

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE APLICADA A MANUTENÇÃO

TIAGO AUGUSTO SILVA SANTANA

ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE APLICADA À MEDIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

MONOGRAFIA - ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2012

TIAGO AUGUSTO SILVA SANTANA

**ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE APLICADA À MEDIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

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

Orientador: Emerson Rigoni, Dr. Eng.

CURITIBA

2012

FOLHA DESTINADA À INCLUSÃO DA FICHA CATALOGRÁFICA

FOLHA DESTINADA AO TERMO DE APROVAÇÃO

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Dedico os meus sinceros agradecimentos:

- a Deus que sempre é minha segurança;
- aos meus pais que nunca mediram esforços para que eu pudesse estudar;
- a minha auxiliadora, Daisy Hashimoto Hayashi, por abrir mão de seu tempo comigo e por todas as palavras de incentivo;
- ao Engenheiro João Acyr Bonat Junior e ao Engenheiro José Amilton Sidor que acreditaram que este trabalho traria benefícios à Companhia Paranaense de Energia;
- a Mauro Cesar Filla e Aldemir Alves da Silva por me auxiliarem na pesquisa dos dados;
- a Companhia Paranaense de Energia por patrocinar minha formação neste curso;
- ao Professor Doutor Emerson Rigoni que orientou este trabalho;
- aos professores da primeira turma do curso de Especialização em Engenharia de Confiabilidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

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

SANTANA, Tiago Augusto Silva. **Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Medição de Energia Elétrica**. 2012. 10p. Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Esta monografia é uma pesquisa aplicada, fundamentada na engenharia da confiabilidade, cujo objetivo é estabelecer um comparativo entre a medição eletrônica e a eletromecânica de energia elétrica. Esta proposta leva em consideração a nova indústria de medidores eletrônicos que se formou no Brasil nos últimos anos. Os dados utilizados no trabalho referem-se à realidade brasileira com suas especificidades. Além disso, os dados de falha apresentados neste documento são reais e provenientes de históricos de uma concessionária de energia elétrica. Outro ponto de relevância abordado diz respeito aos aspectos regulatórios. Eles são considerados para que as tomadas de decisão, inerentes ao processo de manutenção centrada em confiabilidade, sejam relevantes e aplicáveis nas distribuidoras de energia elétrica do Brasil.

Palavras-chave: Medição Eletrônica. Manutenção. Confiabilidade. Distribuidoras.

ABSTRACT

SANTANA, Tiago Augusto Silva. **Reliability Engineering Applied to the Measurement of Electric Power**. 2012. 10p. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

This monograph is an applied research, based on reliability engineering, which aims to establish a comparison between electronics and electromechanical meters of electricity. This proposal takes into account the new industry of electronic meters that formed in Brazil in recent years. The data used in this paper refers to the Brazilian reality with its specificities. Moreover, the failure data presented in this document are real and from a historical electricity utility. Another relevant issue addressed concerns the regulatory aspects. They are considered to decision making, inherent to reliability centered maintenance, are relevant and applicable to electricity distribution companies in Brazil.

Key-words: Electronic Meter. Maintenance. Reliability. Electricity Utilities.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Função Densidade de Probabilidade para β igual a 0,5.....	21
Gráfico 2 – Função Densidade de Probabilidade para β igual a 1.....	22
Gráfico 3 – Função Densidade de Probabilidade para β igual a 1,5.....	22
Gráfico 4 – Função Densidade de Probabilidade para β igual a 3,4.....	23
Gráfico 5 – Função Densidade de Probabilidade para vários valores de β	23
Gráfico 6 – Efeito do parâmetro α na função densidade de probabilidade.....	24
Gráfico 7 – Efeito do parâmetro β na função probabilidade acumulada de falhas....	25
Gráfico 8 – Efeito do parâmetro β na função confiabilidade.....	25
Gráfico 9 – Efeito do parâmetro β na função taxa de falhas.....	26
Gráfico 10 – Confiabilidade do Medidor A.....	44
Gráfico 11 – Função Densidade de Probabilidade do Medidor A.....	45
Gráfico 12 – Taxa de Falha do Medidor A.....	46
Gráfico 13 – Confiabilidade do Medidor B.....	46
Gráfico 14 – Função Densidade de Probabilidade do Medidor B.....	47
Gráfico 15 – Taxa de Falha do Medidor B.....	47
Gráfico 16 – Confiabilidade do Medidor C.....	49
Gráfico 17 – Função Densidade de Probabilidade do Medidor C.....	49
Gráfico 18 – Taxa de Falha do Medidor C.....	50
Gráfico 19 – Confiabilidade do Medidor D.....	51
Gráfico 20 – Função Densidade de Probabilidade do Medidor D.....	52
Gráfico 21 – Taxa de Falha do Medidor D.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama com os módulos básicos dos medidores de energia elétrica...	28
Figura 2 – Partes básicas de um medidor eletromecânico	29
Figura 3 – Esquema indicando as bobinas de tensão e corrente do medidor eletromecânico.....	30
Figura 4 – Esquema do motor do medidor eletromecânico	31
Figura 5 – Registrador	32
Figura 6 – Medidor parcialmente montado.	33
Figura 7 – Diagrama funcional do circuito integrado AD7755.....	34
Figura 8 – Modelo básico para o resisto <i>shunt</i>	35
Figura 9 – Esquema de funcionamento do sensor de Efeito Hall	35
Figura 10 – Esquema de uma Bobina de Rogowski em conjunto com um circuito integrador.....	36
Figura 11 – Modelo de medidor eletrônico de energia elétrica	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados de falha do Medidor A	40
Quadro 2 – Dados de falha do Medidor B	42
Quadro 3 – Dados de falha do Medidor C	43
Quadro 4 – Dados de falha do Medidor D	44
Quadro 5 – Comparação de características do Medidor A e Medidor B	48
Quadro 6 – Comparação de características entre Medidor A, Medidor B e Medidor C	50
Quadro 7 – Comparação de características entre Medidor A, Medidor B, Medidor C e Medidor D	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA	14
1.1.1 Delimitação do Tema	14
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral.....	15
1.4 JUSTIFICATIVA.....	16
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO	17
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 CONFIABILIDADE	19
2.1 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE	19
2.1.1 Terminologia	19
2.2 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL	20
2.2.1 Probabilidade acumulada de falhas	24
2.2.2 Confiabilidade	25
2.2.3 Taxa de falhas	26
3 EQUIPAMENTO	27
3.1 MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA.....	27
3.2 MEDIDOR ELETROMECÂNICO.....	29
3.3 MEDIDOR ELETRÔNICO	33
4 ANÁLISE DE FALHAS	38
4.1 DADOS DE FALHAS	38
4.2 COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

A medição eletrônica de energia elétrica no Brasil já é uma realidade para consumidores industriais há 21 anos, por meio do medidor ELO.521 – MEP (COPEL, 2012). Porém, os consumidores residenciais começaram a ter sua energia elétrica contabilizada por medidores eletrônicos somente há 11 anos com o emprego do medidor SAGA 2100 versão 1341 (COPEL, 2012).

Antes de a energia elétrica ser medida por meio de dispositivos eletrônicos ela era medida por equipamentos eletromecânicos cujos mecanismos em muito lembram os de um relógio suíço (COPEL, 2012). Assim, as indústrias que fabricavam medidores de energia eram indústrias eletromecânicas e atualmente transformaram-se em indústrias eletrônicas. Ou seja, passaram por uma revolução sem precedentes.

Como essas indústrias eram especializadas em dispositivos cujo funcionamento dependia de uma mecânica refinada, o processo de migração para outro padrão construtivo foi sentido muitas vezes de forma dramática (COPEL, 2012). Isso pode ser visto pelos muitos casos de *recall* de medidores eletrônicos que ocorreram nos últimos anos.

Ora, quando um equipamento aplicado em uma concessionária não funciona corretamente ele precisa ser reparado ou substituído isso gera um custo (ANEEL, 2010). Com as substituições de medidores eletrônicos não é diferente. Alguém ou alguma instituição precisa pagar pelos medidores que deixam de funcionar.

Assim, este estudo tratará da confiabilidade dos medidores de energia elétrica no Brasil.

1.1.1 Delimitação do Tema

O presente estudo deve apresentar um estudo de confiabilidade que compare a confiabilidade de medidores eletromecânicos e a confiabilidade de medidores eletrônicos. Este estudo leva em consideração dados reais obtidos na Companhia Paranaense de Energia, Copel Distribuição. Os dados empregados no

trabalho referem-se a realidade desta empresa. No entanto, por meio dos estudos apresentados nesta monografia pode-se realizar uma extrapolação dos resultados para que outras distribuidoras.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

Como foi visto no tópico anterior, a medição de energia elétrica por meio de dispositivos eletrônicos é relativamente nova no Brasil. Assim, o setor tem enfrentado grandes dificuldades no que diz respeito à qualidade dos medidores comercializados atualmente.

Além disso, o tempo de depreciação dos medidores é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL (ANEEL, 2009). Este tempo é muito superior ao tempo até falha dos medidores eletrônicos aplicados nas concessionárias (COPEL, 2012). Desta forma, antes que o medidor seja plenamente depreciado, ele precisa ser substituído. Isso acarreta grandes gastos às distribuidoras de energia elétrica.

Assim, ao longo deste trabalho serão analisados dados de falha de medidores para que se possa determinar a confiabilidade de medidores construídos sob a tecnologia eletromecânica e eletrônica e, assim, efetuar um comparativo científico entre as duas tecnologias.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar as métricas de confiabilidade e, a partir daí, comparar as duas famílias de medidores utilizados atualmente no Brasil, os medidores eletromecânicos e os eletrônicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar os dados históricos de falhas de medidores eletrônicos e eletromecânicos;

- Determinar a probabilidade de ocorrência de falha dos medidores com base nos dados históricos;
- Estabelecer um comparativo entre as 2 famílias de medidores utilizados atualmente no Brasil, os medidores eletromecânicos e os eletrônicos;

1.4 JUSTIFICATIVA

As razões para a avaliação da confiabilidade dos medidores eletromecânicos e eletrônicos e posteriormente um comparativo estão ligadas a redução de custos para as concessionárias de energia elétrica e para toda a sociedade brasileira.

Ora, se a manutenção dos medidores eletrônicos é realizada levando-se em consideração as técnicas de confiabilidade, os custos podem ser reduzidos. O primeiro grande impacto desta redução pode ser sentida pelas distribuidoras de energia elétrica.

Os medidores de energia compõem a tarifa de energia elétrica conforme a regulamentação do setor elétrico define. Assim, caso os custos de manutenção dos medidores fossem reduzidos, a agência regulatória do setor elétrico poderia devolver essa redução àqueles que pagam contas de energia elétrica.

Além disso, com um sistema de manutenção mais efetivo pode-se obter benefícios ambientais. Caso a manutenção seja realizada da melhor maneira possível, a redução de recursos naturais pode ser alcançada, mesmo que esta seja de difícil mensuração.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho é realizada, conforme classificação de (MANUAL FRASCATI apud AGUIAR, 1991, p.10), uma pesquisa aplicada. Isso pode ser explicado pelo fato de a pesquisa em questão ter o objetivo de solucionar um problema específico que é a manutenção de medidores eletrônicos de energia elétrica segundo os métodos de manutenção centrada em confiabilidade.

Para que o objetivo supracitado possa ser atingido o referido trabalho conta com um capítulo destinado à revisão bibliográfica que tem a finalidade de apresentar

a teoria necessária para a compreensão da pesquisa e resultados apresentados na sequência.

Além disso, a pesquisa apresentada nesta monografia é descritiva, conforme Medeiros (2003, p.42). Isso ocorre, pois durante a pesquisa, vários dados sobre falhas de medidores serão estudados, analisados, registrados e uma interpretação desses dados será apresentada.

E mais, a pesquisa pode ser classificada como de campo, pois se refere a dados que são obtidos de falhas de medidores que ocorreram sem a interferência do pesquisador, como mostra Oliveira (1999, p. 124).

A obtenção dos dados usados na pesquisa é feita por meio de informações contidas em relatórios de falhas de equipamentos de uma distribuidora de energia elétrica do Paraná. Portanto, os dados referem-se às falhas de medidores instalados em unidades consumidoras de energia elétrica.

Este trabalho possui um capítulo no qual a pesquisa será detalhada. Como pode ser visto por meio da seção 1.7, Estrutura do Trabalho. Assim, maiores informações de como a pesquisa é conduzida pode ser encontrada neste capítulo.

1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO

Por meio de pesquisa bibliográfica pode-se verificar que este trabalho está fundamentado em algumas referências principais.

As primeiras grandes referências que tratam diretamente do tema de Engenharia da Confiabilidade são dadas por Weibull (1951), Acires (2004), Lafraia (2001) e Piazza (2000). Os autores citados anteriormente são amplamente citados na revisão de literatura desta monografia.

Outra referência importante é a regulamentação do Setor Elétrico Brasileiro, conforme (ANEEL, 2009). Este órgão regulador mostra como o custo com os medidores é tratado. Ou seja, a referida regulamentação determina como são pagos os custos dos medidores de energia elétrica. Isso é importante, pois por meio destes custos pode-se tomar as decisões necessárias para se propor um plano de manutenção centrada em confiabilidade.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para que se alcancem os objetivos propostos na Seção 1.3 deste capítulo, esta monografia está organizada em seis capítulos. Eles são apresentados na sequência:

O Capítulo 1 é o capítulo introdutório cuja atual seção faz parte. Neste capítulo são abordadas as informações necessárias para que se compreenda a que este trabalho se propõe, bem como a metodologia a ser empregada.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica referente à Engenharia da Confiabilidade. Neste capítulo são apresentadas as teorias de análise dos dados de vida, particularmente, distribuição de Weibull.

O terceiro capítulo tem o objetivo de apresentar o equipamento em estudo neste trabalho, o medidor de energia elétrica. Além de apresentar o que é o equipamento, este capítulo mostra as diferentes tecnologias empregadas em seu projeto.

O Capítulo 4 apresenta os dados da pesquisa de falhas de medidores. E mais, neste capítulo é realizada, a partir dos dados fornecidos, uma comparação entre a confiabilidade dos medidores eletromecânicos e eletrônicos.

Já, o quinto capítulo apresenta as conclusões do trabalho e, na sequência, há as referências.

2 CONFIABILIDADE

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

2.1 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

2.1.1 Terminologia

O primeiro termo apresentado é a falha. A falha é, segundo a (ASSOCIAÇÃO..., 1994), 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..., 1994).

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

Ainda segundo a (ASSOCIAÇÃO..., 1994), 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.

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

Desta forma, é possível inferir que manutenção centrada em confiabilidade consiste em aliar técnicas e ações que levem um item a desempenhar sua função durante um determinado período e sob condições definidas.

Assim, para Piazza (2000) a “confiabilidade de um sistema é a probabilidade de que, quando em operação sob condições ambientais estabelecidas, o sistema apresentará uma performance desejada (sem falhas) para um intervalo de tempo especificado”.

2.2 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A distribuição de Weibull recebe este nome, pois foi primeiramente descrita por Ernest Hjalmar Wallodi Weibull, físico sueco que no ano de 1939 apresentou um modelo sobre fadiga de materiais, Piazza (2000). Porém, somente em 1951 esta distribuição, usada no estudo de confiabilidade, descrito 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). Weibull é composta por três parâmetros, α , β e γ . Esses parâmetros são responsáveis pela versatilidade desta distribuição. Por meio deles, muitos dados experimentais podem ser expressos matematicamente, Acires (2004).

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). No presente trabalho a distribuição de falhas será descrito da seguinte forma:

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

Onde $x > 0$, $\alpha > 0$, e $\beta > 0$.

Assim, x é a variável que define a vida útil, ou seja, no caso de medidores de energia elétrica é o tempo em que o medidor permanece em funcionamento.

Já, γ é um parâmetro de tempo inicial. Ele pode ser usado para representar quando o medidor passou a ser usado, porém, para o presente estudo ele será considerado zero a não ser que venha a ser citado.

Outro parâmetro, α , é a representação da vida característica do equipamento. No caso em questão, o equipamento é o medidor de energia elétrica. Ou seja, este parâmetro representa o tempo do início da vida do equipamento até a sua falha.

O último parâmetro da distribuição é o β . Ele é responsável pela forma da função. Ou seja, ele determina a “aparência” da distribuição, Acires (2004). Para ilustrar como o parâmetro β influencia a forma do gráfico na sequência serão apresentados alguns gráficos de distribuição de Weibull onde apenas o fator β é

alterado¹. Para a função foram definidos os seguintes valores: x variando de 1 a 193 com incrementos de 1, α igual a 100, γ igual a 0 e β sendo modificado.

Inicialmente temos um β igual a 0,5, ou seja, menor que 1. O gráfico 1 mostra como fica a aparência da função no gráfico.

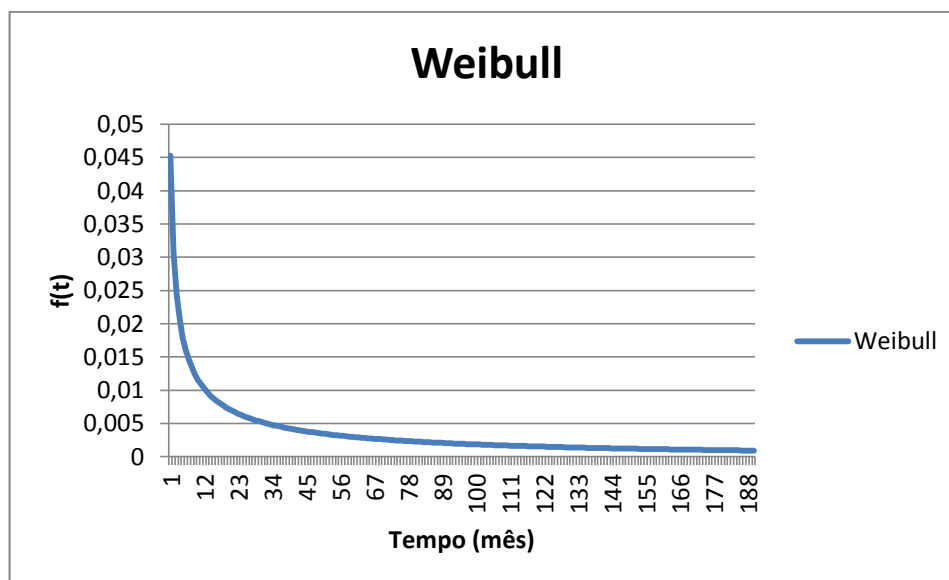


Gráfico 1 – Função Densidade de Probabilidade para β igual a 0,5
Fonte: Autoria própria

Por meio do gráfico 1 é possível perceber que a distribuição indica um número de falhas que decresce ao longo do tempo. Assim, uma função com o β menor que 1 pode ser usado para indicar o período de mortalidade infantil dos equipamentos.

O próximo valor aplicado a β foi 1. Com este valor a função passa a exibir um comportamento quase linear, como é visto no gráfico 2. Desta forma, este tipo de distribuição pode mostrar a vida útil de um equipamento.

¹ O fator x também sofre alterações, pois ele representa a vida útil de um equipamento, Acire (2004).

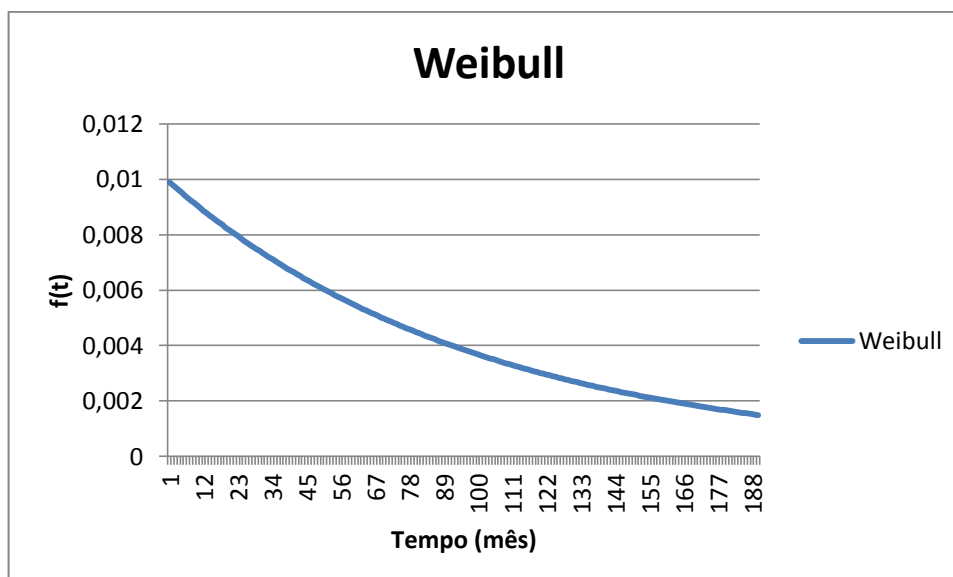


Gráfico 2 – Função Densidade de Probabilidade para β igual a 1
 Fonte: Autoria própria

Outro valor utilizado em β foi 1,5. Nesta condição, pode-se perceber que a função densidade de probabilidade cresce rapidamente no começo da vida do componente em questão, gráfico 3.

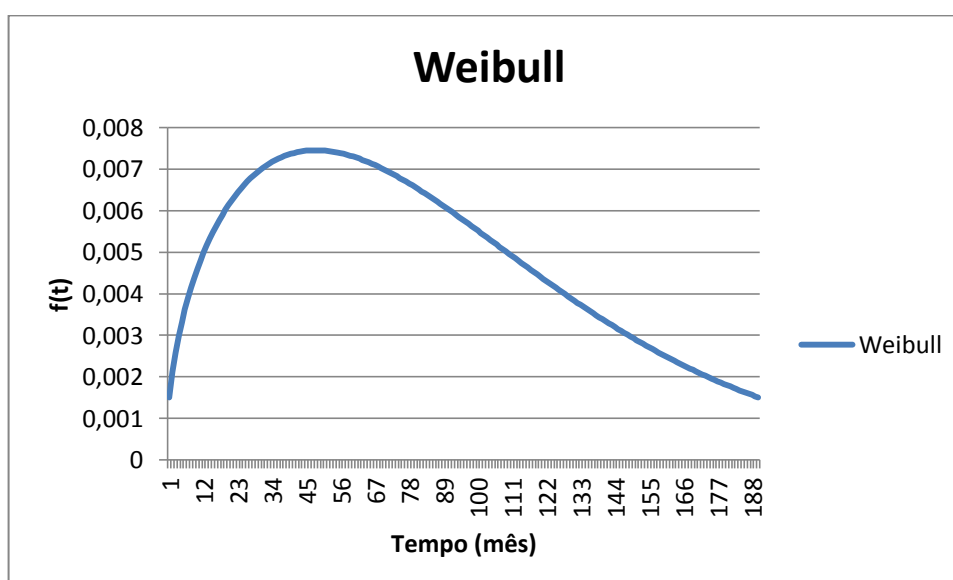


Gráfico 3 – Função Densidade de Probabilidade para β igual a 1,5
 Fonte: Autoria própria

Na sequência aplica-se o valor de 3,4 para β . Assim, é possível perceber por meio do gráfico 4 que a função se aproxima da distribuição normal. Esse formato se mantém para números maiores no parâmetro β .

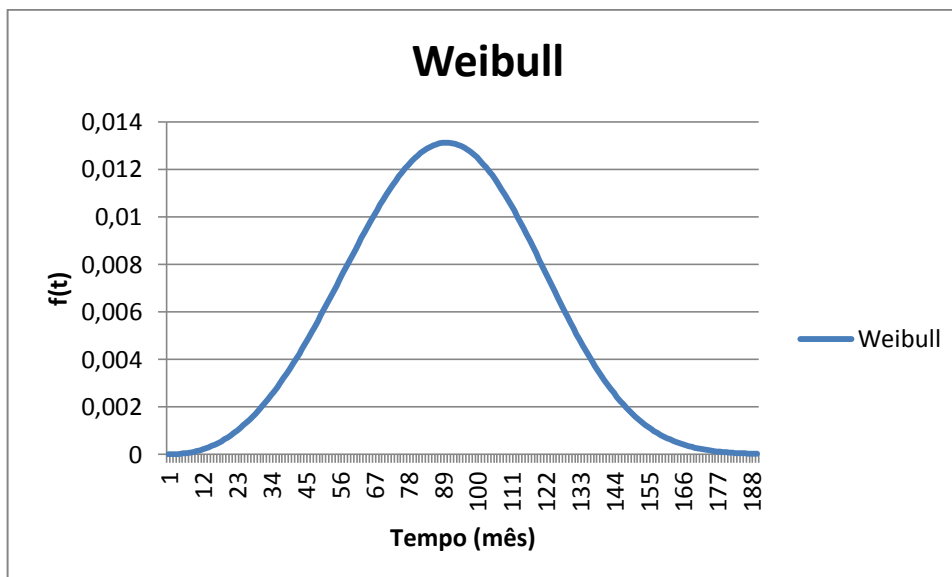


Gráfico 4 – Função Densidade de Probabilidade para β igual a 3,4
 Fonte: Autoria própria

Na sequência, gráfico 5, é apresentada a função densidade de probabilidade de Weibull para valores distintos de β . Desta forma é possível facilmente visualizar a sua influência no resultado gráfico.

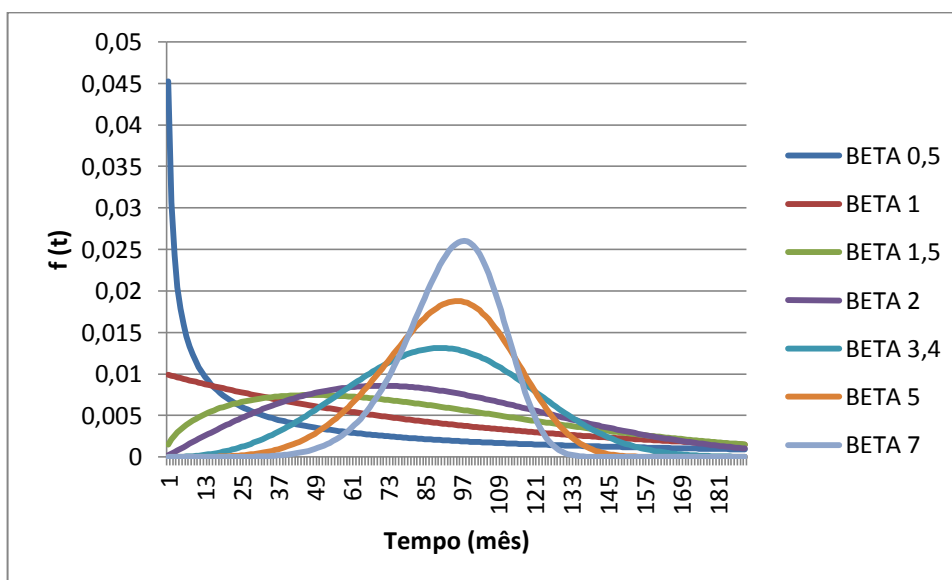


Gráfico 5 – Função Densidade de Probabilidade para vários valores de β
 Fonte: Autoria própria

Na sequência outro gráfico, gráfico 6, é plotado para que se possa verificar qual a importância do parâmetro α na distribuição de Weibull. Assim, adota-se um mesmo valor para β nas três curvas, sendo que o valor adotado foi 5. Os demais parâmetros permaneceram os mesmos dos gráficos anteriores.

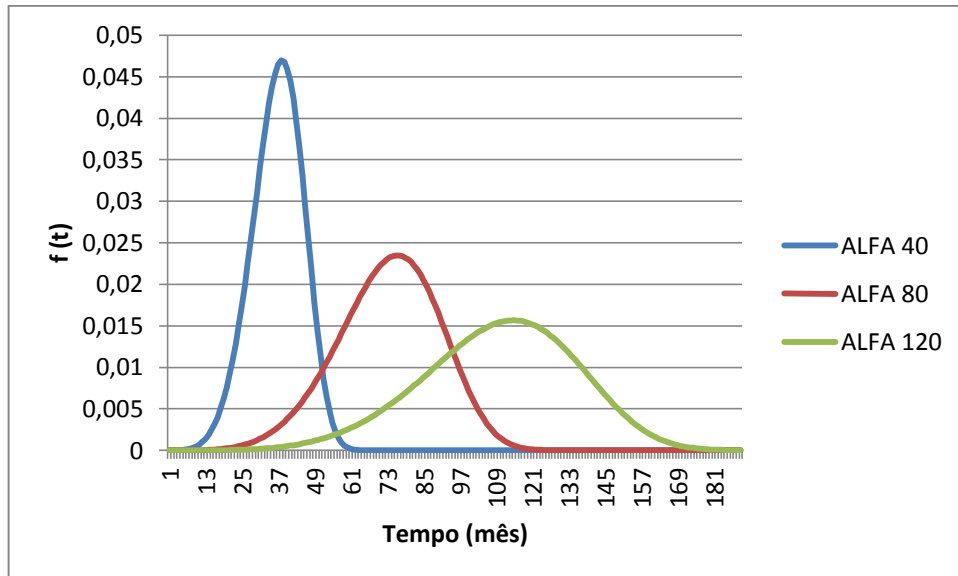


Gráfico 6 – Efeito do parâmetro α na função densidade de probabilidade
 Fonte: Adaptado de NBR16078 (ASSOCIAÇÃO..., 2012, p. 39)

Como pode ser visto por meio da figura o fator α altera consideravelmente a forma da função.

Além da distribuição de falhas, Weibull pode representar outras funções como é visto na sequência.

2.2.1 Probabilidade acumulada de falhas

A probabilidade acumulada de falhas pode ser representada pela seguinte função derivada de Weibull:

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

Para melhor entender o efeito da variação de β na função probabilidade acumulada de falhas é plotado o gráfico do gráfico 7. Por meio dele é possível verificar que quanto maior o valor de β mais rapidamente os componentes analisados tendem a falhar.

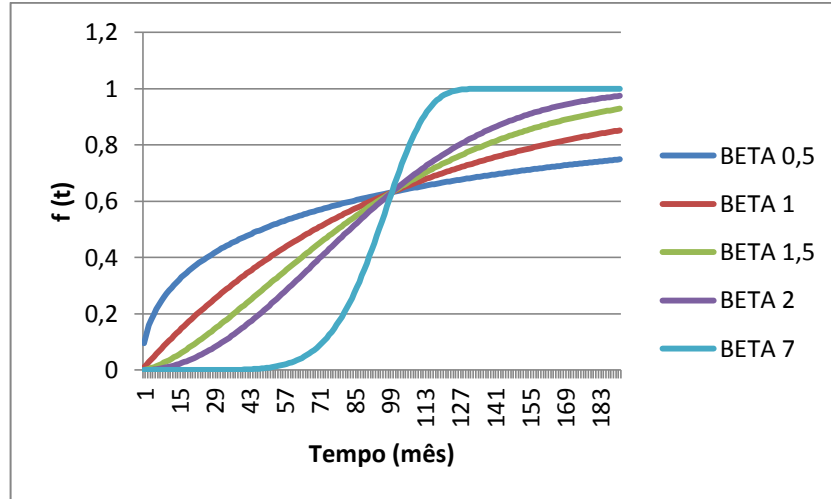


Gráfico 7 – Efeito do parâmetro β na função probabilidade acumulada de falhas
 Fonte: Autoria própria

2.2.2 Confiabilidade

A função confiabilidade também pode ser extraída da distribuição de Weibull e é dada por:

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

Variando-se nessa função o β encontra-se o gráfico 8.

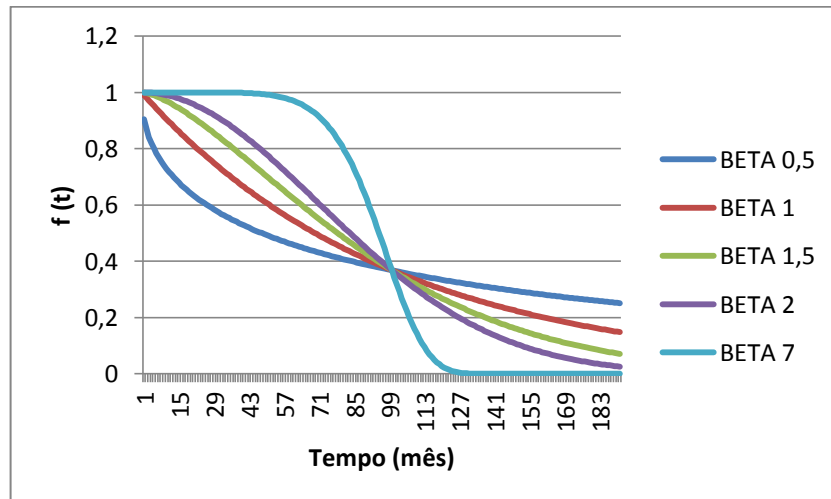


Gráfico 8 – Efeito do parâmetro β na função confiabilidade
 Fonte: Autoria própria

2.2.3 Taxa de falhas

Outra função importante que pode ser obtida por meio de Weibull é a função taxa de falhas.

$$\lambda(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1}$$

Esta função também tem sua forma alterada de acordo com o valor do parâmetro β , como pode ser verificado por meio do gráfico 9.

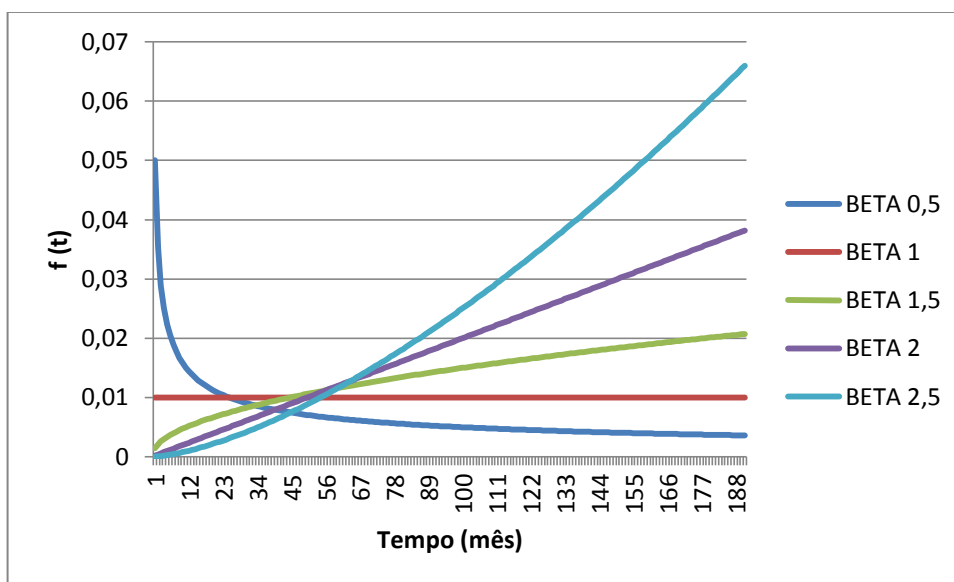


Gráfico 9 – Efeito do parâmetro β na função taxa de falhas
Fonte: Autoria própria

3 EQUIPAMENTO

Neste capítulo será apresentado em maiores detalhes o equipamento foco deste estudo, o medidor de energia elétrica. Além de apresentar detalhes sobre o que é um medidor de energia elétrica, este capítulo se propõe a apresentar as diferenças entre os dois tipos básicos de medidor, eletrônico e eletromecânico.

3.1 MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA

O medidor de energia elétrica é o equipamento empregado para medir quanta energia passou por determinado sistema elétrico. Muitas vezes o medidor de energia pode ser confundido com o wattímetro, equipamento utilizado para medir a potência instantânea em um circuito elétrico.

Para que a diferença entre os dois instrumentos fique clara é possível fazer uma analogia com o velocímetro de um carro e seu hodômetro. O velocímetro indica a relação quilômetros por hora, já o hodômetro indica a distância percorrida pelo veículo. Ou seja, quando o hodômetro, após de duas horas de veículo em movimento indica 60 km, isso mostra que a velocidade média marcada no velocímetro durante este período foi de 30 km/h. Seguindo esta relação, pode-se entender que quando um medidor de energia elétrica registra um valor de 1000 Wh após duas horas medindo o consumo, isso é o mesmo que dizer que o wattímetro mostrou nas duas horas um valor médio de 500 W.

Ora, como a carga de um consumidor muda ao longo do tempo, para que o consumo de energia de um cliente seja medido de maneira correta é necessário que o medidor acumule a potência instantânea e a integre ao longo do tempo.

No Brasil, a fatura de energia elétrica é gerada mensalmente, assim, é necessário que uma vez por mês a energia seja lida em um consumidor. Para o padrão brasileiro, a fatura é feita por base do valor lido subtraído do valor que foi lido no medidor no mês anterior.

Existem dois tipos básicos de medidores de energia elétrica, o medidor eletromecânico e o medidor eletrônico (COPEL, 2012). Porém, independente da maneira como os medidores são construídos, eles precisam possuir determinadas características em comum. Todos os medidores de energia elétrica requerem que os

valores de tensão e de corrente elétrica sejam amostrados, multiplicados, integrados no tempo e o resultado desta integração precisa ser armazenado e apresentado em um mostrador, Edison Electric Institute, EEI, (2002). A figura 1 mostra os componentes básicos de qualquer medidor de energia elétrica.

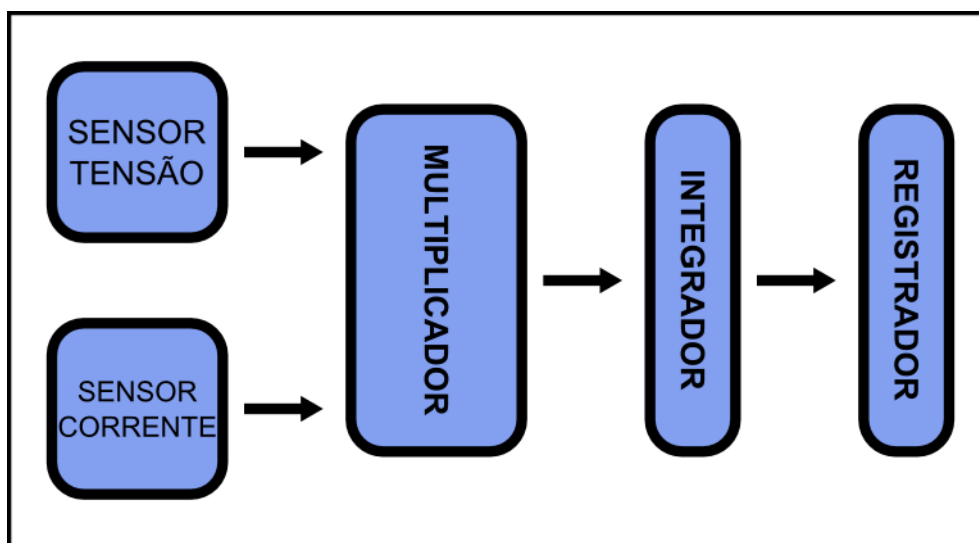


Figura 1 – Diagrama com os módulos básicos dos medidores de energia elétrica
Fonte: Adaptado de Bathi (2010)

Portanto, como o negócio de uma concessionária de energia é distribuir um montante de energia adquirido entre um determinado número de consumidores, o medidor de energia elétrica pode ser visto como sua caixa registradora. Assim, é de suma importância que o medidor seja confiável em todas as condições ambientais em que ele seja instalado. E mais, seu desempenho deve ser certificado por um órgão metrológico e regulador para que tanto consumidor como concessionária estejam em um sistema justo de tarifação, EEI (2002).

Desta forma, o grande desafio das distribuidoras de energia elétrica é adquirir medidores que sejam capazes de cumprir com todos os requisitos elencados anteriormente neste capítulo e que permaneçam aplicados em campo sem manutenção e teste periódicos por todo o tempo de vida útil determinado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. Conseqüentemente, o desafio dos fabricantes de medidores de energia elétrica é produzir equipamentos que cumpram com estes requisitos e que tenham um preço que o torne competitivo no mercado, EEI (2002).

Nas seções seguintes serão apresentados os dois tipos básicos de medidores de energia elétrica, os eletromecânicos e os eletrônicos.

3.2 MEDIDOR ELETROMECAÂNICO

O medidor eletromecânico consiste basicamente de um motor cujo torque é proporcional à potência que flui através do medidor, um freio magnético para retardar a velocidade do motor sendo proporcional à velocidade do rotor e um registrador que conta o número de revoluções deste motor, converte, armazena e apresenta estas revoluções em watt-hora, EEI (2002). A figura 2 apresenta as partes básicas de um medidor eletromecânico.

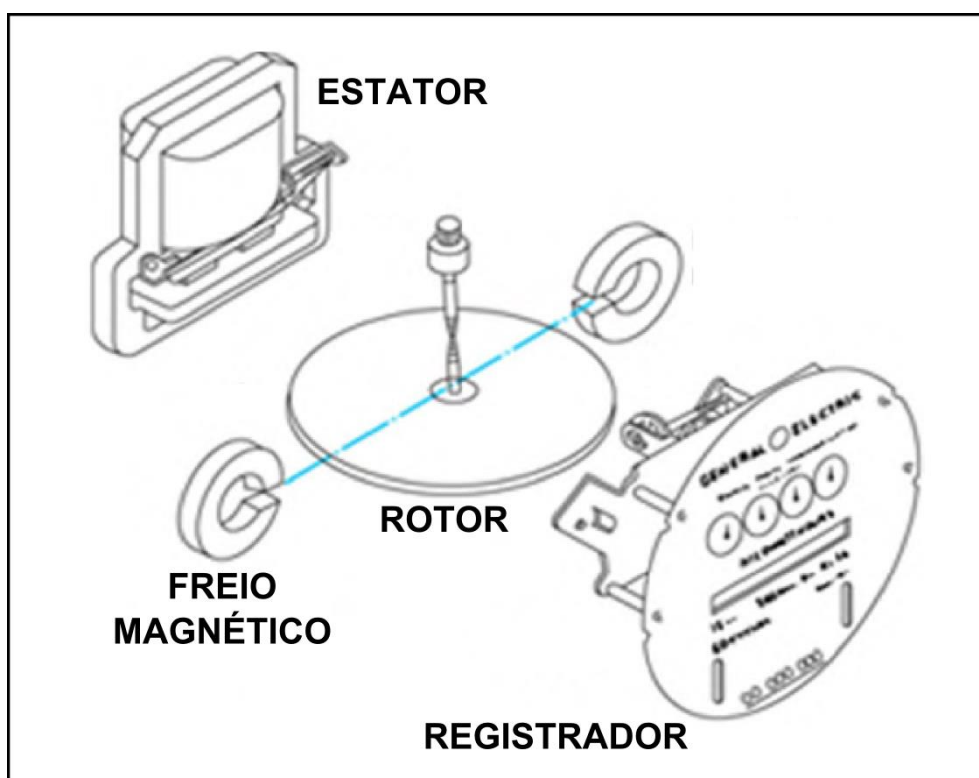


Figura 2 – Partes básicas de um medidor eletromecânico
Fonte: Adaptado de Bathi (2010)

É importante ressaltar que na figura 2 o motor é formado por duas partes, o estator e o rotor. Como o próprio nome sugere, o estator fica fixo à carcaça do medidor e o rotor é a parte móvel que contém o disco do medidor.

Desta forma, o estator é o portador das bobinas de tensão e corrente. Estas bobinas fazem o papel de sensores da quantidade de tensão e de corrente estão aplicadas ao circuito em que o medidor é instalado. A figura 3 mostra as duas bobinas do estator.

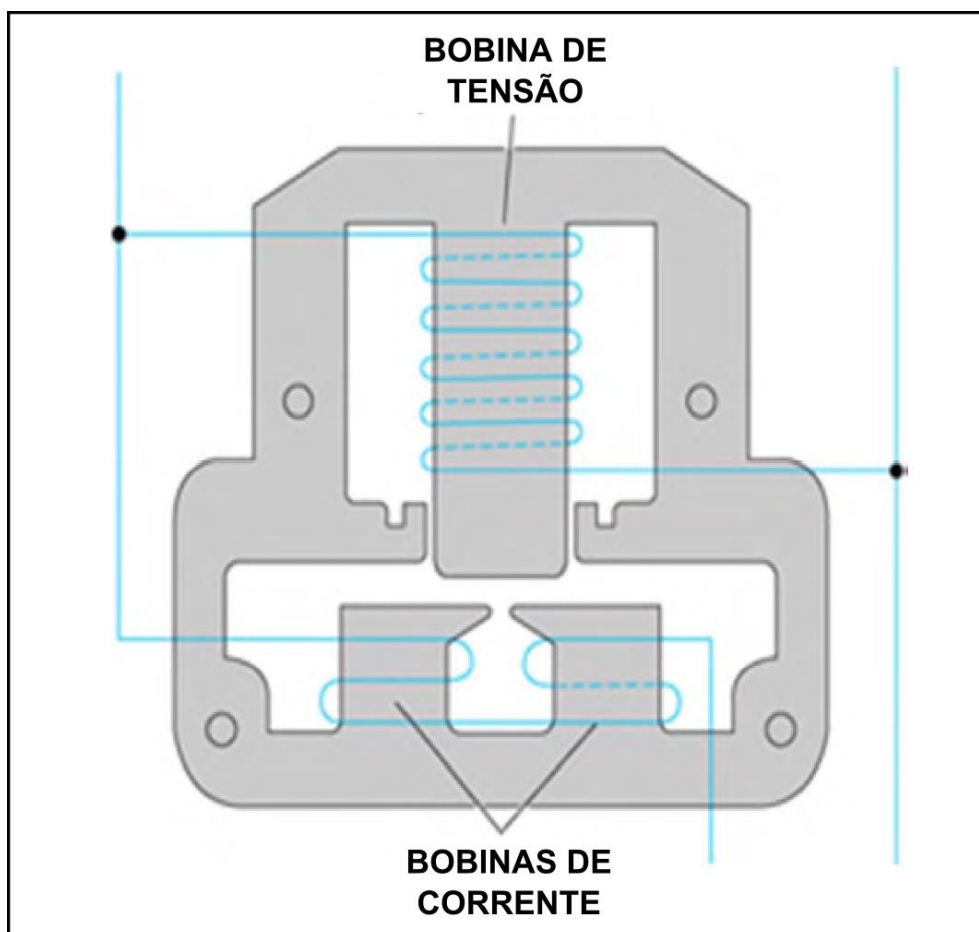


Figura 3 – Esquema indicando as bobinas de tensão e corrente do medidor eletromecânico
Fonte: Adaptado de Bathi (2010)

Como pode ser visto por meio da figura 3, as bobinas estão dispostas de tal forma a permitir que um torque seja gerado de forma proporcional à multiplicação da tensão aplicada pela corrente que flui pela bobina de corrente.

Porém, o torque não seria gerado sem a existência do rotor. A parte móvel do motor do medidor é constituída por um disco feito de alumínio. O alumínio é escolhido, pois é um metal leve, não magnético e bom condutor de corrente elétrica, EEI (2002). Na sequência é apresentada figura 4 a que mostra o rotor do medidor eletromecânico.

O rotor do medidor, conhecido também como disco, sofre a ação do torque gerado pela corrente e tensão existentes no estator. Esse torque se dá pela corrente induzida no disco por conta da variação do fluxo magnético, corrente esta que só pode ser gerada no disco por ele ser feito de material condutor. Além disso, para que o atrito do rotor seja o menor possível, ele gira sobre um mancal magnético.

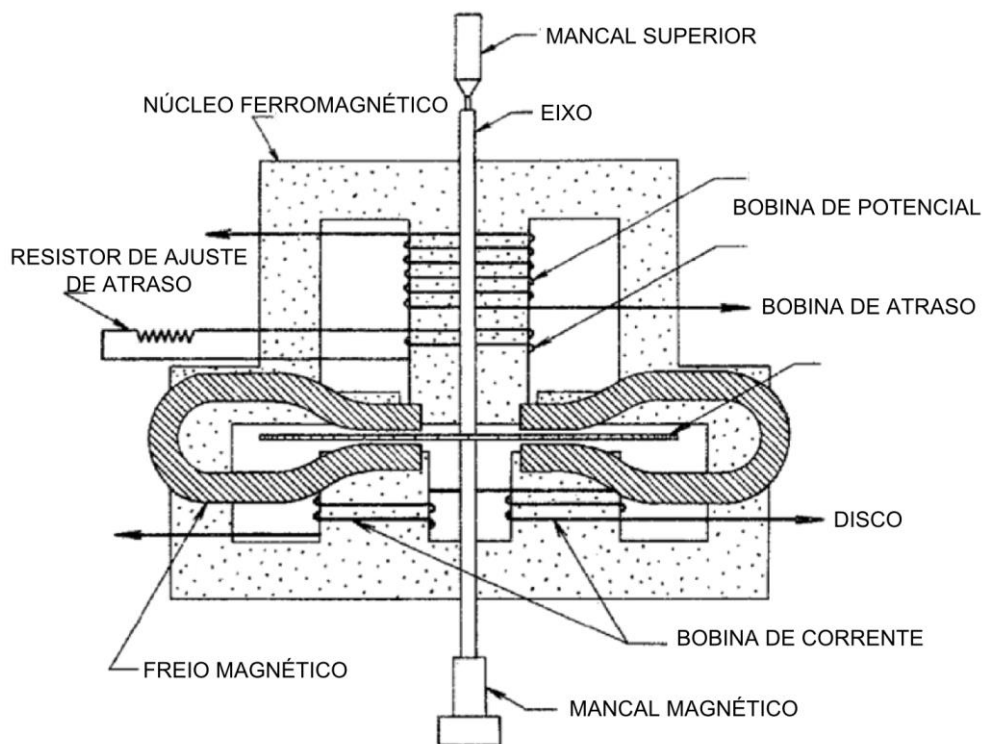


Figura 4 – Esquema do motor do medidor eletromecânico
 Fonte: Adaptado de Bathi (2002)

Entretanto, anteriormente foi citado que o disco do medidor deve ser feito em material que não seja ferromagnético. Isso ocorre para que o freio magnético possa funcionar. O freio é uma parte essencial do medidor eletromecânico, pois o torque gerado pelo estator tende a acelerar o disco indefinidamente. Assim, caso não houvesse o freio, a velocidade do rotor seria sempre crescente não servindo para medir a energia elétrica.

Portanto, para compensar a aceleração é usado um freio magnético, um método simples e barato para controlar a aceleração do rotor do medidor. O freio consiste basicamente de ímãs permanentes, como indicado na figura 4. Como o material do disco não é ferromagnético, os ímãs não provocam nenhuma força no rotor enquanto ele está estático. Porém, com o giro do rotor, há uma variação de fluxo no disco que induz uma corrente que tende a gerar um torque contrário ao movimento. Como esta corrente é proporcional à velocidade do disco, quanto maior a velocidade, maior a atuação do freio magnético, EEI (2002).

A partir do giro do rotor obtêm-se os registros de quilowatt-hora. Isso ocorre, pois as revoluções do rotor são aplicadas ao mecanismo do registrador. Este mecanismo pode ser visto por meio da figura 5 que mostra, na parte inferior uma série de engrenagens. Cada uma dessas engrenagens é calculada para que o

número de revoluções presente corretamente o valor em quilowatt-hora. Na parte superior da figura é apresentado os ponteiros que marcam o consumo medido. Na parte inferior é apresentado o mecanismo do registrador que converte as revoluções do rotor para os ponteiros.

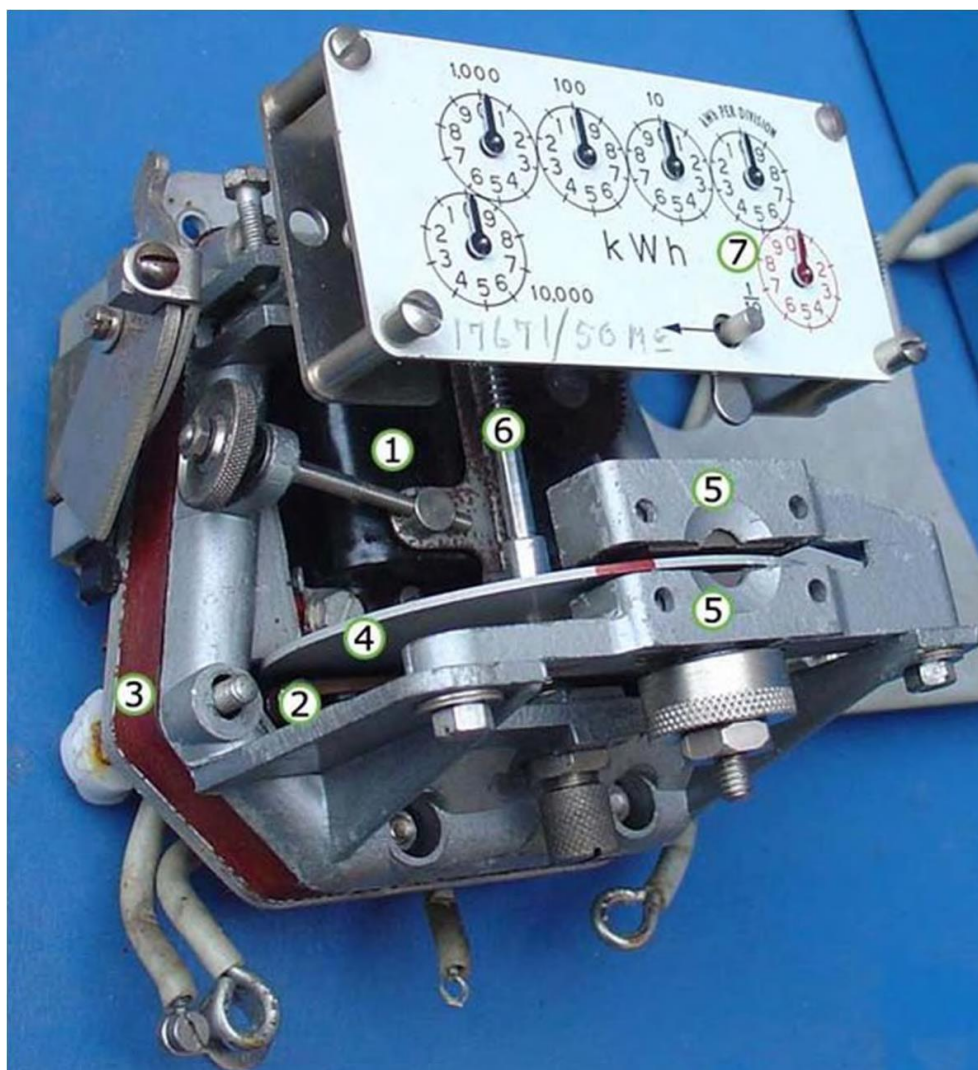


Figura 5 – Registrador
Fonte: Moulin (2001)

Ressalta-se que na figura 5 os ponteiros são colocados exatamente sobre cada um dos eixos das engrenagens apresentadas e são eles que registram o valor da energia medida, Moulin (2001).

Além de todas as partes apresentadas, o medidor eletromecânico possui muitos outros componentes secundários com inúmeras funções. Muitos destes componentes são empregados para ajustar o medidor e para compensação de erros causados, por exemplo, pela temperatura.

A seguir, é apresentado por meio da figura 6 um esquema que ilustra todas as partes citadas anteriormente em uma única figura de um medidor parcialmente montado.



(1) Bobina de tensão. (2) Bobina de corrente. (3) Estator. (4) Rotor com disco em alumínio. (5) Freio magnético. (6) Eixo com mancal magnético. (7) Registrador

Figura 6 – Medidor parcialmente montado.
Fonte: Bathi (2002)

3.3 MEDIDOR ELETRÔNICO

Assim como o medidor de energia elétrica eletromecânico, o eletrônico possui ao menos as funções básicas a um medidor de energia, ou seja, as mesmas apresentadas na figura 1.

O projeto de um medidor eletrônico, a princípio, parece mais simples que o de um medidor eletromecânico (ANALOG DEVICES, 2000). E, se apenas o número

de componentes for levado em consideração, pode-se perceber que os eletrônicos possuem muito menos componentes.

Para amostrar o valor da tensão, o medidor eletrônico utiliza um conversor analógico para digital. Ou seja, é empregado um componente capaz de transformar um determinado nível de tensão em um número binário. Porém, em muitos casos, existem circuitos integrados projetados para medidores que já possuem o conversor de sinal analógico para digital embutidos e não é preciso grandes preocupações com a amostragem de tensão, (ANALOG DEVICES, 2000). Para exemplificar, a figura 7 apresenta o diagrama funcional de um dentre os vários circuitos que se destinam à construção de medidores eletrônicos.

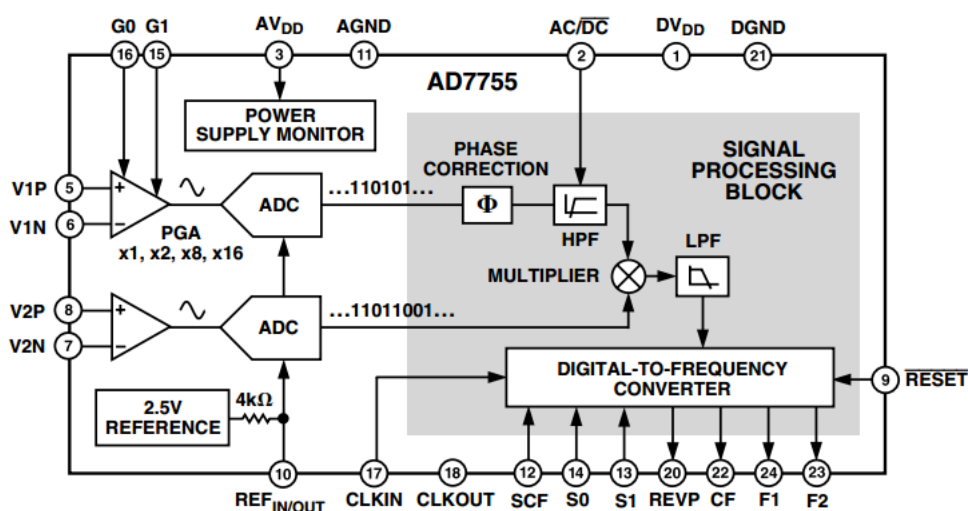


Figura 7 – Diagrama funcional do circuito integrado AD7755
Fonte: Analog Devices (2005)

No entanto, a amostragem de corrente é um pouco mais complexa. Normalmente o sinal de corrente precisa ser convertido em um nível de tensão para que possa ser convertido para um valor binário por meio de um conversor de sinal analógico para digital, Koon (2003).

Atualmente, existem basicamente três tipos de sensores de corrente que são aplicados aos medidores eletrônicos: resistor *shunt*, sensor de Efeito Hall e bobina de Rogowski, Koon (2003).

O resistor *shunt* é o sensor mais barato existente no mercado e para aplicações que não requeiram muita acurácia ele é recomendado. A figura 8 mostra o modelo básico deste sensor. Seu funcionamento é simples, uma corrente passa pelo resistor e gera um sinal de tensão.

No entanto, como pode ser visto, o resistor *shunt* possui uma componente indutiva. Ou seja, ele não possui linearidade em relação à frequência.

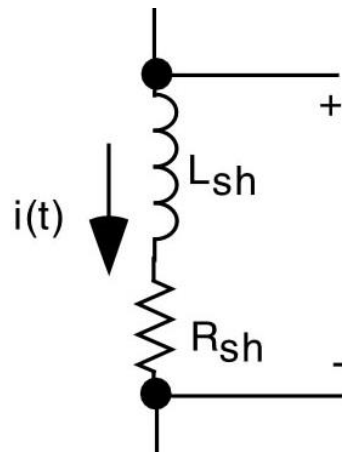


Figura 8 – Modelo básico para o resisto *shunt*
 Fonte: Adaptado de Koon (2003)

Assim, sempre que houver variações de frequência ou componentes harmônicas, este sensor não é o que possui a maior acurácia, Koon (2003).

O outro tipo de sensor empregado é o de Efeito Hall. Ele consiste em uma fonte de corrente que aplicada a um material condutor perpendicular ao campo gerado pela corrente que se deseja medir. O campo magnético causado pela corrente a ser medida faz com que os elétrons provenientes da fonte de corrente sejam acumulados em uma extremidade do material condutor sendo que uma diferença de potencial é criada neste material. Assim, esta tensão é convertida e pelo conversor de sinal analógico para digital. A figura 9 apresenta um esquema deste sensor.

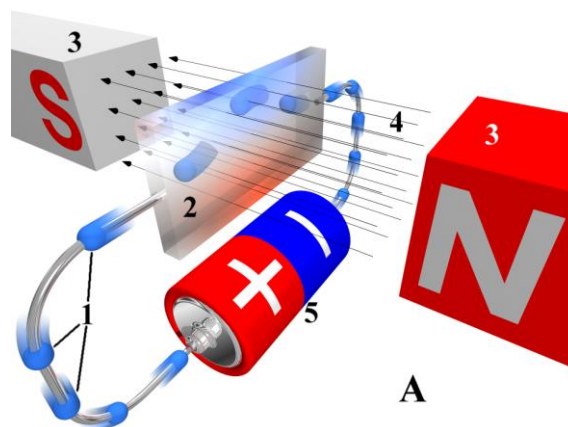


Figura 9 – Esquema de funcionamento do sensor de Efeito Hall
 Fonte: Adaptado de Wikipedia

Como este sensor possui uma placa condutora ele não possui estabilidade em relação à variação de temperatura. Outro aspecto crítico em sua utilização é a estabilidade da fonte de corrente aplicada ao sensor. Caso essa corrente não seja estável o sensor perde sua precisão. No entanto, este sensor tem como ponto forte poder trabalhar em com corrente de ordens maiores que as possíveis com resistores *shunt*, Koon (2003).

Já, o outro tipo de sensor usado para amostrar os dados de corrente a serem medidos é a Bobina de Rogowski. A Bobina de Rogowski é uma bobina que sofre indutância mutua com o cabo pelo qual passa a corrente que se deseja medir. Como o seu núcleo é de ar, ela não sofre os problemas causados por histerese, saturação ou falta de linearidade.

Porém, como a saída de sinal da Bobina de Rogowski é proporcional à derivada da corrente em relação ao tempo, ela precisa ser empregada em conjunto com um circuito integrador. A figura 10 apresenta um modelo deste sensor em conjunto com a topologia de um integrador construído com amplificador operacional.

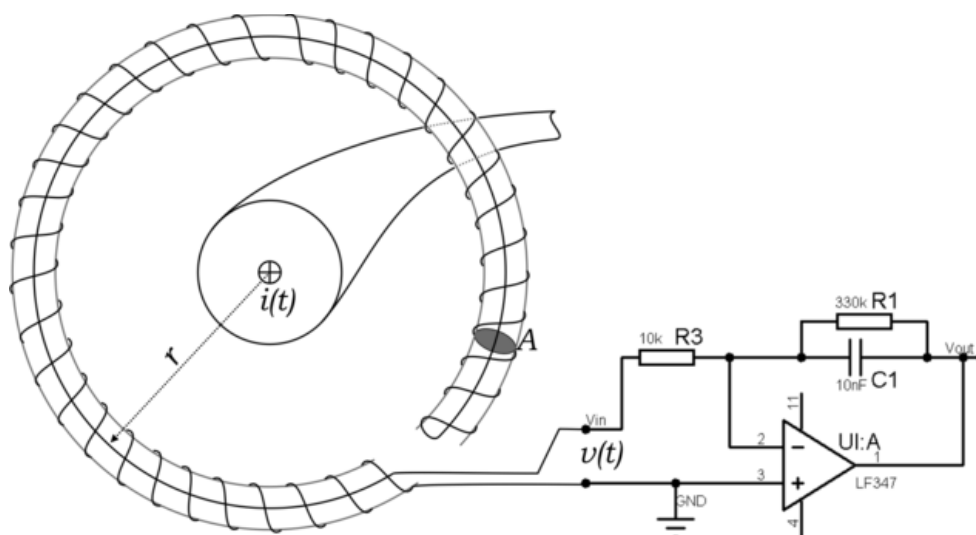


Figura 10 – Esquema de uma Bobina de Rogowski em conjunto com um circuito integrador
Fonte: Wikipedia

Com os sinais de corrente e tensão amostrados e convertidos em valores binários, eles passam a ser tratados digitalmente por circuitos integrados próprios específicos para medidores ou mesmo por microcontroladores de aplicação geral, (ANALOG DEVICES, 2000).

Assim, o chip para os quais o sinal é enviado fica responsável por calcular a potência, armazená-la e apresentá-la em um display.

Porém, uma diferença considerável em relação às partes básicas deste medidor com o medidor eletromecânico fica por conta da fonte necessária para alimentar os circuitos eletrônicos. No medidor eletromecânico, o funcionamento se dá por meio de princípios que dispensam a existência de uma fonte de alimentação. No entanto, a fonte de alimentação em um medidor eletrônico é um ponto ao qual se deve ter atenção, (ANALOG DEVICES, 2000), independente de como ela é realizada ela precisa manter a confiabilidade do sistema.

Na sequência é apresentada a figura de um medidor eletrônico de energia elétrica com vista artística para os componentes de seu interior, figura 11.



Figura 11 – Modelo de medidor eletrônico de energia elétrica
Fonte: Harney (2009)

4 ANÁLISE DE FALHAS

Neste capítulo são apresentados os dados de falhas encontrados em alguns modelos de medidores. Além disso, é apresentada uma comparação entre os dados de falha de medidores eletrônicos e de medidores eletromecânicos.

No entanto, deve ficar claro que a marca e modelo dos medidores não é divulgada, pois as análises não se referem a um determinado fabricante, mas à tecnologia aplicada na construção dos equipamentos de medição.

4.1 DADOS DE FALHAS

Inicialmente foram analisados três modelos de medidores. Um medidor eletrônico que chamaremos de Medidor A, um medidor eletromecânico de 2009 que chamar-se-á Medidor B e um medidor eletromecânico de 2006 que denominar-se-á Medidor C.

Além disso, é importante ressaltar que estes medidores não foram escolhidos aleatoriamente. Os três modelos escolhidos são de medidores de energia elétrica monofásicos, ou seja, o tipo mais básico de medidor existente nas distribuidoras de energia elétrica no Brasil.

No entanto, outro fato foi relevante na escolha dos medidores em questão. O medidor eletrônico foi escolhido por ser de um ano em que havia dados de falha suficientes para fazer as análises e considerações necessárias. Já o Medidor B, eletromecânicos de 2009, foi selecionado, pois faz parte dos últimos medidores eletromecânicos comprados pela Copel Distribuição. Já, o Medidor C foi escolhido porque é de um período em que os medidores eletromecânicos eram amplamente fabricados no Brasil, ou seja, antes do ano de 2003.

Outro fato relevante é que os dados de falhas que são apresentados na sequência foram obtidos por meio do banco de dados da Copel Distribuição. Os dados de falha foram filtrados com resolução mensal, pois as análises feitas são anuais e mensais. Assim, não se julgou interessante empregar dados com filtragem diária.

Para a obtenção dos dados foram realizadas duas pesquisas distintas em bancos de dados da empresa. A primeira pesquisa usou como chave o modelo do

medidor, conhecido também como subtipo. Para o modelo desejado foram pesquisadas outras características relevantes, como a UC, unidade consumidora em que o medidor foi instalado, e as datas de instalação e de retirada, quando existir.

Ademais, a segunda pesquisa empregou a unidade consumidora como chave de pesquisa. Assim, outras características importantes foram levantadas como a data em que ocorreu instalação de equipamentos nesta unidade consumidora.

Assim, cruzando as informações é possível determinar se o equipamento da primeira pesquisa falhou, pois quando o equipamento é retirado e na sequência outro é instalado assume-se a falha do medidor. No entanto, caso este equipamento seja removido e nenhum outro colocado em seu lugar assume-se que o consumidor solicitou o desligamento da unidade consumidora, conseqüentemente, o medidor não foi retirado por motivo de falha.

Na sequência é apresentado o diagrama 1 que mostra como a pesquisa foi realizada.

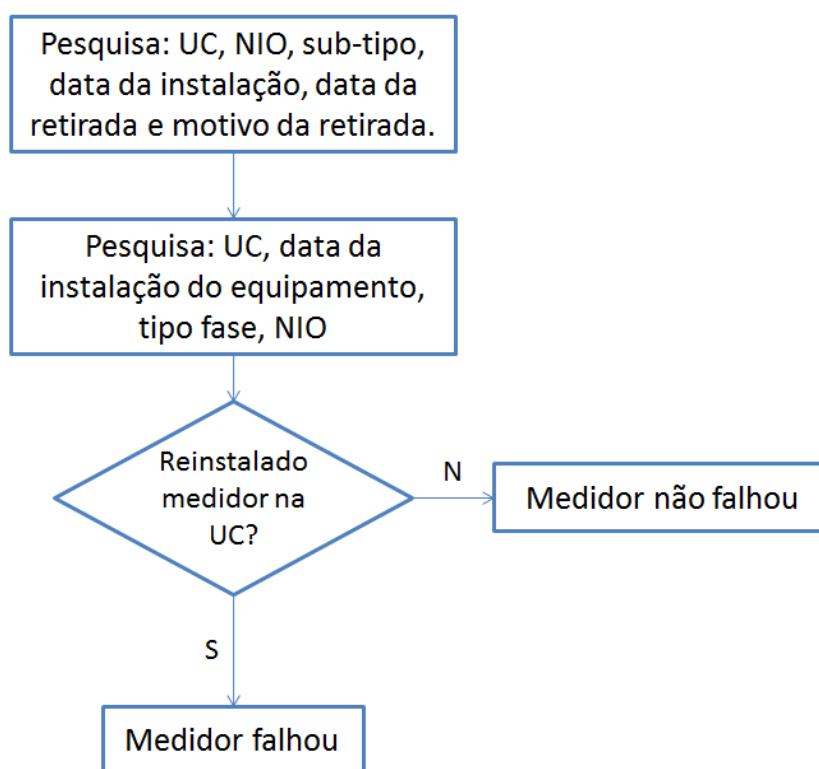


Diagrama 1 – Fluxo de pesquisas para determinação de falha de medidores.
Fonte: Autoria própria

Para esta pesquisa foram desconsiderados os casos em que o medidor é removido por suspeita de fraude ou quando o equipamento é removido por solicitação de calibração por parte do consumidor. Estes casos foram considerados como falhas, mas entende-se que são uma parte desprezível das amostras e proporcionam o mesmo efeito para todos os tipos de medidores. Ou seja, estes casos não influenciam a comparação entre os medidores.

Em seguida é apresentado o quadro 1 que se refere aos dados de falha do Medidor A.

Quantidade de Medidores	Falha (F) ou Suspensão (S)	Durabilidade (meses)
1	F	1
1	F	2
1	F	5
3	F	6
2	F	7
2	F	10
1	F	11
2	F	15
8	F	16
14	F	17
11	F	18
13	F	19
22	F	20
33	F	21
13	F	22
31	F	23
35	F	24
33	F	25
41	F	26
42	F	27
77	F	28
66	F	29
72	F	30
47176	S	31

Quadro 1 – Dados de falha do Medidor A

Fonte: Banco de dados da Copel Distribuição

Ressalta-se que não foram todos os medidores que falharam no período analisado, este período de análise para este medidor foi de 44 meses. Assim, a última linha mostra o número de medidores que não falharam até o momento da coleta dos dados.

Logo na sequência, quadro 2, apresentam-se os dados de falha do Medidor B, sendo que o tempo de análise foi de 44 meses.

Quantidade de Medidores	Falha (F) ou Suspensão (S)	Durabilidade (meses)
1	F	1
3	F	2
2	F	3
1	F	5
2	F	7
2	F	9
1	F	10
1	F	12
1	F	13
1	F	15
1	F	16
1	F	17
1	F	20
2	F	21
1	F	22
1	F	26
11	F	27
33	F	28
43	F	29
35	F	30
57	F	31
79	F	32
62	F	33
83	F	34
84	F	35
132	F	36
111	F	37
130	F	38
128	F	39
170	F	40
117	F	41

162	F	42
14048	S	43

Quadro 2 – Dados de falha do Medidor B

Fonte: Banco de dados da Copel Distribuição

Já, para o Medidor C, pode-se verificar os dados de falha por meio do quadro 3, sendo que os dados referem-se a um período de 80 meses.

Quantidade de Medidores	Falha (F) ou Suspensão (S)	Durabilidade (meses)
1	F	3
1	F	5
1	F	8
1	F	9
2	F	10
2	F	13
1	F	14
2	F	16
1	F	17
1	F	18
1	F	20
1	F	24
1	F	27
1	F	28
1	F	34
1	F	35
1	F	39
1	F	42
1	F	43
2	F	45
1	F	46
1	F	47
1	F	55
4	F	63
2	F	64
6	F	65
9	F	66
12	F	67
14	F	68
5	F	69
16	F	70

17	F	71
27	F	72
21	F	73
21	F	74
15	F	75
20	F	76
27	F	77
25	F	78
37732	S	79

Quadro 3 – Dados de falha do Medidor C
Fonte: Banco de dados da Copel Distribuição

Depois de realizar a coleta dos dados dos três medidores referidos anteriormente, foi feita uma nova pesquisa no banco de dados com um modelo de medidor eletromecânico indicado por um especialista da Distribuidora como um medidor conhecido por ser robusto e confiável. Os dados de falha deste medidor são apresentados por meio do quadro 4, sendo que os dados de falha de 80 meses foram usados para a análise.

Quantidade de Medidores	Falha (F) ou Suspensão (S)	Durabilidade (meses)
1	F	3
2	F	5
1	F	6
1	F	7
1	F	14
2	F	15
2	F	17
1	F	22
1	F	24
1	F	26
1	F	41
3	F	64
1	F	65
3	F	66
1	F	67
2	F	68
3	F	69
5	F	70
5	F	71

4	F	72
6	F	73
2	F	74
3	F	75
5	F	76
5	F	77
9	F	78
13757	S	79

Quadro 4 – Dados de falha do Medidor D

Fonte: Banco de dados da Copel Distribuição

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS

Por meio dos dados obtidos no banco de dados da Copel Distribuição que estão apresentados nos quadros da seção anterior é possível traçar alguns gráficos para que a confiabilidade dos medidores em questão possa ser analisada. Assim, na sequência são apresentados os gráficos dos equipamentos e algumas comparações.

O primeiro gráfico apresentado neste capítulo, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, refere-se à confiabilidade do Medidor A variando no tempo.

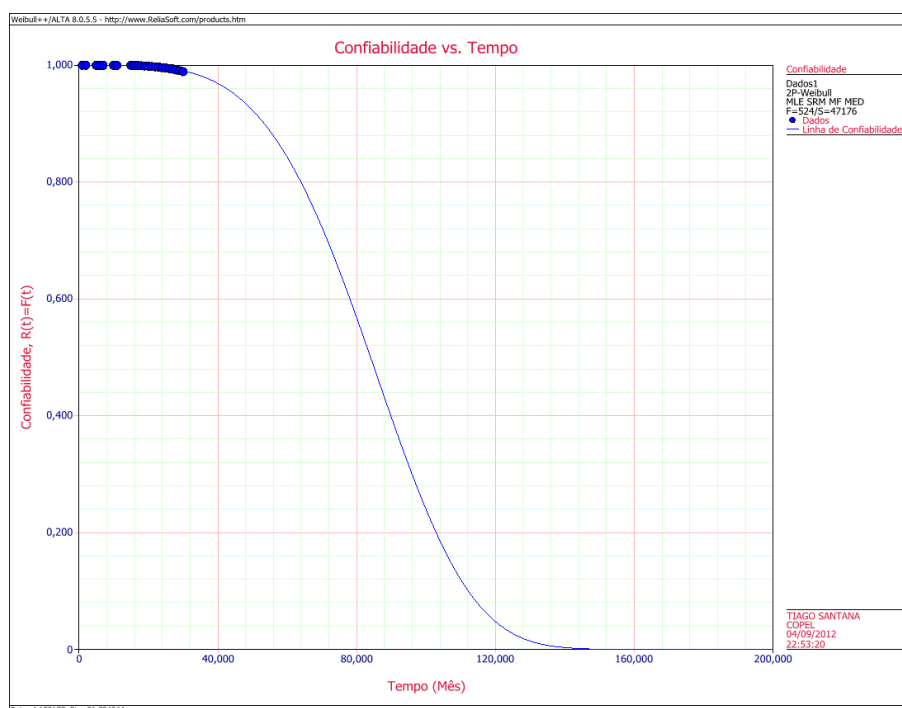


Gráfico 10 – Confiabilidade do Medidor A

Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto por meio do **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o eixo que representa o tempo está referenciado em meses. Para facilitar a comparação entre os resultados os demais gráficos também serão dados com o tempo em meses.

Além disso, por meio do **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível perceber que a confiabilidade do Medidor A não é constante em relação ao tempo. Esse fato não gera nenhuma surpresa, pois os dados de falha apresentados nos quadros da seção anterior já apresentam esse comportamento. Ou seja, quanto mais tempo de uso tiver o Medidor A, menor a sua confiabilidade e maior a sua chance de falhar.

Desta forma, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** o apresenta a função Densidade de Probabilidade para este mesmo medidor. Este gráfico apresenta apenas um pico de ocorrências. Isso indica que nenhum fenômeno diferente acontece além das falhas naturais. Ou seja, o medidor não foi estressado além do normal.

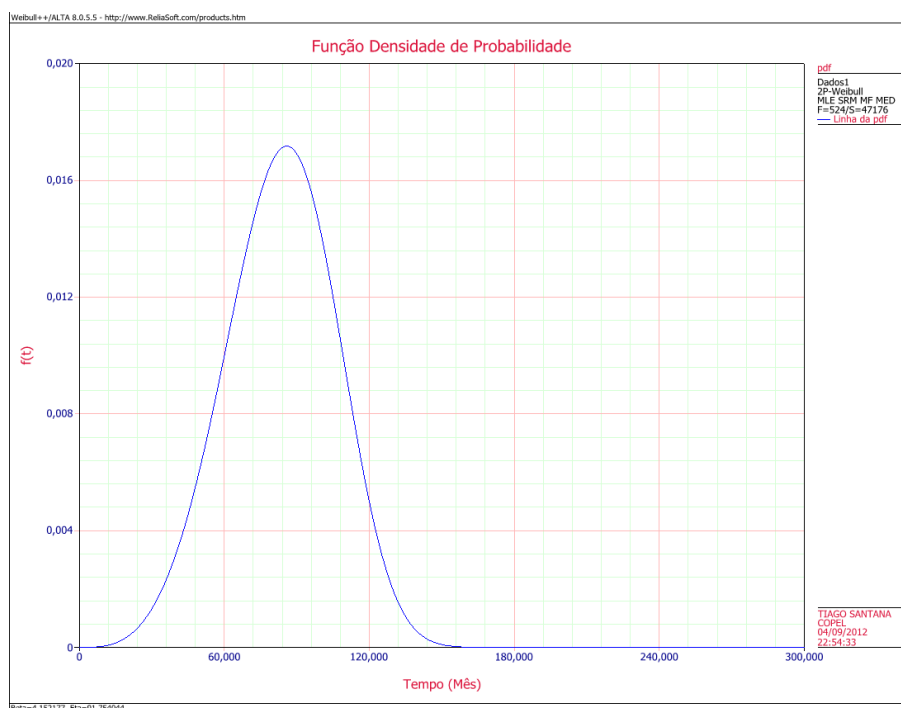


Gráfico 11 – Função Densidade de Probabilidade do Medidor A
Fonte: Autoria própria

Outro gráfico importante para que se possa realizar uma comparação entre os tipos de medidor é o gráfico da taxa de falha de cada um deles. Conseqüentemente, o gráfico 12 apresenta esta função plotada para os dados do Medidor A.

O gráfico mostra que a taxa de falhas do Medidor A é crescente ao longo do tempo. E mais, a taxa de falhas não cresce a uma razão constante. Conseqüentemente, quanto mais o medidor envelhecer, maior será a taxa de falhas deste equipamento.

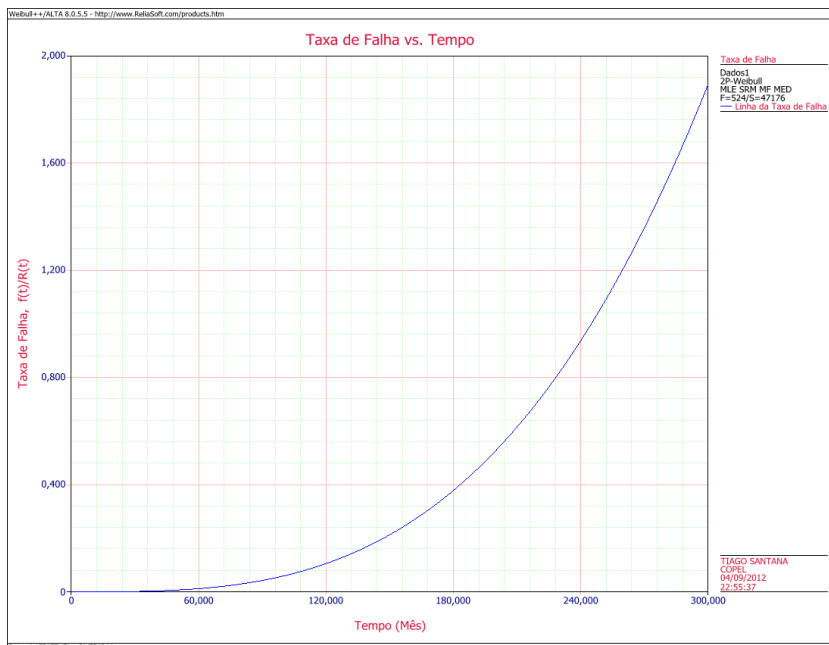


Gráfico 12 – Taxa de Falha do Medidor A
 Fonte: Autoria própria

Já o gráfico 13, gráfico 14 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam a plotagem das mesmas funções para o Medidor B, como se segue.

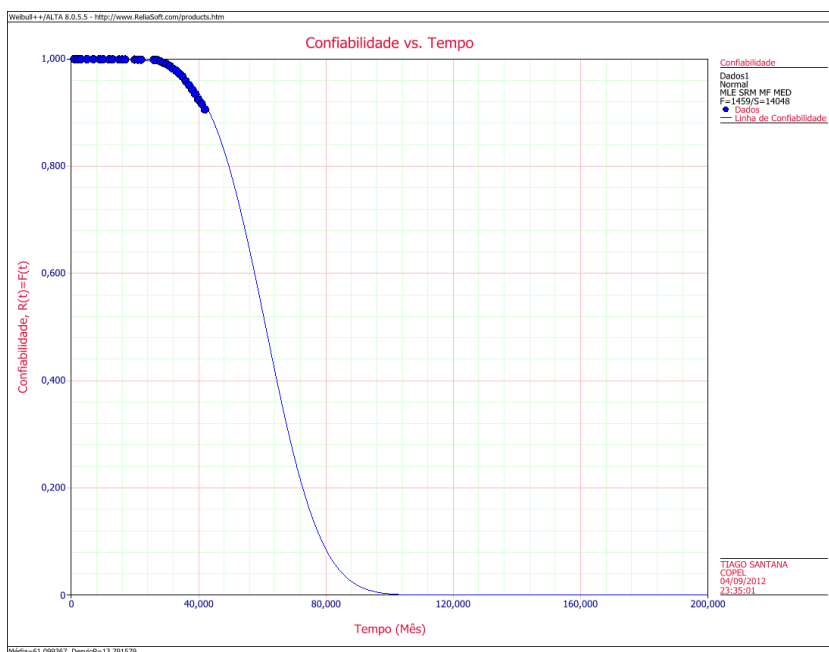


Gráfico 13 – Confiabilidade do Medidor B

Fonte: Aatoria própria

O gráfico 13, apresentado acima, mostra um comportamento muito similar ao apresentado pelo **Erro! Fonte de referência não encontrada..** No entanto a confiabilidade do Medidor B diminui mais rapidamente que a confiabilidade do Medidor A. Consequentemente, a função densidade de probabilidade atinge o seu valor máximo em um tempo menor no Medidor B que no medidor A. Isso pode ser visualizado por meio do gráfico 14.

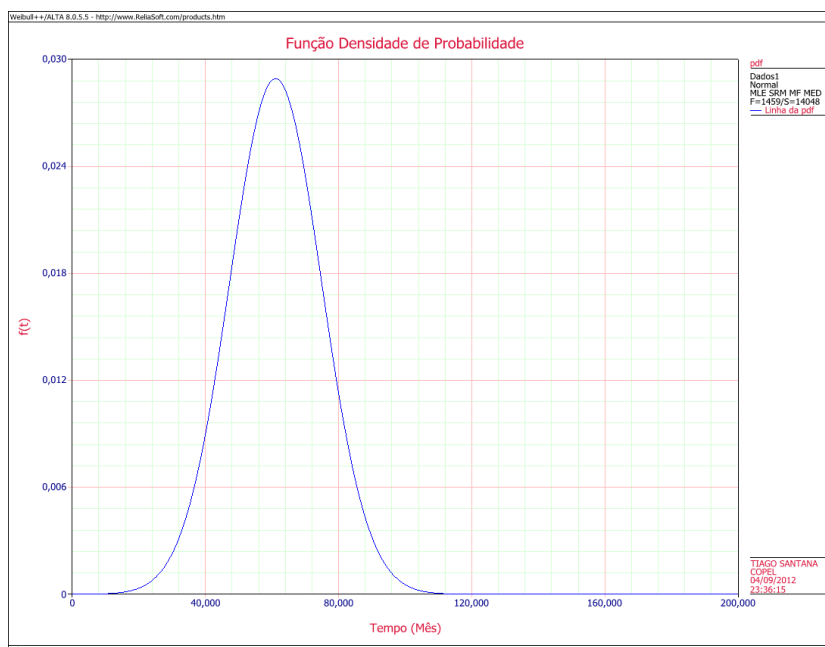


Gráfico 14 – Função Densidade de Probabilidade do Medidor B

Fonte: Aatoria própria

Portanto, seguindo a mesma lógica, a taxa de falhas do medidor B é superior à taxa de falhas do Medidor A para um determinado período. Isso pode ser comprovado por meio do **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

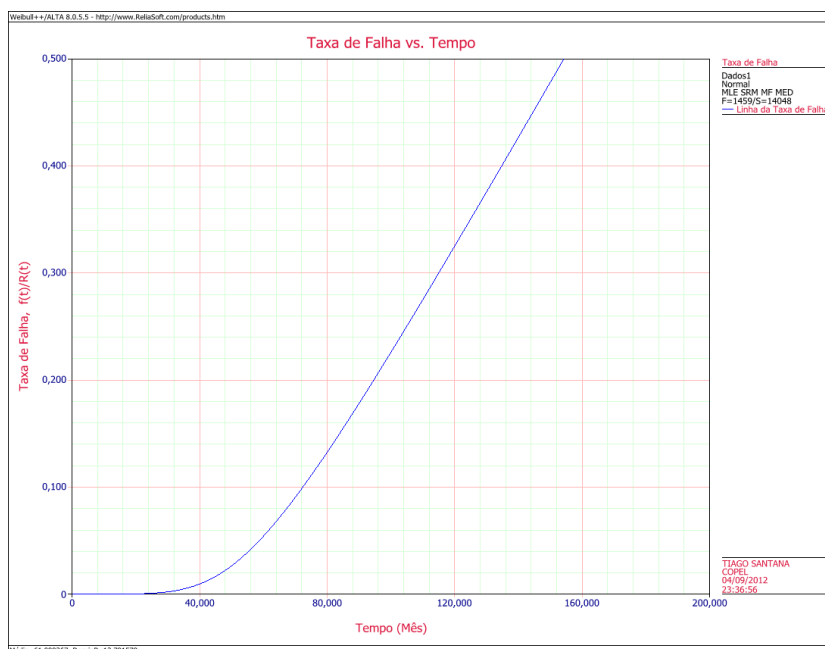


Gráfico 15 – Taxa de Falha do Medidor B

Fonte: Autoria própria

Deve-se ressaltar o fato de que os dois medidores em questão são de tecnologias distintas. No entanto, o que sempre se ouve dos especialistas e que pode ser comprovado por meio de (KLEINAU; MARCONDES, 2012) é que os medidores eletromecânicos possuem uma vida média maior que a vida média dos medidores eletrônicos. Para efeito de comparação, pode-se verificar o quadro 5, por meio dele é possível ter alguns dados numéricos referentes aos dois tipos de medidor.

	Medidor A	Medidor B
Vida Média (em anos)	6,95	5,09
Confiabilidade de 85% (em anos)	4,94	3,90
Confiabilidade em 13 anos	0,01%	0,00%
Confiabilidade em 7 anos	50,00%	4,84%

Quadro 5 – Comparação de características do Medidor A e Medidor B

Fonte: Autoria própria

Para o quadro 5 deve ficar claro que o termo Vida Média é o mesmo que Tempo Médio até Falha.

Como é possível visualizar por meio do quadro 5, a vida média do Medidor A é aproximadamente 2 anos superior à vida média do Medidor B. Tal resultado pode parecer estranho quando se observa o que está publicado em (KLEINAU; MARCONDES, 2012), porém faz sentido quando se conhece o histórico da indústria de medidores de energia elétrica no Brasil. Conforme as distribuidoras de energia

elétrica do Brasil começaram a comprar medidores eletrônicos, os fabricantes perceberam que suas fábricas tinham que se adequar. Desta forma, todo o estoque de peças com baixa qualidade foi empregado para que as indústrias não perdessem esta matéria prima (BONAT, 2012).

Assim, os últimos medidores eletromecânicos fabricados no Brasil apresentaram uma qualidade muito inferior ao que se costumava perceber anteriormente. É preciso atentar para o fato de que o Medidor B, como enunciado na seção anterior, foi um dos últimos medidores eletromecânicos comprados pela Copel Distribuição.

No caso específico do Medidor B, consultando-se o modo de falha deste medidor nos registros da Copel Distribuição, percebe-se que ele possui uma tampa feita com um vidro muito fino. Este vidro é tão fino que os medidores são encontrados em campo com a tampa trincada sem que os lacres da caixa de medição tenham sido rompidos, ou seja, sem que o medidor tenha sido manipulado. Apenas a variação térmica já é capaz de danificar este medidor eletromecânico.

Para demonstrar como a qualidade dos medidores eletromecânicos é superior a dos eletrônicos, na sequência são apresentados os mesmos gráficos que foram apresentados para o Medidor A e Medidor B, mas agora para o Medidor C.

O Erro! Fonte de referência não encontrada. mostra que a confiabilidade do Medidor C demora muito mais para diminuir que a confiabilidade dos outros dois medidores. No entanto, a curva de confiabilidade segue a mesma tendência dos outros medidores, pois em todos os medidores analisados os parâmetros de Weibull são de mesma ordem.

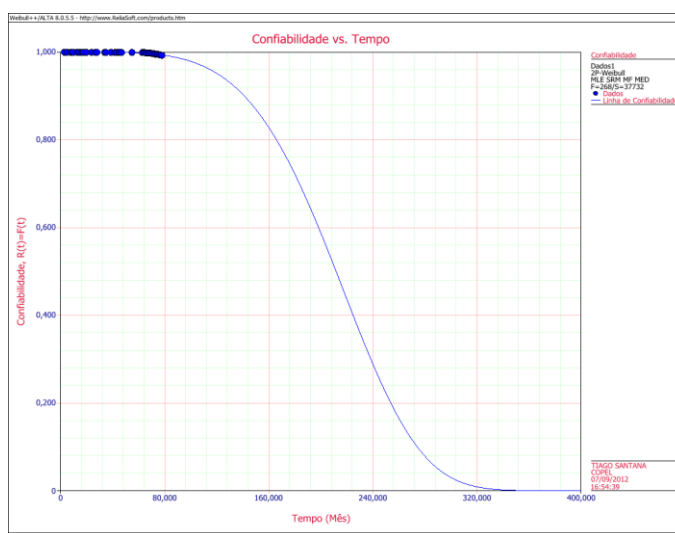
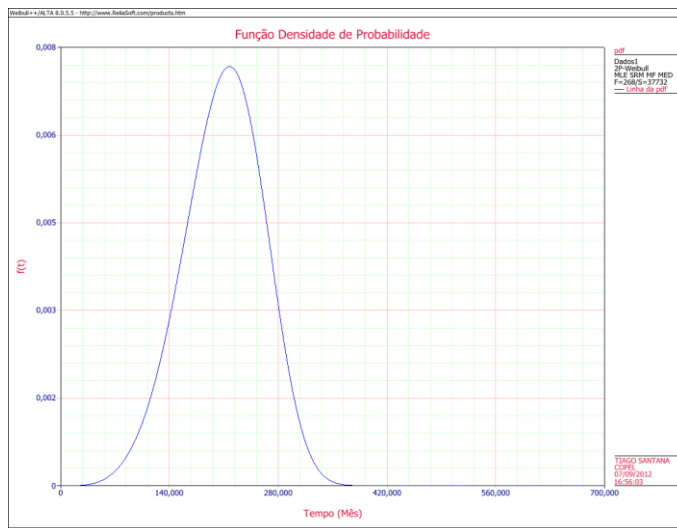


Gráfico 16 – Confiabilidade do Medidor C

Fonte: Autoria própria

**Gráfico 17 – Função Densidade de Probabilidade do Medidor C**

Fonte: Autoria própria

○ **Erro! Fonte de referência não encontrada.** também apresenta uma curva que atinge o seu valor máximo em um intervalo de tempo superior, como esperado para um medidor mais confiável, Além disso, a taxa de falhas, gráfico 18, é uma curva bem menos acentuada que as anteriores.

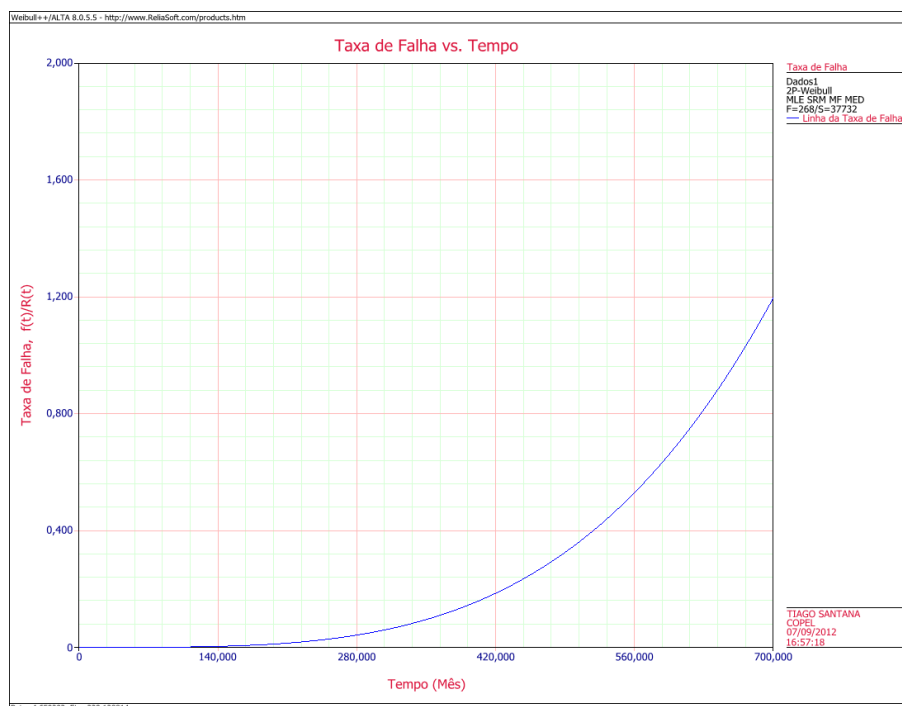


Gráfico 18 – Taxa de Falha do Medidor C
Fonte: Autoria própria

Para comparar os três medidores vistos até o momento é apresentado o quadro 6 no qual os dados relevantes à comparação são apresentados.

CARACTERÍSTICAS	MEDIDOR		
	A	B	C
Vida Média (em anos)	6,95	5,09	17,46
Confiabilidade de 85% (em anos)	4,94	3,90	12,92
Confiabilidade em 7 anos	50,00%	4,84%	99,06%
Confiabilidade em 13 anos	0,01%	0,00%	84,59%
Confiabilidade em 25 anos	0,00%	0,00%	3,01%

Quadro 6 – Comparação de características entre Medidor A, Medidor B e Medidor C
Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto por meio do quadro 6, o Medidor C possui um tempo de vida média superior em 10 anos ao Medidor A e 12 anos em relação ao B. Isso demonstra que o Medidor C, medidor eletromecânico comum, é mais confiável que os demais medidores analisados.

Além disso, uma nova linha foi acrescentada em relação ao quadro 5. Isso foi feito, pois o tempo de depreciação do medidor eletromecânico é de 25 anos, ou seja, as distribuidoras de energia elétrica no Brasil recebem o valor pago pelo medidor ao longo de 25 anos. Entretanto, como pode ser visto por meio do quadro 6

o Medidor C fica abaixo do prazo regulatório, ou seja, ele geraria um prejuízo para a concessionária da ordem de 7 anos de depreciação, aproximadamente 28% de seu valor².

Assim, para demonstrar a confiabilidade que um medidor eletromecânico pode alcançar, utilizou-se outro modelo de medidor eletromecânico produzido por décadas no Brasil e que é conhecido pelos especialistas como um bom projeto, o medidor D. O **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, gráfico 20 e gráfico 21 mostram algumas características deste medidor.

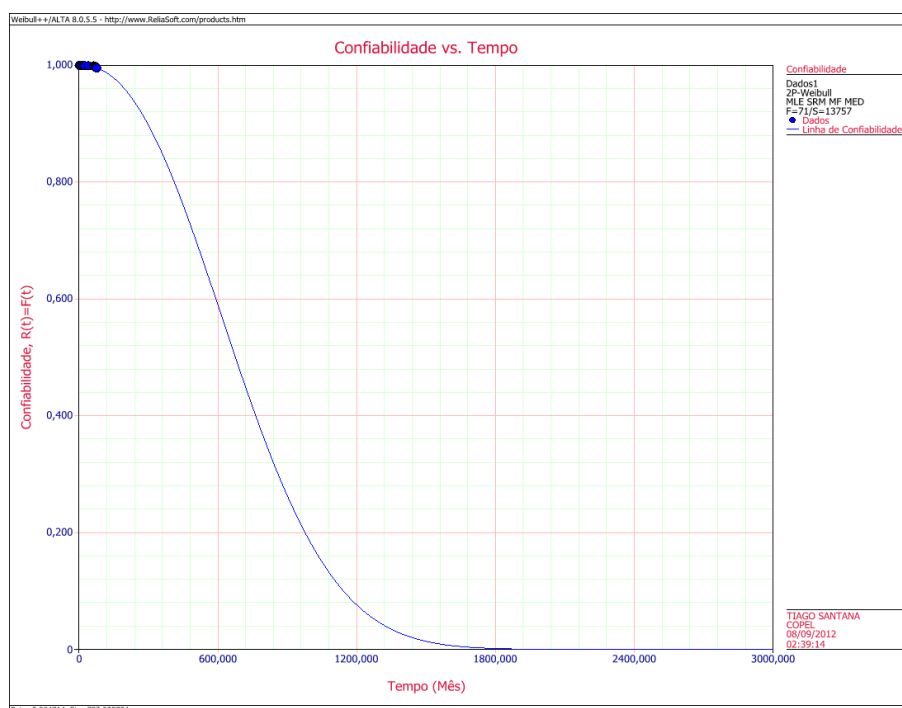


Gráfico 19 – Confiabilidade do Medidor D
Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto por meio do **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a confiabilidade do Medidor D é de aproximadamente 60% em 50 anos. Isso demonstra que um medidor eletromecânico largamente utilizado falhava muito pouco.

² A ANEEL determina que a depreciação dos medidores seja linear ao longo dos anos. Assim, o medidor eletromecânico, cuja vida regulatória é de 25 anos, é depreciado em 4% ao ano. Assim, a cada ano, as concessionárias devem atribuir 4% do custo de cada um destes medidores na composição da tarifa até o 25º ano de uso do medidor eletromecânico. Este tempo é de 13 anos para os medidores eletrônicos, conseqüentemente, a taxa de depreciação é de 7,7% ao ano.

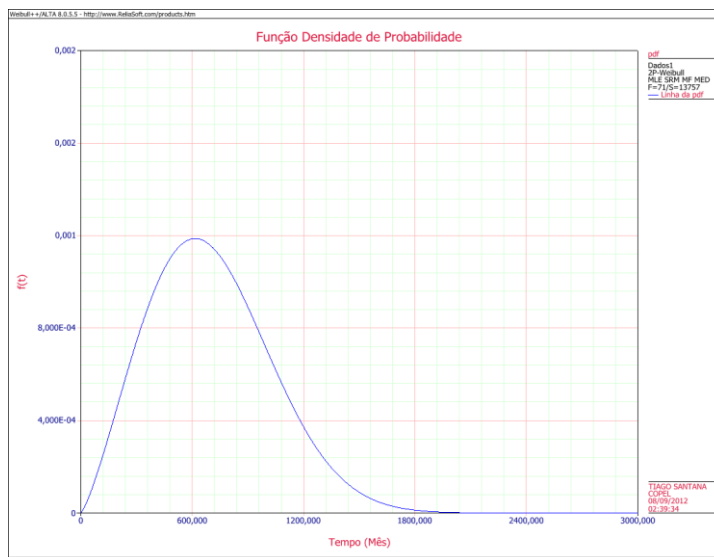


Gráfico 20 – Função Densidade de Probabilidade do Medidor D
 Fonte: Autoria própria

Além disso, é possível ver por meio do gráfico 21 que o Medidor D possui uma taxa de falhas que cresce a uma taxa praticamente constante ao longo do tempo. Portanto, não há um ponto de inflexão a partir do qual a taxa de falha dispara como nos outros medidores apresentados anteriormente.

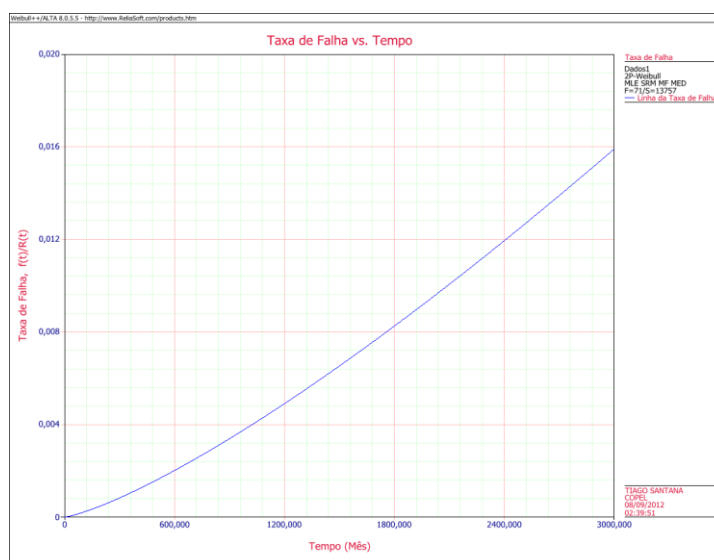


Gráfico 21 – Taxa de Falha do Medidor D
 Fonte: Autoria própria

Na sequência é apresentado o quadro 7 que mostra os mesmos dados do quadro 6, porém para os quatro medidores estudados.

CARACTERÍSTICAS	MEDIDOR			
	A	B	C	D

Vida Média (em anos)	6,95	5,09	17,46	58,56
Confiabilidade de 85% (em anos)	4,94	3,90	12,92	29,84
Confiabilidade em 7 anos	50,00%	4,84%	99,06%	99,41
Confiabilidade em 13 anos	0,01%	0,00%	84,59%	97,60%
Confiabilidade em 25 anos	0,00%	0,00%	3,01%	89,72%

Quadro 7 – Comparação de características entre Medidor A, Medidor B, Medidor C e Medidor D
Fonte: Autoria própria

O quadro 7 mostra como o Medidor D é incontestavelmente melhor do que qualquer um dos medidores apresentados anteriormente. Seu tempo de vida média é de mais de 58 anos e com 25 anos, período em que o medidor já foi inteiramente depreciado e cuja remuneração de investimento cessou, este equipamento apresenta uma confiabilidade de 90%, ou seja, sua probabilidade de falhar é de apenas 10% ao final da vida estimada pelo regulador.

Por meio dos dados acima é possível perceber que os medidores eletromecânicos possuem um tempo de vida médio e uma confiabilidade maior do que os medidores eletrônicos. Mas sendo o medidor eletromecânico melhor que o eletrônico, o que levou as concessionárias a comprarem medidores eletrônicos?

Segundo (BONAT, 2012) os medidores eletromecânicos foram substituídos por uma série de fatores combinados. Depois de um período em que muitas empresas foram privatizadas o preço passou a ser priorizado. E sim, os medidores eletrônicos possuem um preço bem inferior aos medidores eletromecânicos. Aliado a isso, os requisitos metrológicos impostos pelo INMETRO para a manutenção dos medidores eletromecânicos dificultaram a sua gestão (BONAT, 2012). Outro fator que contribuiu para a mudança de tecnologia foi a facilidade que se tinha de fraudar os medidores eletromecânicos. Como os registradores eram peças móveis, para adulterá-lo bastava dificultar o movimento destas peças.

Porém, segundo (BONAT, 2012), um grande erro foi cometido ao mudar de tecnologia construtiva de medidores. O principal erro foi adotar as mesmas funcionalidades que o medidor eletromecânico já possuía, ou seja, não foram agregadas funções que pudessem, de alguma maneira, agregar receita às concessionárias.

Os dados apresentados mostram que as taxas de falha dos medidores eletrônicos são superiores, contudo, atualmente não é possível retroceder o mercado, pois os fabricantes de medidores adaptaram suas plantas para a produção

de medidores eletrônicos. Assim, um questionamento a ser feito é sobre qual estratégia as concessionárias devem tomar para evitar os prejuízos com a substituição prematura dos medidores, ou seja, antes que tenham sido plenamente depreciados.

Para (KLEINAU; MARCONDES, 2012) algumas medidas podem ser tomadas para garantir uma melhor qualidade nos medidores. Dentre elas destacam-se:

- Realizar um projeto robusto de medidor que atenda o tempo regulatório de 13 anos.
- Controlar os componentes empregados na fabricação selecionando os fornecedores.
- Rastreabilidade dos componentes utilizados nas placas eletrônicas dos medidores.
- Empregar a NBR 16078 de 2012 que trata de ensaios de vida acelerada para garantir a confiabilidade dos medidores eletrônicos.

Além disso, segundo (KLEINAU; MARCONDES, 2012), a Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica – ABRADDEE – está empregando uma metodologia de garantia dos medidores baseada na taxa de falhas. Ou seja, conforme o aumento das taxas de falha os fabricantes são penalizados com aumento do tempo de garantia e com a determinação de *recalls*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os especialistas do setor de medição de energia elétrica do Brasil costumam dizer que os medidores eletromecânicos são sensivelmente melhores que os medidores eletrônicos. Porém, este trabalho pode servir de ferramenta para que se saiba se este discurso é baseado em fatos ou em sentimentos saudosistas.

Como foi visto no capítulo anterior, o discurso dos especialistas do setor faz sentido. Os medidores eletromecânicos realmente têm um tempo de vida média superior ao dos medidores eletrônicos. Além disso, foi confirmada a hipótese de que os medidores eletromecânicos fabricados no período de transição das duas tecnologias possui uma qualidade inferior à qualidade normalmente encontrada nos medidores eletromecânicos, e mais, em alguns casos fica abaixo dos índices adotados para comparação entre os eletrônicos.

Outro ponto importante a se constatar é que em todo tempo foram comparados medidores que possuem exatamente as mesmas funcionalidades, independentemente de sua tecnologia construtiva. Portanto, pode-se concluir que caso fosse possível comprar medidores eletromecânicos com a qualidade que eles possuíam em 2006, esta seria a melhor opção. No entanto, como não há mais esse tipo de medidores sendo vendidos no mercado, é necessário melhorar a qualidade dos equipamentos atuais ou agregar funções que gerem receita suficiente para cobrir os prejuízos amargados pelas concessionárias.

Portanto, entende-se que a monografia atingiu o seu objetivo de quantificar as diferenças existentes entre a qualidade dos dois tipos de medidores de energia elétrica. Além disso, após a realização dos trabalhos futuros, o trabalho atual poderá ser empregado na análise de evolução da confiabilidade dos medidores eletrônicos produzidos pela indústria nacional.

TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho pode ser usado como início de outros estudos que possam contribuir para a melhoria da qualidade dos medidores de energia elétrica produzidos no Brasil. Assim, os trabalhos futuros consistiriam em:

- Determinar quais são os modos de falha dos medidores.

- Estratificar os modos de falha de maneira geograficamente regionalizada para analisar possíveis diferenças nas causas das falhas por peculiaridades locais como clima.
- Estudar soluções para os modos de falha encontrados e propor medidas para que os equipamentos comprados estejam livres desses modos de falha.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 367:** Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico - MCPSE. Brasília: ANEEL, 2009.

_____. **Resolução Normativa 414:** Condições Gerais de Fornecimento de Energia de Forma Atualizada e Consolidada. Brasília: ANEEL, 2010.

ANALOG DEVICES. **A tamper-resistant watt-hour energy meter based on the AD7751 and two current sensors.** Norwood, 2000.

ANALOG DEVICES. **Energy metering IC with pulse output AD7755*.** Norwood, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:** confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 16078:** equipamento de medição de eletricidade – confiabilidade – ensaio de confiabilidade – vida acelerada por umidade e temperatura. Rio de Janeiro, 2012.

Bathi, N. K., **Electro-mechanical meters.** USAID, 2010.

BONAT, J. A. J., **Brazil's Energy Metering Stalemate.** Metering International, Issue 3, 2012, p. 59-63.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Guia Histórico de Medidores.** Curitiba: COPEL, 2012.

DIAS, Acire., **Projeto mecânico de motores elétricos.** Florianópolis, UFSC, 2004.

Edison Electric Institute: **Handbook for electricity metering.** Washington, 2002.

HARNEY, A., **Smart metering technology promotes energy efficient for a greener world.** Dublin, Analog Devices, (2009).

KLEINAU, B. A., MARCONDES, J., **Por que a qualidade dos medidores é fundamental?** Metering International América Latina, 2012, p. 31-32.

KOON, W., **Current sensing for energy metering.** Wilmington, Analog Devices, 2003.

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

MOUBRAY, J., **Reliability Centered Maintenance.** New York, Editora Industrial Press, Revisão da 2ª Ed. 2001.

MOULIN, E., **Energy Data Converters Reduce Cost and Simplify Meter Design.** Amsterdam, Analog Devices, 2001.

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES – OCDE. Méthode type proposée pour les enquêtes sur la recherche e le développement expérimental, **Manuel de Frascati.** Paris OCDE, 1993.

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

RAUSAND, Marvin, HØYLAND, Arnljot, **System Reliability Theory Models, Statistical Methods and Applications.** 2 Ed. Editora Wiley-Interscience, 2003.

RIGONI, E., **Metodologia para implantação da manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem fundamentada em sistemas baseados em conhecimento e lógica Fuzzy.** Florianópolis, UFSC, 2009.

SMITH, A. M., **Reliability Centered Maintenance.** Boston, Editora McGraw Hill, 1993.

SMITH, A. M., HINCHCLIFFE, G. R., RCM – **Gateway to World Class Maintenance.** Editora Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

SMITH, D. J., **Reliability, maintainability and risk: practical methods for engineers.** Chippenham, Editora Antony Rowe, 1943.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas.
Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos. Curitiba: UTFPR, 2008.

WEIBULL, W., **A statistical distribution function of wide applicability.** ASME
Journal of Applied Mechanics, September 1951, p. 293-297.