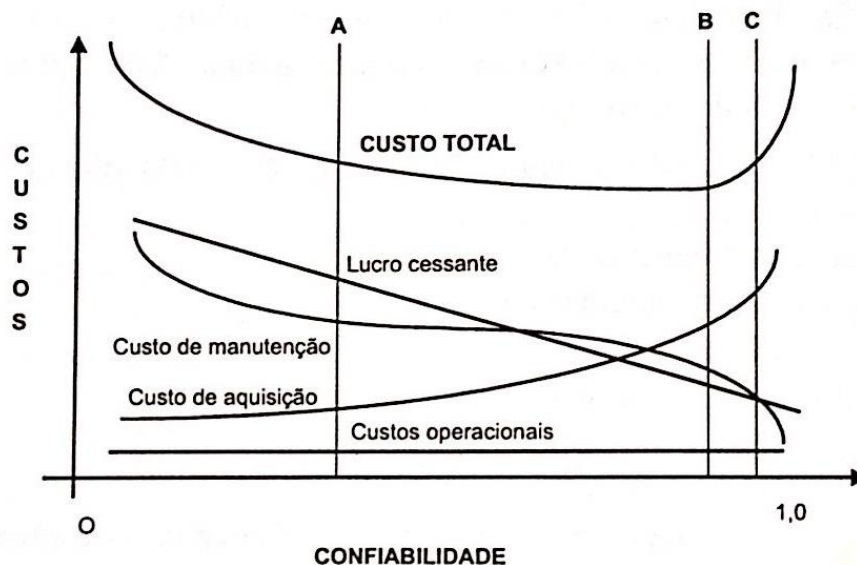
Equipamentos apresentam maiores taxas de falha em seu início e final de ciclo de vida (SELLITTO, 2005). Analisando a Figura 1, percebe-se que a quantidade de falhas é numericamente maior no início e no fim de vida útil dos equipamentos. No início, nas falhas iniciais ou prematuras, ocorrem os problemas de qualidade e provavelmente os gastos são custeados pelo fabricante, com a utilização da garantia, não acarretando custos diretos para as empresas no retorno do equipamento a sua condição normal de funcionamento (DIAS, 2011). Para o final de vida útil do equipamento as falhas ocorrem devido ao seu desgaste acumulado, fadiga e corrosão, portanto para manter um equipamento por muito tempo todos os custos de mão de obra para manutenção e as peças de reposição são custeadas pelas empresas.



**FIGURA 1 – Curva da banheira**  
Fonte: Khater (2009, p.26)

Em alguns ramos de negócio, a empresa sobrevive financeiramente pela remuneração de seu parque de equipamentos instalados, valor que depende da vida útil dos mesmos, é o caso das concessionárias de energia elétrica. A remuneração, a essas empresas, é baseada na vida útil dos equipamentos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009).

Para qualquer produto ou equipamento existe um gasto teórico ótimo na confiabilidade em relação ao benefício subsequente (LAFRAIA, 2001). Por exemplo, na Figura 2, ao se comparar 3 produtos (A,B e C) nota-se que o melhor produto, que alia o menor Custo Total a maior Confiabilidade, é o produto B uma vez que o Custo Total contempla os custos: de manutenção, de aquisição e operacionais aliados ao lucro cessante do produto. Para os equipamentos de subestações de energia elétrica não é diferente, é necessária a comparação dos equipamentos para a tomada de decisão entre os fabricantes visando investimentos prudentes no gasto teórico ótimo em equipamentos confiáveis.



**FIGURA 2 – A relação entre confiabilidade e custo**  
 Fonte: Adaptado de Lafraia (2001, p. 8)

Substituindo os ativos depreciados, além de diminuir os homens hora necessários para a manutenção dos equipamentos (defasados tecnologicamente e de escassa e morosa manutenção), onde os custos operacionais são maiores, e deixar de custear integralmente esses equipamentos, aumentando o valor recebido para manter o parque instalado com o aumento de receita. O valor investido na

compra dos equipamentos retorna para a empresa por meio das revisões tarifárias, conforme estabelece o Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MCPSE), e as multas aplicadas pela agência reguladora por falhas nesses equipamentos, devidas as taxas de falha altas, não seriam mais aplicadas por aumentar-se a confiabilidade do sistema. Os gastos com a mão de obra para manutenção dos equipamentos antigos, bem como os gastos com peças de reposição, podem ser transferidos para a substituição dos equipamentos. A correta apropriação dos valores empregados nessa medida transforma valores de custeio em valores de investimento, que serão ressarcidos e contribuirão no aumento de patrimônio da empresa. Ou seja, essa ação é um investimento prudente que aumenta a receita líquida e a confiabilidade do sistema, diminuindo a taxa de falha e valores desembolsados por multas devidas a ineficiência do sistema.

### **1.1.1 Delimitação do Tema**

Conforme MCPSE, anexo da Resolução Normativa 367/2009, considerando o extenso número de tipos de equipamentos, instalados em subestações, que já não estão sendo remunerados, devido a sua total depreciação, este trabalho se limitará apenas na troca de disjuntores de alta tensão. Existem equipamentos com valores agregados superiores aos dos disjuntores, no caso os transformadores, e também equipamentos mais numerosos, que é o caso de seccionadoras e para-raios. Apesar do estudo de apenas um tipo de equipamento, existem vários modelos e fabricantes do mesmo. Como cada modelo, e cada fabricante, possui desempenho diferente, a análise é individual e, com isso, verifica-se qual está melhor atendendo ao seu propósito.

Nos sistemas elétricos, o disjuntor de alta tensão é um equipamento de proteção caracterizado pela segurança operativa de outros equipamentos e também para evitar acidentes (SANTOS, 2013). Esse tipo de equipamento está contido em subestações de energia elétrica e conseqüentemente está na base de remuneração dos ativos de empresas concessionárias desse segmento. Tais empresas dependem financeiramente da remuneração desses ativos instalados para garantir investimentos e quantificar a base a ser remunerada pela Agência Nacional de



Energia, em forma de tarifas, para a gestão desses ativos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009).

## 1.2 Problemas e Premissas

Pelas regras atuais, disjuntores de alta tensão depreciam por ano (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009), com isso, sua vida útil é caracterizada pelo tempo e não pela condição operativa, após esse período não existe nenhum tipo de remuneração e os gastos são custeados pelas empresas, período esse em que ocorre o maior número de falhas.

Ao observar que os custos de manutenção e os valores das peças de reposição foram elevados ao passar do tempo, e que essas peças são cada vez mais escassas no mercado, aliado com a quantidade de equipamentos que se enquadram nas características de depreciação e obsolescência, fica evidente que a troca por novos equipamentos é o mais correto.

As novas tecnologias de extinção do arco elétrico e a evolução do processo fabril, assim como dos materiais empregados nos novos disjuntores, trazem mais confiabilidade para o sistema e menor necessidade de intervenção, reduzindo a mão de obra para manutenção ao longo de sua vida útil e conseqüentemente um crescimento da confiabilidade do sistema elétrico de potência.

Neste contexto, dado a importância financeira envolvida, é proposto o seguinte problema de pesquisa: será economicamente rentável e prudente, trocar equipamentos antigos, considerando aspectos econômicos e tecnológicos, uma vez que o valor a ser investido é alto e o retorno não é imediato?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

Propor uma solução, a curto e médio prazos, com o intuito de aumentar a confiabilidade do sistema elétrico de potência brasileiro e o patrimônio líquido de empresas concessionárias de energia elétrica com a substituição de disjuntores de alta tensão depreciados.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Comparar taxas de falha, propondo que a prática de troca de disjuntores depreciados seja adotada;
- Demonstrar a melhora contínua de fabricação de disjuntores com base a diferença de confiabilidade entre equipamentos antigos e novos;
- Realizar levantamento estatístico de taxas de falha para minimizar custos desnecessários;
- Demonstrar quantitativamente o aumento de patrimônio líquido ao se adotar a substituição de disjuntores depreciados.

## **1.5 Justificativa**

Disjuntores de alta tensão são vitais para o correto funcionamento do sistema elétrico interligado e uma falha nesses equipamentos pode resultar em grandes danos tanto humanos quanto econômicos para uma empresa (SANTOS, 2013).

Considerando os aspectos humanos, a manutenção em equipamentos antigos é muito mais morosa e precisa ser executada com um período muito extenso

comparando com os equipamentos novos, com isso, o período de exposição de pessoas a um ambiente perigoso é muito maior em equipamentos antigos e, conseqüentemente, a exposição em ambientes de grau de periculosidade elevado, no caso das subestações, aumenta a probabilidade de um acidente.

No entanto, considerando os aspectos econômicos, muitas decorrentes da falha de equipamentos são cada vez mais constantes e os valores agregados ao patrimônio da empresa pelos equipamentos antigos são pequenos. Com a troca dos disjuntores obsoletos por novos, além de propiciar uma maior segurança operativa, a base de remuneração aumentaria, os gastos com mão de obra diminuiriam e conseqüentemente o custeio seria reduzido ao final das substituições.

Com o custo e a complexidade cada vez maiores ao longo da vida útil dos equipamentos (LAFRAIA, 2001), a importância da confiabilidade, como um parâmetro de eficiência, está influenciando na tomada de decisão ao que tange a saúde financeira de empresas (COSTA, 2013) e deve ser cada vez mais fruto de pesquisa e desenvolvimento de ferramentas de análise de dados.

Os benefícios com a aplicação da confiabilidade em sistemas elétricos de potência são inumeráveis, porém cita-se os seguintes como os mais significativos (LAFRAIA, 2001):

- Menores custos de manutenção/operação/apoio;
- Menores perdas por lucros cessantes;
- Menores possibilidades de acidentes;
- Cumprimento da legislação ambiental;
- Continuidade operacional.

O retorno de investimento não é de imediato, de fato, e para comprovar a eficácia financeira demonstrada teremos que aguardar a próxima revisão tarifária para que os equipamentos sejam inseridos na base na empresa e agreguem valor financeiro. Os valores economizados no custeio, com a manutenção de equipamentos antigos, não será evidente, mas basta analisar o balanço financeiro da verba gasta com esse fim, comparando com anos anteriores, que comprovaremos a otimização dos recursos.

## **1.6 Procedimentos metodológicos**

Esta monografia é classificada como uma pesquisa documental (MANUAL FRASCATI apud AGUIAR, 1991), utilizando resultados gráficos, coleta de dados de taxas de falha, pesquisa bibliográfica em manuais de fabricante e base de dados da companhia como objetos de investigação. A pesquisa possui estratégia de campo, pois não se restringe à utilização de documentos, mas também se utiliza de sujeitos humanos ou não (APPOLINÁRIO, 2009).

Os dados serão mensurados e analisados e, após o tratamento dos mesmos, a pesquisa será descrita de forma quantitativa demonstrando efetivamente os fatos abordados.

## **1.7 Embasamento teórico**

Na literatura atual, existem muitos trabalhos apresentados em Encontros Técnicos e Seminários, mas o foco está na redução de gastos com custeio de manutenção e troca de disjuntores por obsolescência técnica ao invés do aumento de patrimônio líquido e dos benefícios do aumento de confiabilidade do sistema. Para conceituar o trabalho, foram utilizados esses trabalhos e também livros e manuais de fabricante.

Basicamente é preciso entender como é imposta a sistemática de tarifas de energia elétrica no Brasil, para remuneração das concessionárias, e como o disjuntor de alta tensão impacta nessa tarifa.

### **1.7.1 Tarifas de energia elétrica brasileiras**

A tarifa de energia das distribuidoras de energia elétrica brasileiras é impactada pelo Reposicionamento Tarifário (RT) e pelo Fator X (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009). Um dos fatores que influencia o RT é a Receita Requerida (RR), composta pela soma de duas parcelas (Parcela A e

Parcela B). A primeira se refere aos custos relacionados às atividades de transmissão e geração de energia elétrica, além dos encargos setoriais. Já a segunda, se refere aos custos próprios da atividade de distribuição e de gestão comercial dos clientes (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012).

Uma das variáveis da Parcela B é a Remuneração de Capital (RC) que leva em consideração a Base de Remuneração Regulatória (BRR), levantada segundo um submódulo dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET). Para a determinação da BRR é levado em consideração o Ativo Imobilizado em Serviço, avaliado e depreciado e é nesse ponto que a substituição de ativos imobilizados completamente depreciados influencia a tarifa de energia da concessionária. No PRORET fica claro que o valor de mercado em uso para a composição da base de remuneração será obrigatoriamente igual a zero quando o bem estiver totalmente depreciado. Então substituindo os ativos completamente depreciados por novos, o Ativo Imobilizado em Serviço terá um acréscimo de valor impactando a Parcela B e, portanto, a tarifa (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009).

A Resolução Normativa nº 367/2009, de 02 junho de 2009, que discorre sobre o Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MCPSE), em suas instruções gerais de controle patrimonial, item 6.5, também estabelece como Reserva Imobilizada o bem ou conjunto de bens, que, por razões de ordem técnica voltada à garantia e confiabilidade do sistema elétrico, embora não estando em serviço, esteja à disposição e que poderá entrar em operação de imediato, com isso, também está sujeita a depreciação e deve ser incluída nas análises de confiabilidade do sistema. Sua contabilização obedece a todos os preceitos do Ativo Imobilizado em Serviço (AIS), inclusive no que diz respeito à Reintegração. Os equipamentos de reserva exclusivos de uma Ordem de Investimento (OI) devem ser registrados nela, apresentando na sua descrição a palavra “RESERVA” (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009)

### **1.7.2 Depreciação de disjuntores de alta tensão**

O disjuntor é caracterizado como uma Unidade de Cadastro específico que tange todos os equipamentos responsáveis pela interrupção de circuitos de força, sob condições normais e anormais de carga.

Conforme Quadro do Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MPSE), a unidade de cadastro Disjuntor deprecia 3% ao ano, ou seja, o valor investido será unitizado na base patrimonial das empresas e será remunerado até que todo o valor investido retorne, por meio das tarifas. Ao final, pouco mais de 33 anos depois da aquisição e entrada em operação, o equipamento estará depreciado e os custos passarão a ser desembolsados integralmente pelas concessionárias de energia elétrica.

### **1.7.3 Estrutura do trabalho**

Para atingir os objetivos apresentados desta monografia, a mesma está dividida, em 6 capítulos, nos quais após a introdução sobre o tema, no capítulo 1, o capítulo 2 descreve os disjuntores de alta tensão com suas principais características.

O capítulo 3 apresenta a confiabilidade em equipamentos com as particularidades para análise desse ponto de vista.

O capítulo 4 trará os procedimentos utilizados para demonstrar o retorno de investimento.

O capítulo 5 demonstra o aumento de confiabilidade do sistema elétrico ao comparar os diferentes modelos de disjuntores.

Finalmente o último capítulo apresenta as conclusões do trabalho.

## **2 DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO**

### **2.1 História**

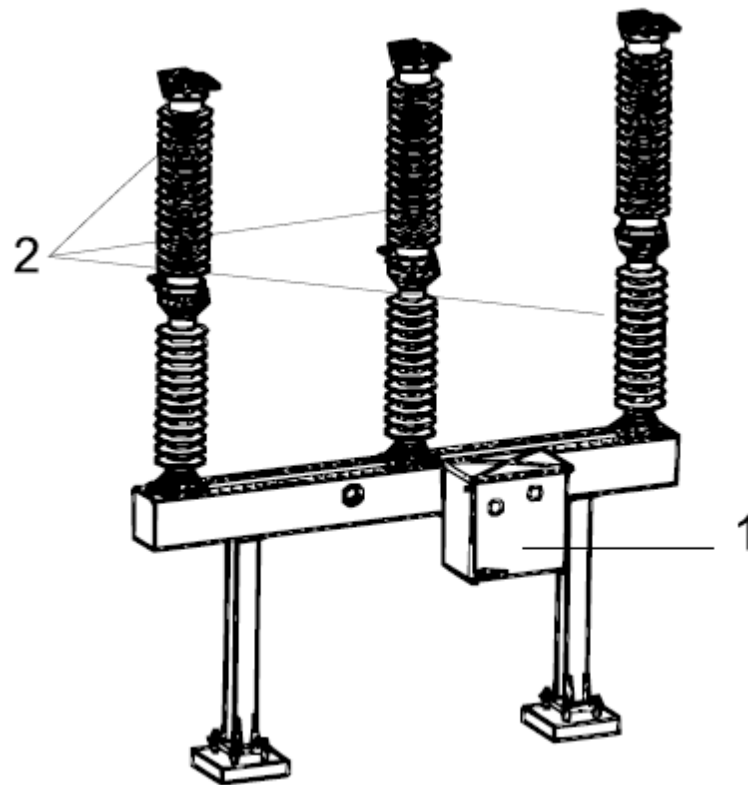
Parte fundamental do sistema de proteção, tanto de equipamentos em subestações como linhas de transmissão e distribuição, os disjuntores de alta tensão tiveram sua primeira aparição no início do século XX. Um dos primeiros disjuntores foi desenvolvido pela J.N. Kelman em 1901 e sua primitiva construção consistia de dois barris de madeira preenchidos com uma mistura de óleo e água no qual os contatos ficavam imersos. O disjuntor operou por cerca de dois anos em uma rede de 40 kV e sua capacidade de interrupção de corrente de curto era entre 200 e 300A (GARZON, 1997).

Com o consumo de energia aumentando a expansão da rede e suas interconexões com outros sistemas elétricos foi inevitável, exigindo dos disjuntores suportabilidade a maiores níveis de corrente de curto-circuito e tempo de extinção cada vez menor, de forma a garantir a estabilidade do sistema. Esses fatores impulsionaram a pesquisa de novas tecnologias aplicáveis a disjuntores, reduzindo a duração do arco de 20 ciclos em disjuntores isolados a óleo, para até 2 ciclos nos atuais disjuntores isolados a gás hexafluoreto de potássio. (LIMA, 2010).

### **2.2 Partes constituintes**

As duas principais partes de um disjuntor são: polos e mecanismo. Possuem características e funções diferentes. O polo é responsável por extinguir o arco enquanto o mecanismo precisa prover a energia necessária para realizar a movimentação dos contatos em um tempo adequado.

Apesar das suas diferenças, polos e mecanismos precisam ser projetados conjuntamente, adequando as necessidades técnicas de capacidade de extinção com as econômicas no desenvolvimento do conjunto.



**FIGURA 3 – Partes constituintes do disjuntor de alta tensão**  
 Fonte: AREVA, 2009

Na Figura 3 são indicados o mecanismo em 1 e os polos em 2. Os 3 polos são acionados pelo mesmo mecanismo e a transmissão do movimento é realizado através de hastes, definindo dessa forma um disjuntor tripolar.

### 2.3 Meios de extinção

O meio de extinção é o principal responsável por garantir que o disjuntor possa cumprir as especificações de interrupção de corrente nominal e corrente de curto-circuito. Um bom meio de extinção caracteriza-se por possuir principalmente grande capacidade de resfriamento do arco, possuir alto valor de rigidez dielétrica, manter suas características mesmo a altas temperaturas e não ser combustível.

Na grande maioria das aplicações o óleo mineral isolante, ar,  $SF_6$  ou vácuo são empregados como meio de extinção. Alguns outros meios de extinção, como o ar comprimido, foram vastamente aplicados no passado, principalmente nas redes



de transmissão na qual o óleo já não era a melhor opção. A obsolescência se iniciou com a consolidação da tecnologia de  $SF_6$ . Assim como nos polos algumas variações de mecanismos também existem.

Como exemplo existe um curioso mecanismo, inserido no próprio polo, que utiliza Diferenças de pressão entre duas câmaras de  $SF_6$  para fazer os movimentos de abertura e fechamento (VATECH, 2002).

No início do século XX até a década 50 o óleo mineral isolante prevaleceu como meio extintor em grande parte dos disjuntores. A aplicação de ar comprimido iniciou-se na Europa na década de 20. Consolidou-se na década de 50 cobrindo os níveis de tensão extremamente altos que os disjuntores a óleo não conseguiam atender, chegando a ser empregados em redes de 765 kV na Rússia. Somente com o advento do  $SF_6$  que passou a ser obsoleto. Nos últimos anos o vácuo vem crescendo no segmento de média tensão e já experimenta níveis de 138kV (DUFOURNET, 2009).

Disjuntores com várias décadas de serviço, mesmo possuindo meios de extinção já obsoletos, ainda são facilmente encontrados nas concessionárias. A busca pela modicidade tarifária faz com que as equipes de manutenção estendam seu uso através da reciclagem e substituição dos meios isolantes, que são acompanhados através dos ensaios contidos nos programas de manutenção de cada empresa.

## **2.4 Síntese e conclusão do capítulo**

O capítulo apresentou conceitos essenciais para entendimento do equipamento e a importância que assume no sistema elétrico, foram abordados desde sua origem até detalhes de aspectos construtivos.

Com os conceitos, dos disjuntores de alta tensão, demonstrados pode-se entender a preocupação das concessionárias de energia elétrica em manter esse tipo de equipamento em perfeitas condições, interessar-se em melhoria contínua e desejar a melhor confiabilidade possível.

O próximo capítulo traz os conceitos de Confiabilidade, abordando as características específicas desse tipo de equipamento e o contexto geral de busca contínua de qualidade dos disjuntores instalados no sistema elétrico de potencia.

### 3 CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS

Este capítulo tem o objetivo de apresentar a teoria de confiabilidade aplicada neste trabalho. Porém, é possível encontrar neste capítulo definições necessárias para compreensão do tema.

#### 3.1 Generalidades

O uso de técnicas de Engenharia da Confiabilidade fornece ferramentas teóricas e práticas que permitam especificar, projetar, testar e demonstrar a probabilidade e a capacidade, segundo a qual, componentes, produtos e sistemas desempenharão suas funções, por períodos determinados de tempo, em ambientes específicos e sem apresentar falhas.

Com o custo e a complexidade cada vez maiores dos muitos sistemas industriais e de defesa, a importância da confiabilidade como um parâmetro de eficiência, tornou-se evidente (LAFRAIA, 2001).

Benefícios com a aplicação da Confiabilidade:

- Menos paradas não programadas;
- Menos custos de manutenção/operação;
- Menos possibilidades de acidentes.

Confiabilidade é um atributo importante para produtos e sistemas e permeia todo o ciclo de vida. É multidisciplinar e engloba especialidades e especialistas em engenharia, estatística, matemática, computação, física, química, entre outras. Há autores que denominam de Engenharia de Confiabilidade. Sua aplicação está estruturada em técnicas de análise e de síntese, entre as quais: análise da árvore de falha (FTA), análise do modo e do efeito da falha (FMEA), análise do modo de falha, do efeito e da criticidade (FMECA), análise da causa raiz (RCA - *Root Cause Analysis*), análise da causa de falha de modo comum e de técnicas associadas ao atributo da qualidade (DIAS, 2005). A característica fundamental utilizada é o tempo médio entre falhas. O tempo é entendido como sendo o tempo relevante acumulado

de ensaio, obtido pela somatória dos tempos relevantes de todos os itens de ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). É a avaliação probabilística do risco/falha de um sistema ou produto que caracteriza o aspecto fundamental da Análise de confiabilidade (LAFRAIA, 2001).

O primeiro termo a ser caracterizado é a falha. A falha é o término de um item de cumprir com a sua função. Ou seja, quando um item falha ele fica inoperante, porém deve ficar claro que “falha” é um evento e não um estado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Outro termo que normalmente é confundido com falha é defeito. O conceito de defeito é o desvio de qualquer característica de um item em relação aos seus requisitos. Porém, o defeito não afeta, necessariamente, a capacidade de um item de cumprir com a sua função (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

A manutenção é a combinação de todas as ações técnicas que se destinam a fazer com que um determinado item possa realizar a sua função. A manutenção inclui as ações de supervisão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994)

Já, o termo confiabilidade refere-se à capacidade de um item cumprir sua função sob determinadas condições durante um intervalo de tempo definido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

A manutenibilidade é a probabilidade de que um item que tenha falhado possa ter sua condição operacional restabelecida dentro de um período de tempo específico, quando a ação de manutenção é executada de acordo com um planejamento estabelecido (MILASCH, 1993), é característica definida previamente nas fases de projeto e instalação do item. A manutenibilidade é a probabilidade de que um equipamento ou sistema que se encontra em falha no instante inicial de observação ser repostado em perfeito estado de funcionamento dentro de um intervalo de tempo, corresponde a uma função de probabilidade identificada por uma cadeia de Markov (BILLINTON & ALLAN, 1992). Cadeia de Markov é um caso particular de um processo estocástico com estados discretos (o parâmetro, em geral o tempo, pode ser discreto ou contínuo) e que apresenta a propriedade Markoviana, chamada assim em homenagem ao matemático Andrei Andreyevich Markov (BILLINTON & ALLAN, 1992).

A função manutenibilidade é definida como:

a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante os procedimentos e meios prescritos” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Por meios entendem-se inclusive os econômicos. A manutenibilidade é um parâmetro de projeto, enquanto que a manutenção é uma consequência do projeto. O tempo médio de reparo ou tempo de manutenção, ou custo de manutenção dependem do projeto do item (DIAS, 2011).

Na seção 3.1, apresentou-se a conceituação probabilística de confiabilidade aceita e difundida pela maioria dos profissionais de confiabilidade. Outras definições mais amplas e detalhadas, baseadas principalmente em normas como a ISO-8402 e a QS-9000 existem, mas não serão abordadas nesse trabalho.

### **3.2 Confiabilidade em sistemas elétricos**

O sistema elétrico de potência brasileiro atualmente é interligado entre as diversas concessionárias, apresenta uma grande complexidade inerente associada à sua dimensão continental e uma complexa rede de equipamentos de diferentes fabricantes embutidos no sistema. Além do compromisso técnico envolvido, o planejamento da operação e manutenção é sujeito a diversos critérios ambientais, políticos e econômicos, com isso, apresenta algumas restrições que podem ocasionar criticidade de confiabilidade e segurança.

A experiência dos últimos anos (National Electricity Market Management Company, 2001) demonstrou que, devido a diversos fatores como o crescimento do nível de utilização das malhas de transmissão e à obsolescência de instalações e equipamentos, algumas perdas simples podem vir a resultar em desligamentos múltiplos e no conseqüente colapso no fornecimento de energia. Ocorrências dessa natureza ressaltam a importância de um conceito mais amplo de proteção, aplicável na identificação e contenção controlada de situações especiais, previamente conhecidas e capazes de causar danos significativos à continuidade de operação do sistema de potência.

Para estudos de confiabilidade, é necessário determinar uma distribuição de probabilidade que tenha uma boa convergência com os dados disponíveis. É verificado se os dados convergem para as seguintes tipos de curva: Normal, lognormal, Weibull, Exponencial ou Gamma. A distribuição normal pode descrever tempos até falhas causadas por várias causas distintas, a lognormal, quando a falha se atenua durante o tempo, tal como em corrosão; a Weibull, quando várias causas atuando ao mesmo tempo e a primeira causa que leva a falha propicia a análise das outras (sistemas série); a exponencial, quando a falha ocorre por motivos aleatórios; e finalmente a Gamma, quando existem varias causas mas a última que ocorre dispara a falha (sistemas paralelos) (RAUSAND e HOYLAND, 2004).

### **3.3 Defeitos, falhas e custos de avaria em disjuntores de alta tensão**

Os defeitos são desvios inaceitáveis da especificação de um atributo ou medida de qualidade que não significam perda da capacidade funcional do equipamento. Já a falha é o término da capacidade de um item pra desempenhar sua função requerida, o que leva invariavelmente a sua indisponibilidade (MILASCH,1993).

Os equipamentos falham devido a 3 fatores básicos (KHATER, 2009):

- Falha de projeto;
- Falha de fabricação;
- Falha de utilização.

As falhas de projeto ocorrem quando o projetista não consegue identificar as necessidades do cliente ou quando estas não estão identificadas, ou ainda, quando não se consegue ou não possuem métodos para modelar corretamente o problema (KHATER, 2009).

Uma vez que o projeto tenha sido adequadamente abordado, a fase de fabricação pode provocar falhas quando os processos de fabricação/montagem são inadequados (KHATER, 2009).

Por último, o uso incorreto do produto, que inclui manutenção inadequada, por falta de instrução do fabricante ou de treinamento do cliente (KHATER, 2009).

As falhas em equipamentos, quanto a origem, podem ser classificadas em:

a) Falhas causais ou introduzidas:

- Especificação não conforme: falta de visão sistêmica ou acompanhamento pelos diversos setores envolvidos para cumprimento da especificação na aprovação dos projetos;
- Projeto inadequado: falta de robustez e mau dimensionamento dos componentes, locais de difícil acesso, componentes ou partes difíceis de serem trocadas;
- Má qualidade da fabricação: são originárias da deficiência ou inexistência do controle de qualidade durante a fabricação, onde ocorrem negligências de um modo geral;
- Má qualidade da instalação: Instalações executadas em ambientes inadequados, erros de montagem e cabeações, testes com instrumentos não aferidos e não calibrados e pressa na entrega;
- Erros de operação: O desconhecimento ou despreparo do operador com o manuseio correto do equipamento poderá introduzir defeitos;
- Má qualidade de manutenção: Não cumprimento do plano de manutenção, uso de ferramentas indevidas, equipe não qualificada, falta de supervisão, fadiga, monotonia ou atmosfera de relações humanas precárias.

b) Falhas casuais ou aleatórias:

São as falhas que deveriam ocorrer normalmente se todas as condições anteriores estivessem atendidas, tornando assim mínima a demanda gerada por falhas esperadas, dentro de certa previsibilidade, para as quais devem ser estruturadas a organização e administração dos recursos humanos e materiais de suporte e atendimento.

Para a avaliação adequada de custos é preciso analisar diversos cenários e ter conhecimento em ramos variados de negócio já que é uma função que envolve custos com pessoal, materiais de reserva técnica, equipamentos de suporte ferramental, logística, planejamento e estudos de viabilidade.

Relacionado com a confiabilidade do sistema o custo deve ser analisado em um cenário que envolva o ciclo de vida, do item, englobando os custos diretamente relacionados ao programa de confiabilidade e aos custos associados ao uso do item (MARTINS, 1990).

Os custos globais associados à manutenção corretiva podem ser classificados como (MARTINS, 1990):

- a) Custos da falta de disponibilidade e/ou qualidade ou custo indireto;
- b) Custos dos recursos de manutenção ou custo direto.

Alguns especialistas indicam que uma das decisões a ser tomada pelo gerente de manutenção é a decisão entre investir em força de trabalho e/ou recursos, elevando-se os custos diretos e diminuindo-se os indiretos e vice-versa, gerando um compromisso de forma a aperfeiçoar os custos globais, maximizando os objetivos.

Em muitas ocasiões, o custo da falta de disponibilidade pode ter muita variação, a depender de fatores relacionados com vendas e armazenagem do produto, bem como a importância do serviço prestado pelo equipamento/sistema. As estimativas de custo devem ser utilizadas para apoio a tomada de decisão no confronto manutenção e produção, na ocasião mais adequada.

### **3.4 Distribuições de Confiabilidade**

Analisando o histórico de manutenção dos equipamentos percebemos que, mesmo os equipamentos de um mesmo modelo e fabricante, as falhas não ocorrem ao mesmo tempo. Normalmente as falhas obedecem a uma distribuição de probabilidade.

A determinação da distribuição de probabilidade que rege o comportamento operacional de um equipamento, até que o mesmo venha a falhar, pode ser determinado através da análise de sua vida útil, seja em ensaios acelerados ou análise de dados de sua vida operacional.



As distribuições de probabilidade que possibilitam esse estudo podem ser agrupadas em dois tipos básicos: discretas e contínuas.

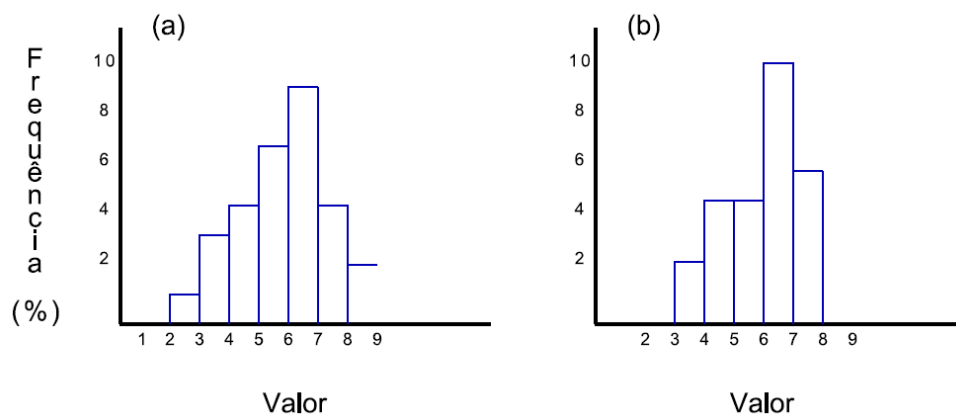
As discretas são aquelas associadas às variáveis aleatórias que somente podem assumir valores discretos. As contínuas são aquelas que podem assumir inúmeros valores em um intervalo real e são medidos em uma escala contínua.

O trabalho está analisando dados contínuos e, com isso, aborda as características desse tipo de distribuição de probabilidade.

Em estatística, a função densidade de probabilidade ou simplesmente função de densidade é uma função utilizada para representar a distribuição de probabilidade caso a variável aleatória seja contínua (COSTA, 2012).

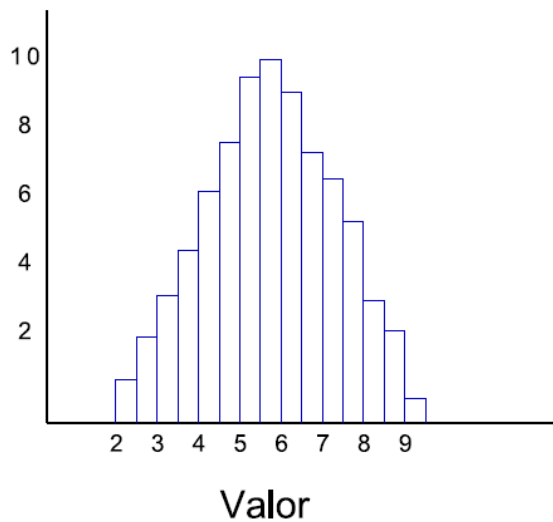
Se traçarmos os valores obtidos, em uma medição qualquer, um histograma de uma determinada amostra chegaremos a curvas como mostradas na figura 4, na medida em que aumentamos o número de amostras e diminuirmos o intervalo de medição encontraremos curvas diferentes. Se traçarmos um único diagrama mostrando a combinação de várias amostras, mas agora com intervalos de medição pequenos obteremos uma distribuição de confiabilidade, com isso, o histograma tende a uma curva que descreverá a função de densidade de probabilidades (FDP) ou, simplesmente, a distribuição dos valores conforme figura 4.

Quanto menor for o intervalo de classe maior a proximidade com uma função de densidade de probabilidades dos dados relacionados. (COSTA, 2012)



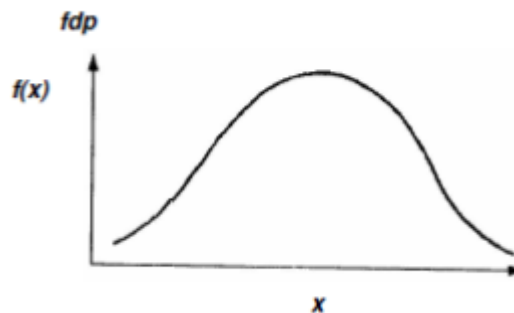
**FIGURA 4 – a) Histograma de frequência de uma amostra aleatória. b) Histograma de frequência de outra amostra da mesma população**  
 Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 31)

Um histograma é uma representação gráfica da distribuição de frequências de uma massa de medições, normalmente um gráfico de barras verticais. É uma das Sete Ferramentas da Qualidade (COSTA, 2012).



**FIGURA 5 – Função de densidade de probabilidade**  
**Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 31)**

A figura 6 mostra uma distribuição de probabilidades contínua, onde  $f(x)$  é a densidade de probabilidade de ocorrência e  $x$  a variável relacionada.



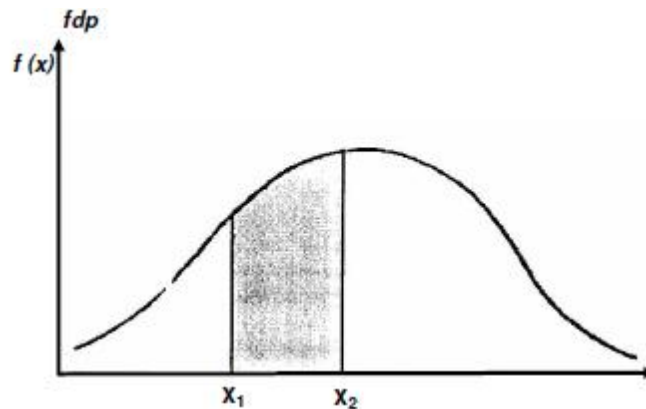
**FIGURA 6 – Distribuição de probabilidade contínua**  
**Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 31)**

A área sobre a curva é igual a 1, pois descreve a probabilidade de todos os valores de  $x$ , ou seja:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$$

A probabilidade de um valor ocorrer entre um intervalo de tempo é o equivalente a área compreendida nesse intervalo, ou seja.

$$P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$$



**FIGURA 7 – Distribuição de probabilidade contínua em um intervalo de tempo**  
 Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 32)

Os dados coletados dos equipamentos em estudo devem se adaptar a algum modelo formulado por estatísticos, matemáticos e engenheiros para modelar matematicamente ou representar certo comportamento populacional. Existem diversas distribuições, cada uma com uma função em relação ao tempo pré-definida.

As variáveis aleatórias contínuas podem ser de grande utilidade na abordagem de problemas práticos. Os principais modelos probabilísticos para variáveis aleatórias contínuas são as Distribuições: Uniforme, Normal, Gama, Exponencial, Weibull, Qui-Quadrado, t de Student, F de Fisher e Aproximação da Distribuição Binomial pela Normal (GUIMARÃES, 2012). Estes modelos também são denominados funções densidades de probabilidades, e podem envolver mais de um parâmetro.

O trabalho aborda apenas a Distribuição de Weibull, pois os dados analisados aderem a esse tipo de distribuição por se tratar de uma distribuição versátil por ser composta por três parâmetros ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ). Como esta distribuição pode ser amplamente utilizada, ela pode ser descrita de várias maneiras distintas, cada uma delas mais apropriada para um tipo específico de estudo (LAFRAIA, 2001).

A distribuição de Weibull recebe este nome, pois foi primeiramente descrita por Ernest Hjalmar Wallodi Weibull, engenheiro e matemático sueco que no ano de 1939 apresentou um modelo sobre fadiga de materiais (LAFRAIA, 2001). Porém, somente em 1951 esta distribuição, usada no estudo de confiabilidade, descrita no artigo *A Statistical Distribution Function of Wide Applicability*, Weibull de 1951.

Esta distribuição é amplamente empregada no estudo de confiabilidade, pois ela não possui uma forma definida, ou seja, pode ser usada no estudo de diversos casos em que existam dados experimentais (PIAZZA, 2000).

A função distribuição de Weibull possui três parâmetros para determinar a probabilidade de falha, confiabilidade e taxa instantânea (função de risco). O quadro 1 mostra as diversas expressões e o significado dos seus parâmetros (KHATER, 2009).

Significado	Parâmetro	Expressão
Distribuição de falhas	$f(t)$	$\frac{\beta (t - t_0)^{\beta-1}}{\eta^\beta} \exp \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right]$ para $t \geq t_0$ 0 para $t < t_0$
Probabilidade acumulada de falhas	$F(t)$	$1 - \exp \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right]$
Confiabilidade	$C(t)$	$\exp \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right]$
Taxa de falha	$\lambda(t)$	$\frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1}$
Parâmetros de escala	$\eta$	
Parâmetro de forma	$\beta$	
Vida inicial	$t_0$ ou $\gamma$	
Tempo para a falha	$t$	

**QUADRO 1 – Expressões da distribuição de Weibull**  
 Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 39)

Valores particulares dos parâmetros da função de Weibull transformam expressões de outras distribuições usualmente utilizadas para descrever os modos de falhas, conforme pode se observar na Quadro 2.

Significado	$t_\theta = 0$	$t_\theta = 0$ e $\beta = 1$
Distribuição de falhas	$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$	$f(t) = \frac{1}{\eta} \exp \left( - \frac{t}{\eta} \right)$
Probabilidade acumulada de falhas	$F(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$	$F(t) = 1 - \exp \left( - \frac{t}{\eta} \right)$
Confiabilidade	$C(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$	$C(t) = \exp \left( - \frac{t}{\eta} \right)$
Taxa de falha	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$	$\lambda = \frac{1}{\eta}$
Tempo médio entre falhas	TMEF = $\frac{1}{\lambda}$	$\eta$

QUADRO 2 – Parâmetros da função de Weibull  
 Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 40)

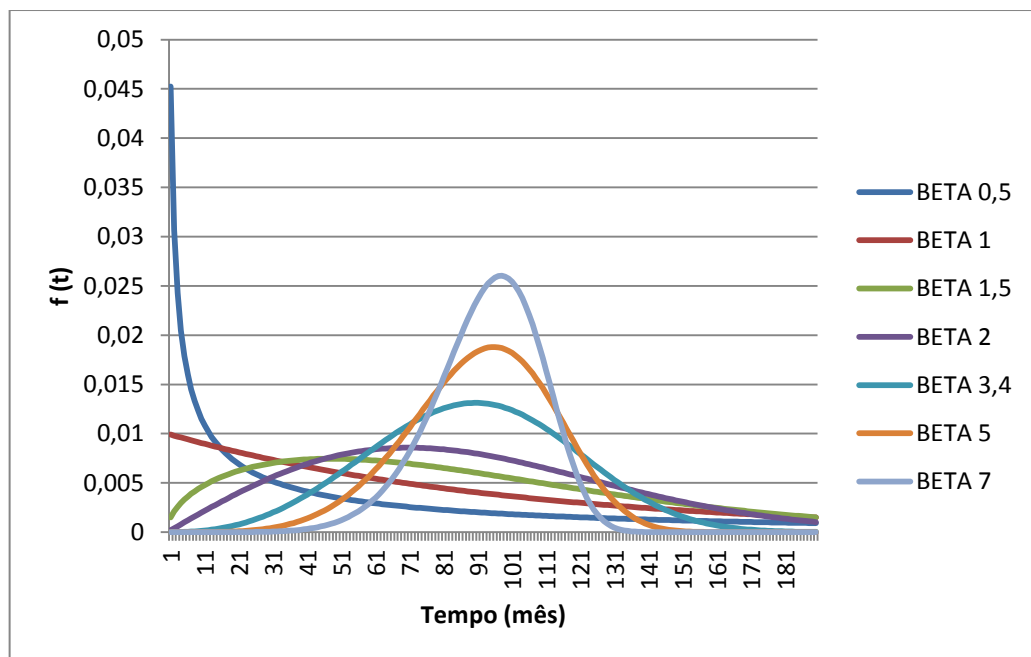
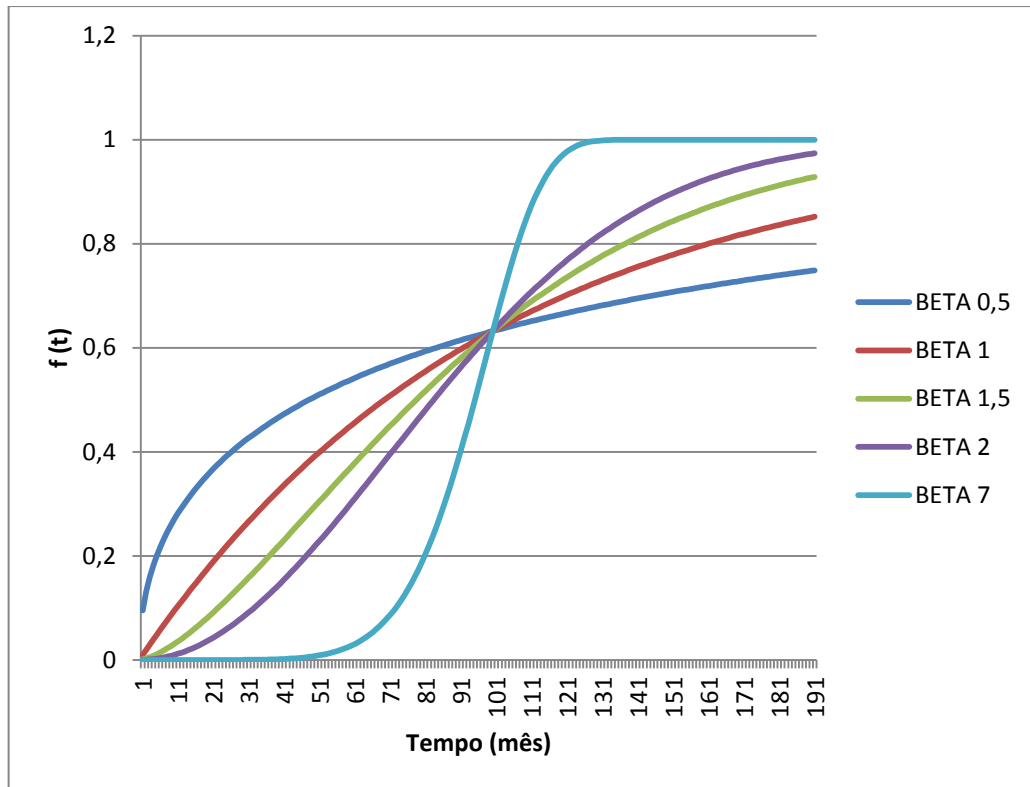
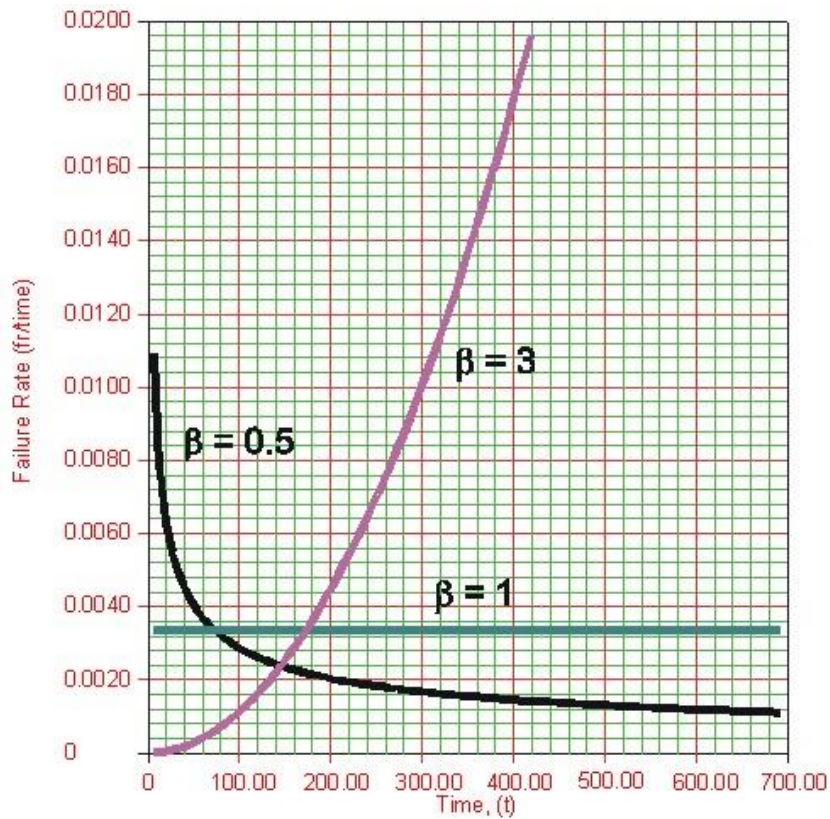


FIGURA 8 – Função de densidade de probabilidade da distribuição de Weibull  
 Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 40)



**FIGURA 9 – Função densidade acumulada de falhas da distribuição de Weibull**  
 Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 41)

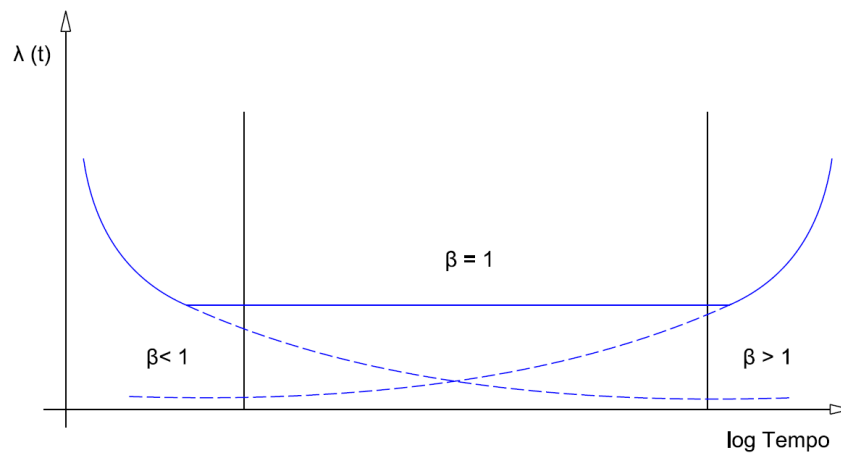
O aspecto mais importante é o efeito de  $\beta$  na distribuição Weibull. Analisando a figura 10, a distribuição de Weibull com o  $\beta < 1$  apresenta taxa de falha que diminui com tempo (falha infantil ou prematura). Para a distribuição com o  $\beta$  próximo ou igual a 1 é caracterizada pela taxa de falha razoavelmente constante (vida útil ou de falhas aleatórias) e, finalmente, para distribuições de Weibull com o  $\beta > 1$  a característica é o aumento da taxa de falha com o passar do tempo (falhas de desgaste).



**FIGURA 10 – Variação dos valores  $\beta$  em função do tempo da distribuição de Weibull**  
 Fonte: Adaptado de Costa (2013, p. 8)

Estes valores de  $\beta$  abrangem as três fases da "clássica curva da banheira", ou seja, uma distribuição Weibull mista com a uma subpopulação de  $\beta < 1$ , uma subpopulação de  $\beta = 1$  e uma outra com o  $\beta > 1$ .

A figura 11 mostra a relação entre o valor de  $\beta$  e as fases da curva da banheira.



**FIGURA 11 – Fases da curva da banheira**  
 Fonte: Adaptado de Khater (2009, p. 43)

### **3.5 Síntese e conclusão do capítulo**

O capítulo apresentou conceitos de confiabilidade necessários para o entendimento da sistemática de análise dos disjuntores de alta tensão .

Com os conceitos demonstrados pode-se analisar criteriosamente o desempenho de novos projetos e vida útil.

O próximo capítulo traz o retorno de investimento aliado com o aumento de confiabilidade dos disjuntores e conseqüentemente do sistema elétrico de potência onde está inserido.



## 4 RETORNO DE INVESTIMENTOS

Esse capítulo aborda itens financeiros envolvidos na troca dos equipamentos, demonstra a situação atual de uma concessionária de energia e o patrimônio que pode ser agregado à base de remunerações.

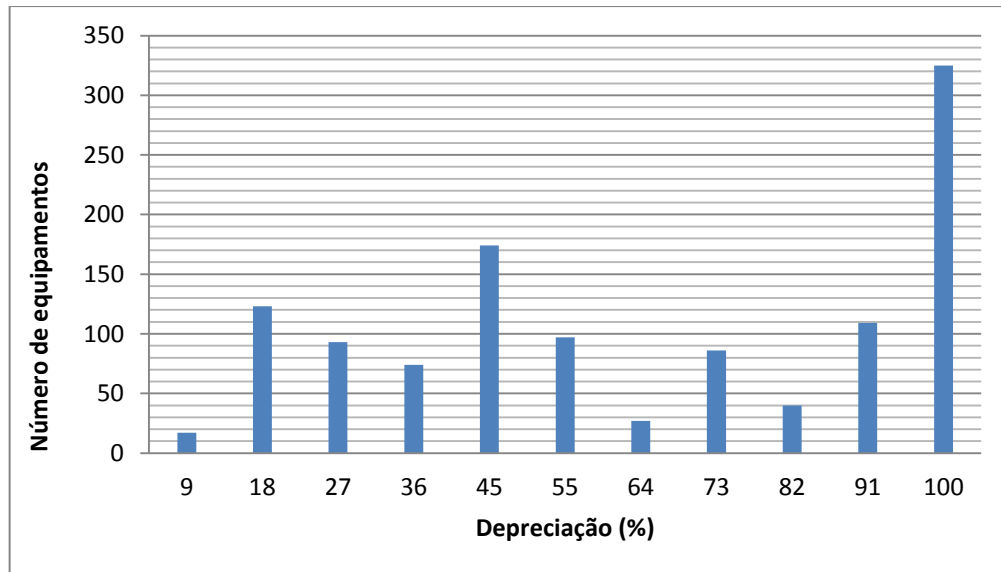
### 4.1 Base atual

A base de remuneração, imposta pelo agente regulador, toma como base o patrimônio líquido das concessionárias seguindo regras pré-estabelecidas de amortização, conforme descrito no capítulo 1.

Com base em banco de dados das companhias, pode-se analisar o número de disjuntores instalados e, aliado aos dados de entrada em funcionamento no sistema elétrico de potência, sua depreciação chegando ao patrimônio líquido da empresa nesse quesito.

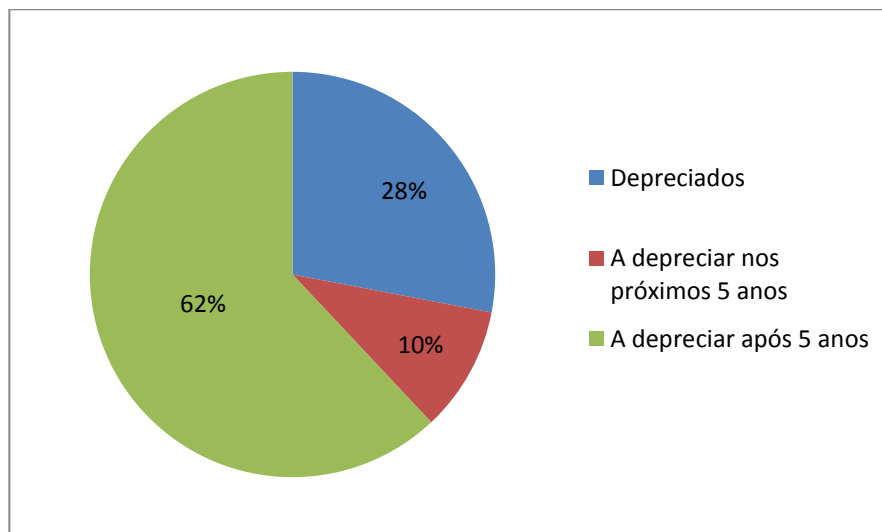
Na figura 12, estão contabilizados as quantidades de disjuntores de todas as tensões que estão instalados no sistema elétrico de potência, integrando a base de remuneração da empresa, e o quanto eles já estão depreciados, ou seja, é todo o banco de dados desse tipo de equipamento versus sua vida operativa. Fato relevante é a constatação que existem mais de 300 equipamentos que estão operando a mais de 33 anos (característica de depreciação total do disjuntor).

Com a análise dos dados utilizados para obtenção do gráfico da figura 12, constata-se o patrimônio da empresa, conforme figura 13, possui 28% totalmente depreciados e cerca de 10% a depreciar nos próximos 5 anos. Com isso, a companhia está deixando seu patrimônio líquido diminuir na medida em que as depreciações aumentam.



**FIGURA 12 – Número de equipamentos versus depreciação**

Fonte: Própria autoria



**FIGURA 13 – Patrimônio em disjuntores de alta tensão**

Fonte: Própria autoria

O horizonte de 5 anos pode parecer longínquo, em uma primeira análise, porém ao se tratar da compra desse tipo de equipamento é preciso fazer a previsão antecipada e justificada para que os prazos sejam adequados e a base de remuneração não seja influenciada. A compra desses equipamentos deve ser planejada já que os mesmos não existem a pronta entrega e não são disponibilizados pelos fabricantes em um prazo pequeno. Aliado ao tempo necessário ao processo fabril do equipamento existe, no caso das concessionárias

públicas ou de economia mista, a necessidade de licitações devido ao valor agregado a compra do equipamento.

Aliada a quantidade de disjuntores depreciados deve-se considerar o valor econômico envolvido. Levando em consideração o último fornecimento desse tipo de equipamento e também o nível de tensão de operação do mesmo, podemos chegar as grandezas econômicas conforme Quadro 3.

Disjuntores 13,8kV	R\$ 8.979.570,27
Disjuntores 34,5kV	R\$ 1.569.302,91
Disjuntores 138kV	R\$ 11.654.909,16
Valor líquido	R\$ 22.203.782,34

**QUADRO 3 – Base de remuneração em disjuntores**  
**Fonte: Própria autoria**

## 4.2 Investimentos

Analisando apenas os disjuntores depreciados percebe-se a oportunidade que as concessionárias possuem ao trocar esses equipamentos.

Equipamentos eram trocados com a justificativa do elevado custeio envolvido, pelas dificuldades de manutenção e pela falta de peças de reposição. Porém, ao analisar os aspectos econômicos, percebe-se que as vantagens estão além da visão da engenharia de manutenção e partem para a visão estratégia financeira e econômica das empresas.

Dentre o total de disjuntores, percebe-se que 325 dos 1165 equipamentos estão deixando de compor a base de remuneração da empresa e passando a ser custeados integralmente. Custeios que deixam que a empresa invista em outros ramos de negócio ou perca algumas oportunidades de melhoria nos seus mais diversos setores empresariais.

Quantificando e separando por níveis de tensão, obtêm-se as grandezas econômicas envolvidas conforme Quadro 4. Os valores descrevem que simplesmente trocando equipamentos para recompor o patrimônio da empresa e deixando de custear equipamentos antigos e obsoletos.

Disjuntores 13,8kV	R\$ 4.078.889,62
Disjuntores 34,5kV	R\$ 2.100.505,00
Disjuntores 138kV	R\$ 6.466.784,40
Valor líquido	R\$ 12.646.179,02

**QUADRO 4 – Patrimônio líquido a incorporar base**  
**Fonte: Própria autoria**

A correta apropriação dos valores empregados nessa medida contribuirá no aumento de patrimônio da empresa, conforme quadro 5. Ou seja, essa ação é um investimento prudente que aumenta a receita líquida e disponibiliza os valores destinados a custeio para outras finalidades dentro da empresa.

Patrimônio Atual	R\$ 22.203.782,34
Patrimônio a incorporar	R\$ 12.646.179,02
Patrimônio Projetado	<b>R\$ 34.849.961,36</b>
Acréscimo	<b>57%</b>

**QUADRO 5 – Ganho em patrimônio**  
**Fonte: Própria autoria**

### 4.3 Síntese e conclusão do capítulo

O capítulo apresentou dados patrimoniais da empresa e conseqüentemente valores líquidos passíveis de incorporação, apenas tratando a troca de disjuntores de alta tensão.

Com os dados apresentados demonstra ganho financeiro, que é tratado como primeiro pré-requisito a tudo que envolve investimentos em empresas, o trabalho parte para demonstração de ganhos técnicos.

O próximo capítulo demonstra uma comparação técnica entre equipamentos novos e antigos, no que tange melhora contínua em processos demonstrados por meio de análises de confiabilidade.

## **5 AUMENTO DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA ELÉTRICO**

Com base no banco de dados da empresa de energia elétrica em estudo, encontra-se o histórico de falhas e defeitos com a descrição de todos os eventos. Na concepção do banco de dados de manutenção não foram contempladas as diferenças entre falha e defeito, com isso, não é possível diferenciar quando o equipamento falhou ou obteve um defeito, com isso, a análise foi feita considerando que o equipamento falhou.

Analisando os dados, percebe-se que o tempo médio de reparo é de 45,5 dias, ou seja, em média para cada evento são necessários 45 dias em intervenção no equipamento, demandando mão de obra, materiais, despesas com deslocamento e, principalmente, deixando o sistema elétrico, no qual o equipamento está instalado, com confiabilidade debilitada. Aumentando a confiabilidade, conseqüentemente aumenta-se a disponibilidade dos equipamentos.

Neste capítulo são apresentados os dados de falhas de dois modelos de disjuntores: um com tecnologia antiga e outro com tecnologia atual. Além disso, é apresentada uma comparação entre os dados de falha entre os dois modelos.

No entanto, não serão apresentados os fabricantes, pois as análises não tem caráter de comparação entre fabricantes, mas à tecnologia aplicada na construção dos equipamentos.

### **5.1 Confiabilidade equipamentos antigos**

O modelo escolhido para análise de equipamentos antigos é um típico disjuntor isolado a óleo, de grande volume, que opera em 138kV. É operado por um mecanismo pneumático que emprega um solenoide para realizar suas operações, originou-se do final da década de 60.

A peculiaridade do seu mecanismo traz diferentes tipos de defeitos principalmente no circuito de ar. Devido a vibração da caixa do mecanismo, ajustes nos pressostatos e certificação da correta fixação dos elementos de controle. O

acumulador de energia também pode apresentar defeitos, normalmente relacionado a impurezas que se acumulam na purga do acumulador juntamente com a umidade.

Atualmente existem no banco de dados da empresa 26 exemplares desse modelo, com histórico de falhas conforme Quadro 5. Nota-se que todos os disjuntores apresentaram falha, com isso, a análise não usou nenhuma suspensão.

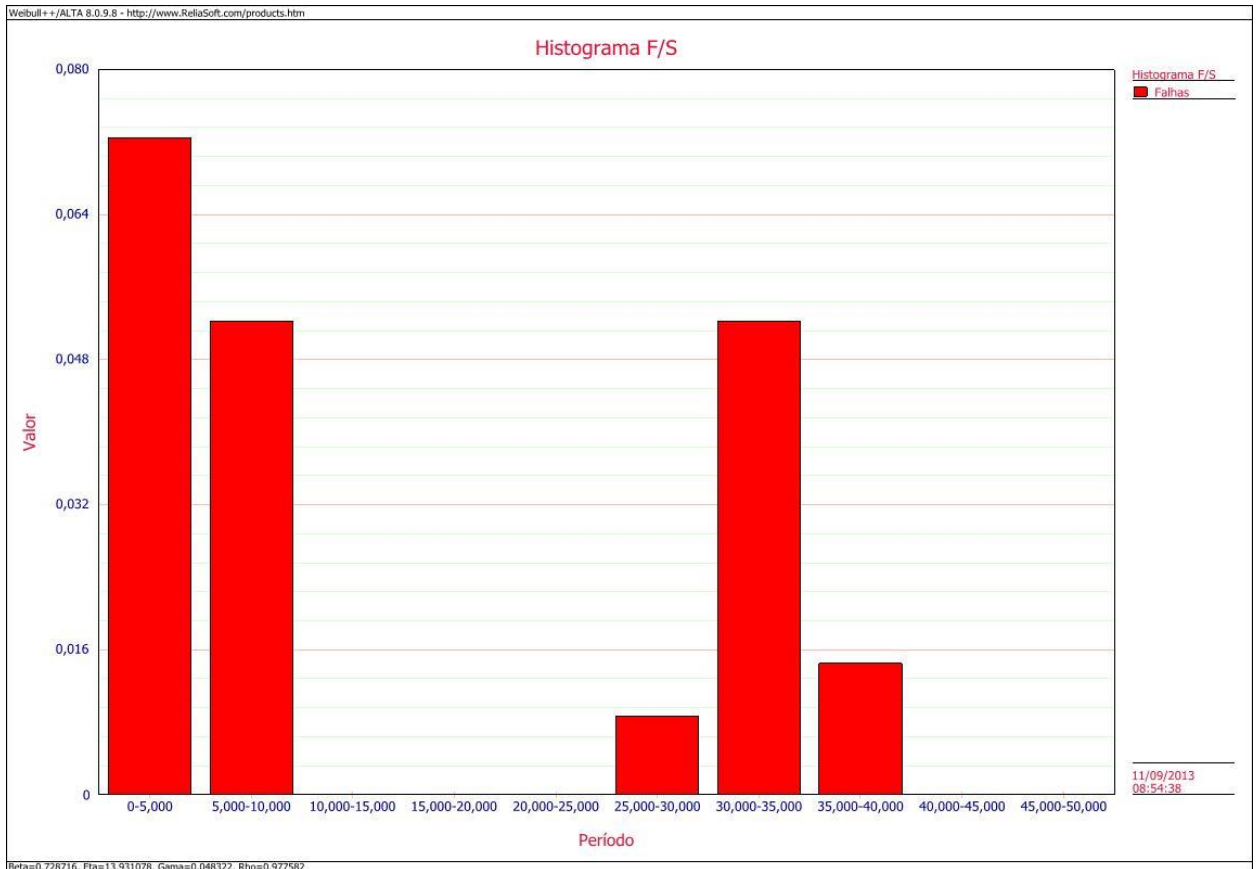
Os tempos até falha estão impressos em anos e foram obtidos em sistema de manutenção da empresa, existem valores muito baixos (menores que 1) devido aos equipamentos apresentarem nos primeiros dias ou meses de operação e também valores nulos, que indicam que o equipamento apresentou defeito na fase de implantação da subestação, fase essa em que todos os equipamentos são testados e comissionados.

Foi feita a análise nos dados para encontrar a melhor distribuição na qual os mesmos aderissem, com isso, o rank apontou como a melhor distribuição como sendo a Weibull 3 parâmetros, que foi implementada para análise dos dados.

Falha (F) ou Suspensão (S)	Tempo (anos)	Falha (F) ou Suspensão (S)	Tempo (anos)	Falha (F) ou Suspensão (S)	Tempo (anos)	Falha (F) ou Suspensão (S)	Tempo (anos)
F	33,29	F	32,45	F	7,16	F	3,24
F	7,89	F	5,11	F	4,72	F	32,75
F	8,09	F	2,20	F	7,78	F	37,44
F	1,84	F	31,57	F	31,08	F	6,88
F	32,47	F	39,58	F	6,38	F	1,86
F	5,52	F	0,98	F	4,48	F	33,45
F	5,87	F	35,47	F	3,66	F	1,41
F	5,71	F	0,83	F	34,04	F	28,52
F	31,54	F	33,85	F	0,30	F	32,05
F	27,99	F	0,00	F	31,44	F	6,80
F	7,63	F	0,10	F	6,20	F	6,74
F	8,56	F	3,48	F	0,65	F	3,66
F	28,92	F	31,44	F	0,09	F	0,37
F	4,91	F	35,07	F	5,49	F	0,27
F	32,00	F	32,68	F	0,46	F	31,98
F	33,04	F	31,85	F	1,81		
F	7,51	F	35,03	F	1,81		
F	5,04	F	3,71	F	4,79		

**QUADRO 6 – Falhas em disjuntores modelo antigo**  
**Fonte: Própria autoria**

Visualizando os dados em forma de histograma, ou seja, uma representação gráfica da distribuição de frequências de uma massa de medições, observa-se que os dados estão concentrados no início e no final de sua vida operativa, conforme figura 14.

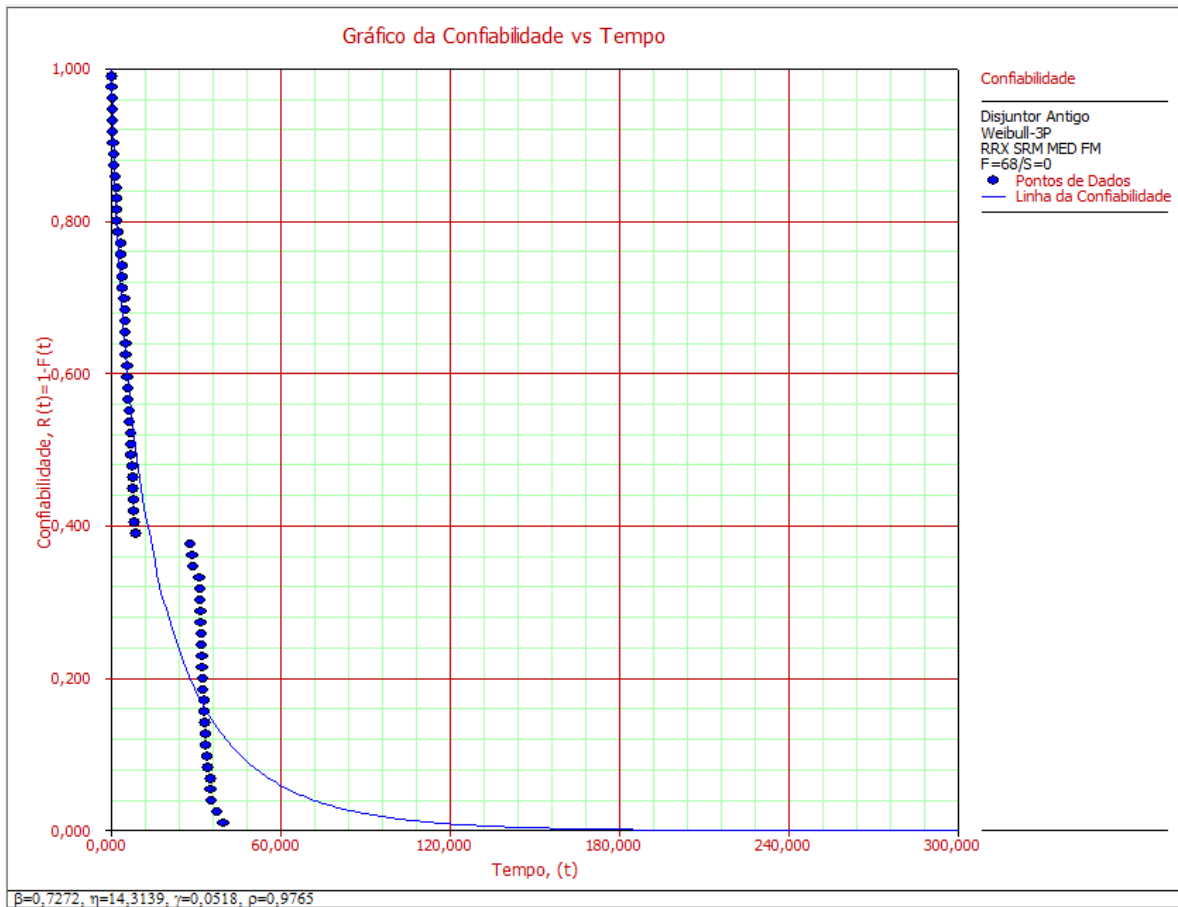


**FIGURA 14 – Histograma modelo antigo**  
**Fonte: Própria autoria**

Os próximo gráficos apresentados neste capítulo referem-se, respectivamente, a Confiabilidade, Probabilidade de falha e taxa de falha variando no tempo para o modelo de disjuntor antigo.

Todos os gráficos estão demonstrados em anos.

Na figura 15, que trata a Confiabilidade do equipamento antigo, os dados se concentraram nos primeiros 10 anos e após os 30 anos, formando um gráfico que indica que a Confiabilidade decresce ao longo do tempo.

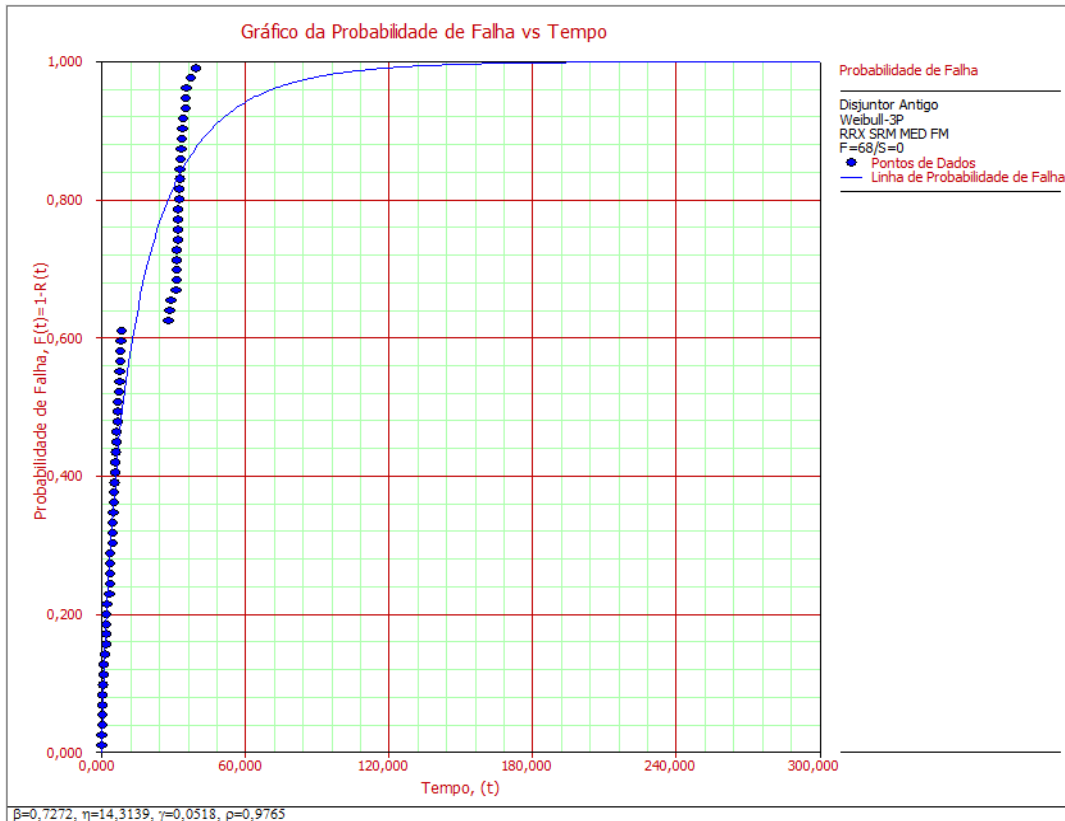


**FIGURA 15 – Confiabilidade variando no tempo de equipamento antigo, confiança 90%**  
**Fonte: Própria autoria**

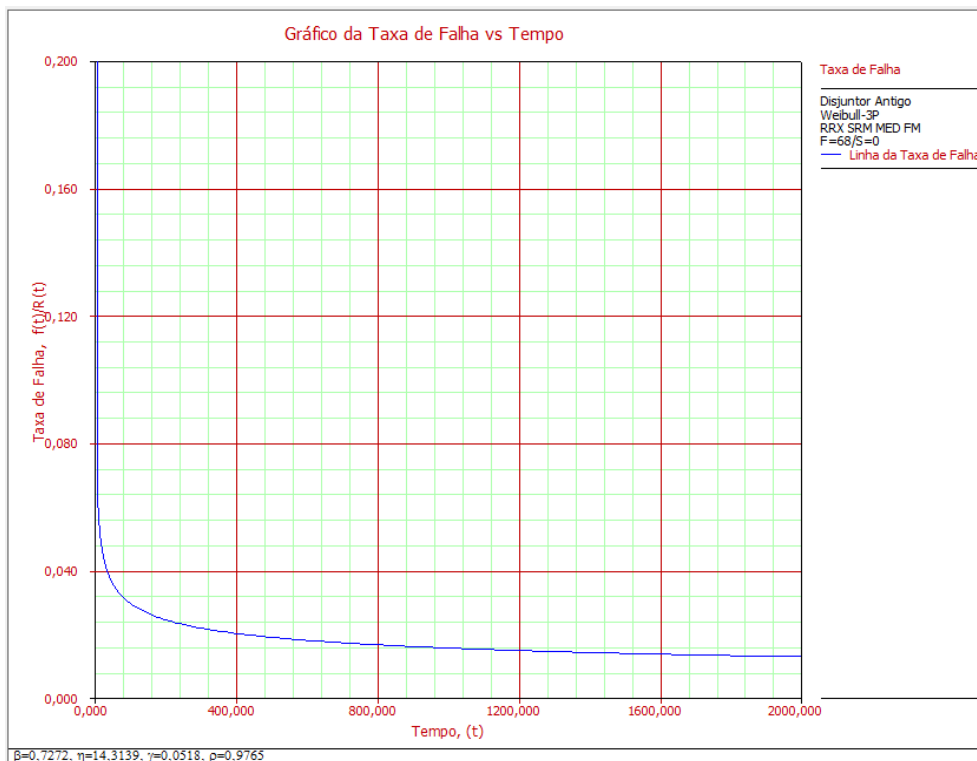
Na figura 16, que trata a probabilidade de falha do equipamento antigo, os dados formaram um gráfico que apresenta uma probabilidade de falha crescente. Analisando apenas os pontos, observa-se que não existe praticamente nenhuma falha entre 10 e 30 anos, caracterizando que os problemas que inicialmente ocorriam foram tratados e o equipamento permaneceu operando sem maiores problemas até chegar a fase de envelhecimento natural de seus componentes.

Para a figura 17, que trata a taxa de falha do equipamento antigo, os dados formaram um gráfico que apresenta taxa de falha levemente decrescente. Se traçar-se gráficos separados das falhas iniciais (menores que 10 anos), das falhas entre 10 e 30 anos e das falhas finais (maiores que 30 anos) obtém-se a curva da banheira para os equipamentos antigos.





**FIGURA 16 – Probabilidade de falha variando no tempo de equipamento antigo, confiança 90%**  
 Fonte: Própria autoria



**FIGURA 17 – Taxa de falha variando no tempo de equipamento antigo, confiança 90%**  
 Fonte: Própria autoria

Dos dados apresentados chega-se a Confiabilidade, para esse modelo de equipamento, em torno de 16% com confiança de 90% no tempo de 33 anos. A Probabilidade de falha, para os mesmos parâmetros, ficou em 84%.

Na seção 5.3 estão os valores referentes à análise desses dados de falha.

## **5.2 Confiabilidade equipamentos novos**

O modelo escolhido para análise de equipamentos novos é o adquirido na década de 90 que ainda é fornecido e opera em 138kV. Trata-se de um modelo com mecanismo a mola helicoidal e extinção a SF<sub>6</sub>.

Existem poucos relatos de defeitos, inclusive devido à faixa de idade em que se encontra a tecnologia empregada. Seus poucos relatos são de deterioração da vedação da caixa do mecanismo e de vazamento de gás SF<sub>6</sub> pela vedação das tubulações que interconectam os polos.

Atualmente existem 128 equipamentos instalados desse modelo e dentre os quais apenas 18, que representa uma pequena parcela, apresentou falha durante esses 15 anos, como se percebe no quadro 6.

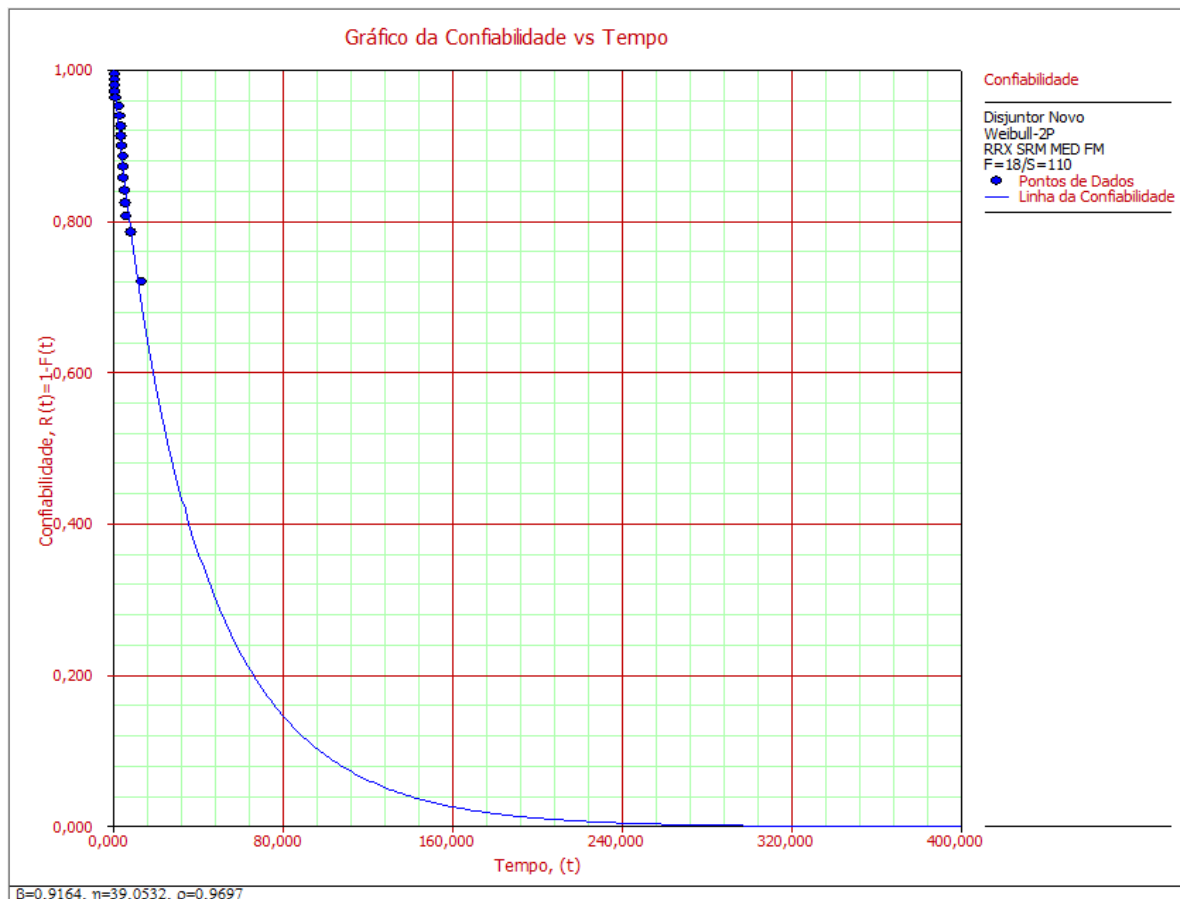
Foi feita a análise nos dados para encontrar a melhor distribuição na qual os mesmos aderissem, com isso, o rank apontou como as melhores distribuições como sendo a Exponencial 2 parâmetros e Weibull 3 parâmetros. Foi implementada a Weibull por se tratarem de dados de vida e pela versatilidade da distribuição.

Falha (F) ou Suspensão (S)	Tempo (anos)	Falha (F) ou Suspensão (S)	Tempo (anos)	Falha (F) ou Suspensão (S)	Tempo (anos)	Falha (F) ou Suspensão (S)	Tempo (anos)
F	2,87	S	13,09	S	5,03	S	2,79
F	7,97	S	13,09	S	5,03	S	2,22
F	5,18	S	13,09	S	5,06	S	1,03
F	0,61	S	9,55	S	4,73	S	2,40
F	3,33	S	9,55	S	4,77	S	2,81
F	2,62	S	9,55	S	4,58	S	2,63
F	0,26	S	9,08	S	1,68	S	2,63
F	0,20	S	9,08	S	4,73	S	2,63
F	5,90	S	9,08	S	4,48	S	2,63
F	4,42	S	8,79	S	4,48	S	2,23
F	5,39	S	8,79	S	4,12	S	2,23
F	4,58	S	8,79	S	4,48	S	2,23
F	3,48	S	8,79	S	4,15	S	0,44
F	0,78	S	8,73	S	2,39	S	1,37
F	0,33	S	8,73	S	2,31	S	1,37
F	3,55	S	8,73	S	1,77	S	1,05
F	13,11	S	8,73	S	1,77	S	4,27
F	4,24	S	8,72	S	2,20	S	2,23
S	15,61	S	8,72	S	4,00	S	2,19
S	15,61	S	8,72	S	2,79	S	2,19
S	15,61	S	8,49	S	2,40	S	1,81
S	15,14	S	8,49	S	1,03	S	0,91
S	14,73	S	7,94	S	1,79	S	1,15
S	14,73	S	6,92	S	1,79	S	2,59
S	13,85	S	7,46	S	1,83	S	2,59
S	13,85	S	7,53	S	1,83	S	0,44
S	13,99	S	5,99	S	1,79	S	2,81
S	13,76	S	5,99	S	1,46	S	0,48
S	13,05	S	5,60	S	1,46	S	0,22
S	13,05	S	5,60	S	2,79	S	1,93
S	13,05	S	5,60	S	2,86	S	1,93
S	13,09	S	5,60	S	2,79	S	1,93

**QUADRO 7 – Falhas em disjuntores modelo novo**  
**Fonte: Própria autoria**

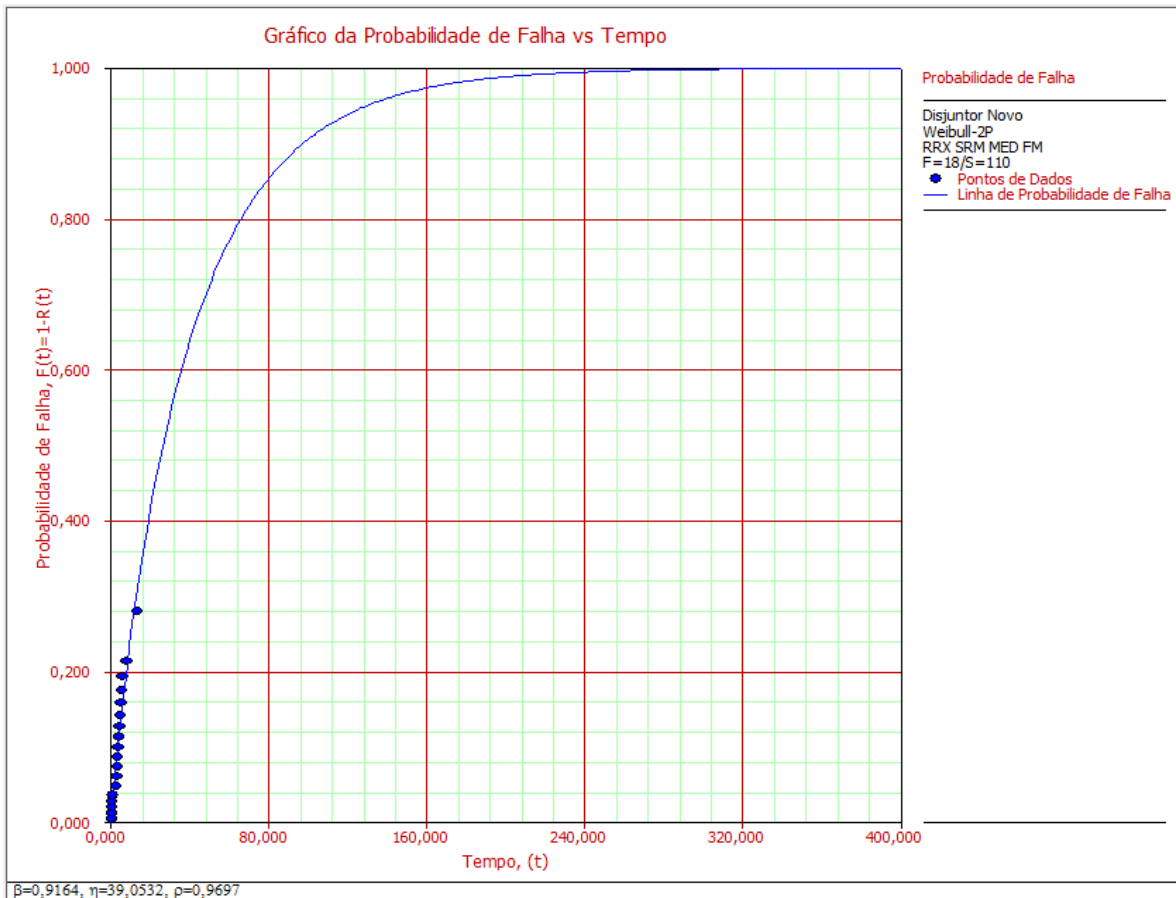
Os próximo gráficos apresentados referem-se, respectivamente, a Confiabilidade, Probabilidade de Falha e Taxa de Falha variando no tempo para o modelo de disjuntor novo.

A figura 18 indica valores de confiabilidade decrescente ao longo do tempo, característica natural ao se analisar equipamentos sujeitos a desgastes e intempéries ao longo de sua vida operativa. A busca constante em confiabilidade dos equipamentos eleva a qualidade dos componentes utilizados, tal evolução pode ser observada no gráfico pela tendência favorável ao desempenho do equipamento ao longo de sua vida operativa.



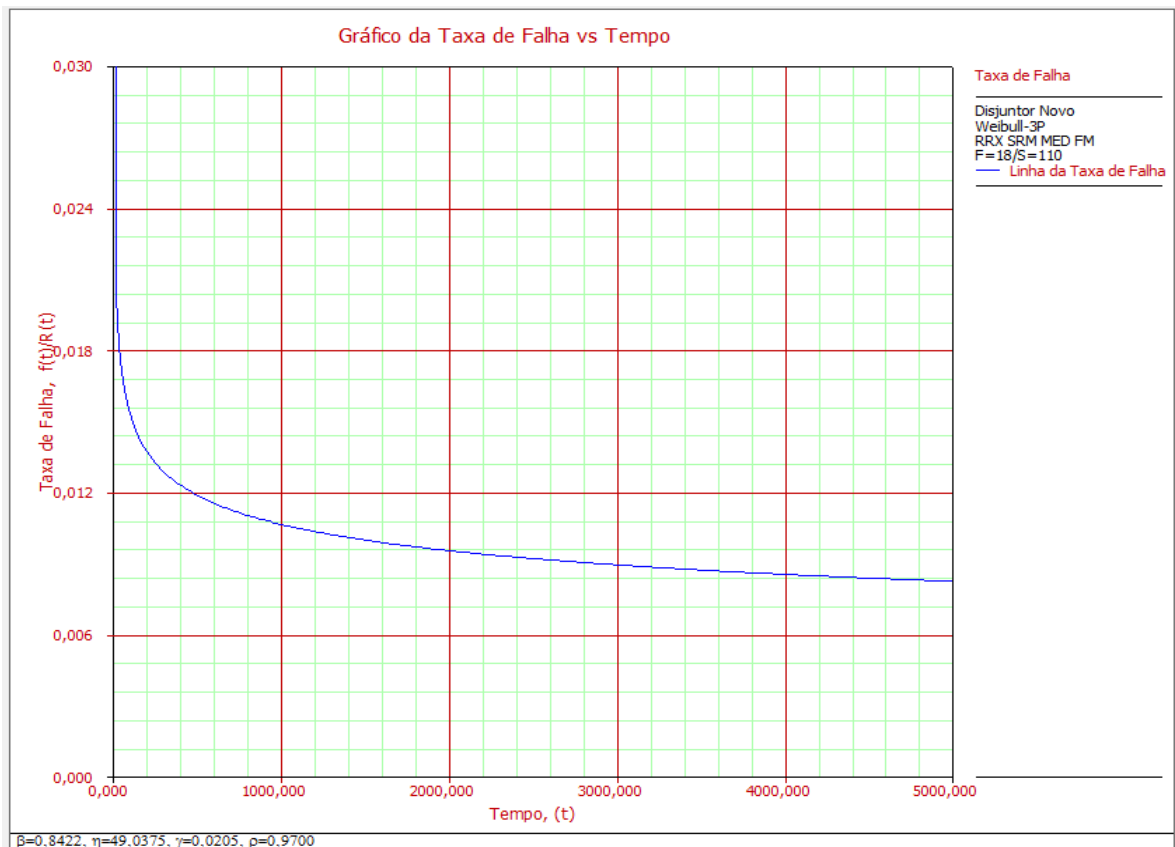
**FIGURA 18 – Confiabilidade variando no tempo de equipamento novo, confiança 90%**  
Fonte: Própria autoria

A figura 19, aliada ao que foi descrito ao gráfico anterior no que se refere a melhora de qualidade dos equipamentos, indica valores de probabilidade de falha muito pequenos, que crescem naturalmente ao passar do tempo.



**FIGURA 19 – Probabilidade de falha variando no tempo de equipamento novo, confiança 90%**  
**Fonte: Própria autoria**

A figura 20 apresenta a taxa de falha dos equipamentos novos. Devido aos equipamentos estarem operando a pouco mais de 15 anos, e não possuírem dados que indiquem envelhecimento, não consegue-se vislumbrar quando será o período no qual haverá aumento da taxa de falha devido aos desgastes desses equipamentos. Os valores de taxa de falha são muito baixos, indicando que foram poucas as ocorrências que envolvam a qualidade do processo fabril e consequentemente poucos casos em que foi necessário o uso da garantia disponibilizada pelos fabricantes.



**FIGURA 20 – Taxa de falha variando no tempo de equipamento novo, confiança 90%**  
Fonte: Própria autoria

Dos dados apresentados chega-se a Confiabilidade, para esse modelo de equipamento, em torno de 42% com confiança de 90% no tempo de 33 anos. A Probabilidade de falha, para os mesmos parâmetros, ficou em 58%.

Na seção 5.3 estão os valores referentes à análise desses dados de falha comparando com os dados de falha do equipamento antigo.

### 5.3 Comparação entre equipamentos antigos e novos

Baseado no Quadro comparativo, Quadro 7, no qual os dados relevantes à comparação são apresentados podemos analisar os equipamentos e demonstrar quantitativamente a diferença entre eles. Para a análise foi utilizado, como vida útil, 33 anos devido a regulamentação de depreciação vigente.

CARACTERÍSTICAS	DISJUNTOR	
	ANTIGO	NOVO
Vida Média (em anos)	17,54	40,69
Confiabilidade (em 33 anos)	15,99%	42,44%
Probabilidade de falha (em 33 anos)	84,01%	57,56%
Taxa de falha por ano (em 33 anos)	4,05%	2,38%
Confiabilidade Condicional (entre 2 e 31 anos)	20,21%	45,32%

QUADRO 8 – Comparações de Confiabilidade entre os modelos: Antigo e Novo  
Fonte: Própria autoria

Em análise aos dados de confiabilidade dos equipamentos percebeu-se o aumento de confiabilidade significativo ao se trocar os equipamentos, conseqüentemente uma queda brusca de taxa de falhas.

A vida média do equipamento novo é alta, conforme figura 21, porém não é totalmente precisa já que o histórico de dados do equipamento tem pouco mais de 15 anos e existem matérias primas degradantes em sua composição. Mas pode-se afirmar que a vida média do equipamento novo supera o antigo e aumenta a garantia de disponibilidade do equipamento ao longo de sua vida operativa.

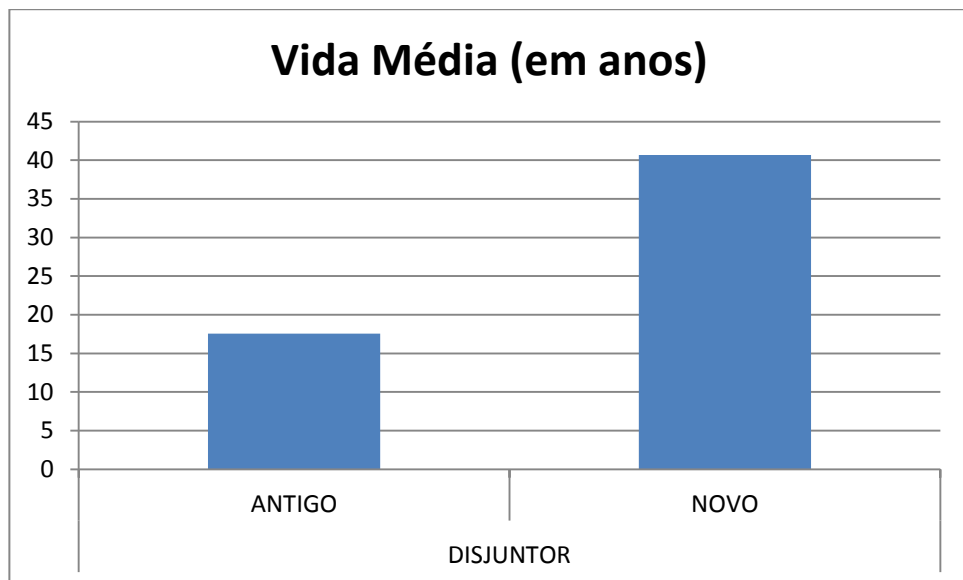
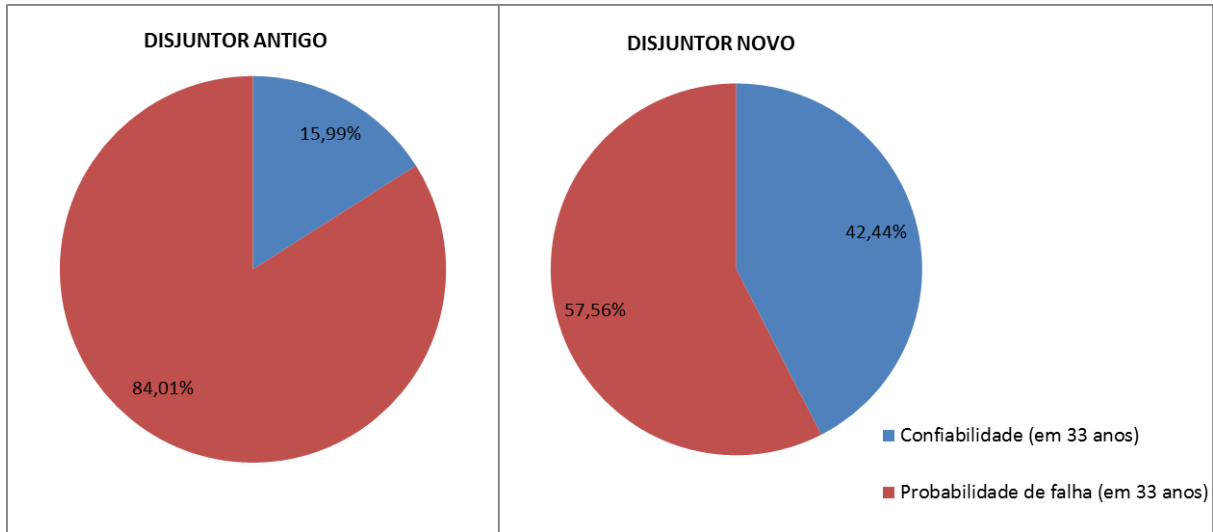


FIGURA 21 – Vida média dos disjuntores de alta tensão novos e antigos, confiança 90%  
Fonte: Própria autoria

Utilizando como base o tempo no qual o equipamento é remunerado pelo agente regulador, conforme figura 22, a confiabilidade do equipamento novo é muito

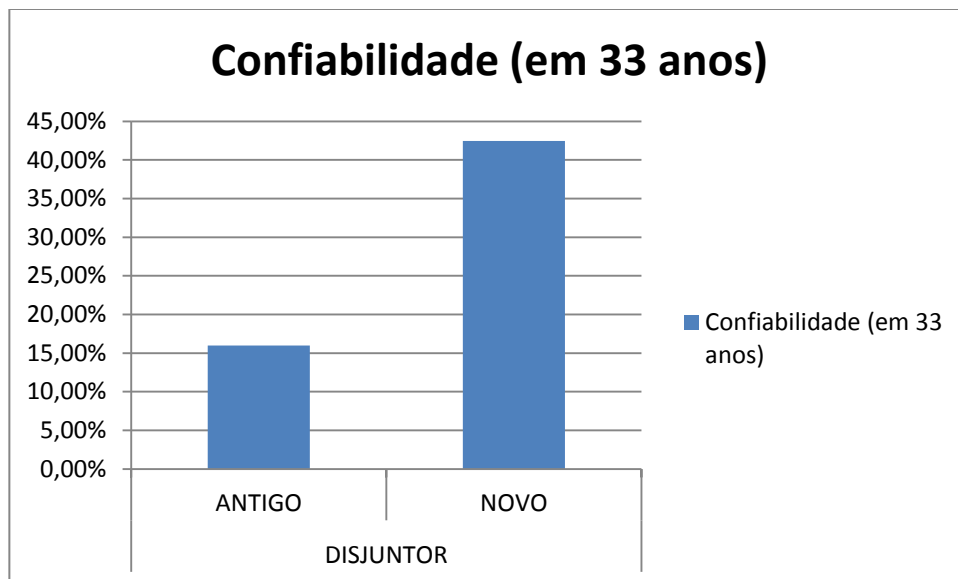
superior e conseqüentemente a taxa de falha muito baixa em relação aos equipamentos antigos.



**FIGURA 22 – Comparação de Confiabilidade e Probabilidade entre os equipamentos, confiança 90%**

Fonte: Própria autoria

Tecnicamente, do ponto de vista de confiabilidade, a troca de disjuntores é oportuna em todos os aspectos, uma vez que a confiabilidade no parque de disjuntores de alta tensão instalados será incrementada em 26,45%, conforme figura 23, ganho imensurável em se tratando de equipamentos que não podem falhar.



**FIGURA 23 – Comparação de Confiabilidade entre disjuntores novos e antigos, confiança 90%**

Fonte: Própria autoria



## CONCLUSÕES

Está demonstrado a melhora de confiabilidade no sistema elétrico na troca de equipamentos com tecnologias superiores, tendo em vista a melhora no conceito, materiais empregados e otimização de processos na fabricação dos equipamentos ao longo dos anos. Não podemos quantificar a idade média real incrementada devido aos fatores processuais de concepção dos produtos, uma vez que existem matérias primas degradantes, mas a tendência é de melhora significativa nesse tipo de equipamento. As novas tecnologias trazem maior disponibilidade para o sistema e menor necessidade de intervenção, reduzindo a mão de obra para manutenção ao longo de sua vida útil e conseqüentemente um crescimento da confiabilidade do sistema elétrico de potência.

Ao observar que os custos de manutenção e os valores das peças de reposição são elevados ao passar do tempo, e que essas peças são cada vez mais escassas no mercado, aliado com a quantidade de equipamentos que se enquadram nas características de depreciação e obsolescência, fica evidente que a troca por novos equipamentos é o mais correto.

A correta apropriação dos valores empregados nessa medida, desde a compra até a entrada em operação, contribuirá no aumento de patrimônio da empresa. Ou seja, essa ação é um investimento prudente que aumenta a receita líquida e disponibiliza os valores destinados a custeio para outras finalidades dentro da empresa.

Um ponto importante a se constatar é que em todo tempo foram comparados disjuntores que possuem exatamente as mesmas funcionalidades, independentemente de sua tecnologia construtiva, com isso, a comparação endossa os argumentos da melhoria contínua, com a utilização das ferramentas da qualidade de processos, utilizada pelos fabricantes.

Portanto, entende-se que a monografia atingiu o seu objetivo no que tange a gestão de ativos, uma vez que demonstra o aumento da base de remuneração e também na quantificação das diferenças existentes entre a qualidade dos dois tipos de disjuntores de alta tensão, utilizando como base as taxas de falha de modelos antigos e novos. Além disso, após a realização dos trabalhos futuros, o trabalho

atual poderá ser empregado na análise de evolução da confiabilidade do sistema elétrico da empresa.

### **Trabalhos futuros**

Este trabalho pode ser usado como início de outros estudos que possam contribuir para a melhoria da qualidade de energia elétrica do sistema elétrico brasileiro. Assim, os trabalhos futuros consistiriam em:

- Determinação da contribuição no aumento da confiabilidade, ao sistema elétrico brasileiro e nas empresas, na troca de outros equipamentos contidos no sistema;
- Estratificar os modos de falha, de maneira regionalizada, para analisar possíveis diferenças nas causas das falhas por peculiaridades locais;
- Estudar soluções para os modos de falha encontrados e propor medidas para que os equipamentos comprados sejam concebidos de modo a evitar esses modos de falha.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico**. Brasília, Junho de 2009: ANEEL, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Regulação Tarifária**. Brasília, Janeiro de 2012: ANEEL, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 367**. Brasília, 02 de junho de 2009: ANEEL, 2009.

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica**: um guia para a produção do conhecimento científico. São Paulo, Atlas, 2009.

AREVA. **Instrução de Operação nº246 - Disjuntor de alta tensão GL 312 F1**. Ba 246 pt/01. Av. Nossa Senhora da Piedade, 1021 - Itajubá - MG - Brasil, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5462. Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BILLINTON, Roy, ALLAN, Ronald N., **Reliability Evaluation of Engineering Systems**. Editora Plenum Press, Second Edition, 1992.

COSTA, Cid Augusto. **Notas de Aula: Análise do Custo de Ciclo de Vida – UTFPR**. Curitiba. 2012.

DIAS, Acires; CALIL, Luís Fernando Peres; RIGONI, Emerson; SAKURADA, Eduardo Yujji; KAGUEIAMA, Heitor Azuma kagueiama, OGLIARI, André. **Metodologia para Análise de Risco**. Florianópolis, 2011.

DODSON, B.; NOLAN, D. **Reliability engineering handbook**. New York: Marcel Dekker, 2002.

DUFURNET, D. **Circuit breakers go high voltage**. France. v. 7, n. 1, p. 34–40, 2009

GARZON, R.; **High voltage circuit breakers: design and applications**. 1997.  
Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=VORSAAAAMAAJ>

GUIMARÃES, Inácio Andruski. **Notas de Aula: Análise Estatística**– UTFPR. Curitiba. 2012.

KHATER, Evaldo. **Fundamentos de Confiabilidade**. Instituto Superior de Tecnologia. São João Del Rei. 2009.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso Lafraia. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitmark: Petrobras, 2001.

LIMA, R. T. de. **Desenvolvimento de Software para Medição dos Tempos de Operação durante Ensaio em Disjuntores de Alta Tensão**. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2010.

MARIANO, Carlos. **Notas de Aula: Dependabilidade de Sistemas** – UTFPR. Curitiba. 2012.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. 4. ed. rev. São Paulo: Atlas, 1990.

MILASCH, Milan. **Manutenção de disjuntores de alta tensão**. Rio de Janeiro: Cervantes, 1993

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

RAUSAND, M.; HOYLAND, A. **System reliability theory: models, statistical methods and applications**. New York: Wiley, 2004.

RELIASOFT CORPORATION. **RS 401: Análise de Dados de Vida**. 2011. Apostila de treinamento. RELIASOFT, 2011.

SANTOS, Danilo Turkievicz dos. **SISTEMA INTELIGENTE PARA APOIO À PROGRAMAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO**. Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Florianópolis, 2013.

SELLITTO, M.; BORCHADT, M.; ARAÚJO, D. Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa. **Anais do XXII ENEGEP**. Curitiba: ABEPRO. 2002.

SPANÓ, Claudio. **Notas de Aula: Ensaio Acelerados de Vida** – UTFPR. Curitiba. 2012.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos**. Curitiba: Editora da UFPR, 2011.

VATECH. **SB6 123-245 kV - SF6 circuit breaker**, 2002.

DIAS, Acires; CALIL, Luís Fernando Peres; RIGONI, Emerson; SAKURADA, Eduardo Yuji; KAGUEIAMA, Heitor Azuma kagueiama, OGLIARI, André. **Metodologia para Análise de Risco**. Florianópolis, 2011.