



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Título do Trabalho Técnico **Confiabilidade de Medidores Eletrônicos Residenciais**

Mariano Michael Bergman
ACTARIS LTDA
mariano.bergman@actaris.itron.com

Palavras-chave

Confiabilidade
Medidores
Residenciais
Taxa de Falhas
Tempo de Vida

Resumo

Em um momento de transição da medição residencial eletromecânica para a eletrônica é importante termos uma idéia precisa sobre os aspectos de confiabilidade dessa tecnologia e os cuidados que devemos ter ao aplicá-la. Neste trabalho serão apresentados conceitos de Taxa de Falhas, Confiabilidade, Tempo de Vida e como devem ser aplicados, de forma a garantir o melhor retorno do investimento nessa tecnologia. Serão apresentados também dados sobre a experiência mundial da Actaris e da Itron na fabricação de mais de 30.000.000 de medidores eletrônicos residenciais com especificações que atendem a maioria dos países do mundo.

1. Introdução

Durante muitos anos os medidores eletromecânicos foram os equipamentos usados pelas concessionárias de energia para a medição de energia dos consumidores residenciais. Apesar de serem produtos extremamente robustos e precisos em relação ao custo que representam, esses medidores sempre estiveram limitados em suas funcionalidades. Com a necessidade de se agregar novas funcionalidades motivadas por exigências tarifárias, controle de perdas, produtividade (AMR) e em alguns casos por preço, foram introduzidos os medidores eletrônicos para aplicações residenciais.

Um dos aspectos mais importantes desse tipo de medidor de energia é de estarem ligados 24 horas por dia em ambientes não controlados, sujeitos a todos os tipos de intempéries e distúrbios elétricos, com uma expectativa de vida muito alta (20-25 anos) e com uma classe de precisão de pelo menos 2%.

A importância da expectativa de vida está relacionada basicamente a fatores metrológicos e financeiros. Alguns países fornecem certificados de tempo de vida baseados no modelo de previsão de confiabilidade. Desta forma, um medidor cuja confiabilidade é superior a, por exemplo, 97% durante os primeiros 15 anos recebe um certificado de 15 anos, enquanto outro cujo modelo indica uma confiabilidade superior a 97% durante os primeiros 20 anos recebe um certificado de 20 anos. Esses valores são utilizados para se definir a periodicidade de verificação metrológica do medidor no campo e para se definir o prazo de substituição, com impactos diretos no resultado da Concessionária.

Em outros casos o órgão regulador estabelece o prazo de amortização do medidor: Se o tempo de vida do medidor for inferior a este prazo, a substituição do equipamento não é considerada na revisão tarifária da Concessionária, impactando também negativamente no resultado.

O tempo de vida de um medidor está diretamente relacionado ao projeto do medidor, dos componentes, dos processos produtivos e dos cuidados com a instalação.

Neste trabalho, vamos focar os aspectos relacionados à expectativa de vida dos medidores e apresentar alguns aspectos importantes que devem ser levados em conta no projeto, fabricação e instalação do medidor.

2. Tempo de Vida – Conceito

Os medidores eletrônicos estão sujeitos às fases de Mortalidade Infantil, Vida Útil e Envelhecimento durante o seu Ciclo de Vida, que é representada pela famosa curva da banheira (FIG 1), associada à taxa de falhas da maioria dos equipamentos eletrônicos.

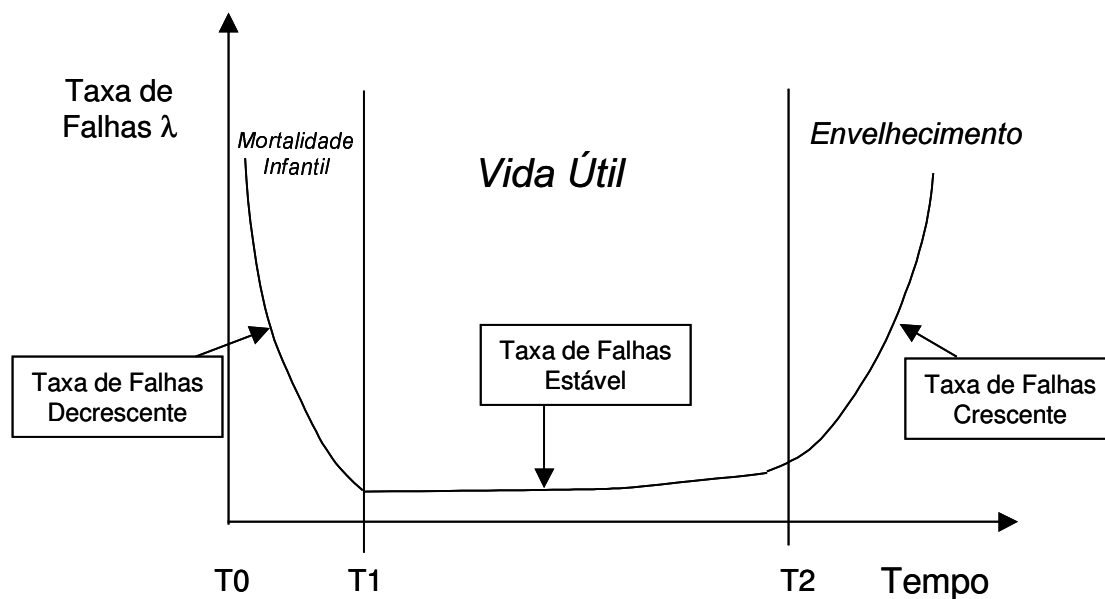


FIG 1

Este modelo divide a vida operacional de um medidor de energia em três fases :

- **Mortalidade infantil** (quando ocorrem falhas precoces),
- **Vida útil** (onde a incidência de falhas é relativamente constante no tempo)
- **Envelhecimento** (quando o produto passa a apresentar desgaste acentuado e falhas passam a ocorrer com maior frequência).

O objetivo principal dos fabricantes e das concessionárias é de reduzir ao máximo os ciclos de Mortalidade Infantil e Envelhecimento e aumentar o de Vida Útil.

3. Mortalidade Infantil

Região de alta, porém decrescente, taxa de falha.

Apesar de normalmente o produto ainda estar na garantia quando da ocorrência de falhas causadas por mortalidade infantil essas falhas criam um custo adicionais e diminuem a confiança no produto. Normalmente essas falhas são causadas por problemas de projeto ou de manufatura. Especificações apropriadas as condições de uso, projetos com tolerâncias adequadas, e componentes de qualidade comprovada são práticas que ajudam, e devem ser sempre adotadas. Mas o melhor projeto pode falhar ao tentar cobrir todas as possíveis interações dos componentes quando em operação. Em adição as melhores práticas de projeto testes de envelhecimento acelerado devem começar nas primeiras fases do projeto. Esses testes serão usados para detectar os pontos fracos do projeto assim como problemas específicos de material e de montagem. Outras formas de se reduzir o risco de falhas por mortalidade infantil é o “burn-in” tratado no item 4.2

4. Vida útil

É a região de menor taxa de falha do gráfico, aproximadamente constante. Todos os esforços tanto dos fabricantes quanto das concessionárias são feitos para estender ao máximo esse tempo dentro de custos coerentes.

As falhas que são detectadas durante esta fase são normalmente causadas por eventos aleatórios, designadas por causas comuns e não-relacionadas a defeitos inerentes às unidades. Alguns exemplos: sobrecargas de voltagem, vibração, impactos, aumentos na temperatura e umidade durante a operação normal das unidades.

Falhas por causas comuns podem ser reduzidas com uma melhor proteção do medidor a efeitos externos, tornando-os mais robustos, cuidados com a instalação dos medidores e evitando-se a exposição dos mesmos a altas temperaturas ou umidade.

Vamos analisar três aspectos principais que influenciam diretamente no tempo de Vida Útil:

- **Projeto**

- **Processo produtivo**
- **Instalação**

4.1. Projeto

4.1.1. Componentes

A expectativa de vida de um medidor depende da expectativa de vida de cada um dos seus componentes assim como dos processos produtivos utilizados.

A escolha dos componentes é de fundamental importância uma vez que a Vida Útil do medidor é diretamente proporcional ao Tempo Médio entre Falhas ou MTBF (“Mean Time Between Failures”) e inversamente proporcional a Taxa de Falhas.

Conceitualmente, ao se determinar o Tempo Médio entre Falhas aplicável a medidores usa-se apenas a parte da curva relacionada entre os tempos T1 e T2 da FIG 1 e no nosso caso definido como **Vida Útil** onde a taxa de falhas é relativamente constante.

Taxa de Falhas é dada pela fórmula $\lambda = 1/ \text{MTBF}$

Utilizando o método de cálculo por componente (o mais utilizado em equipamento de medição eletrônica) podemos calcular a taxa de falhas do medidor pela fórmula:

$$\lambda_T = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n$$

onde: $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ são as taxas de falhas de cada componente

onde: λ_T = Taxa de falhas do Medidor

A partir da Taxa de Falhas podemos determinar a confiabilidade do medidor, desde que se mantenha a presunção de que a taxa de falhas é constante.

$$C(t) = e^{(-\lambda T)}$$

Existem várias fontes de informação para se obter a taxa de falhas dos componentes individuais como, por exemplo, MIL-HDBK-217, IEC 60319 / 61709 ou SN 29500. Esses documentos levam em conta as taxas de falhas de componentes individuais como componentes passivos (resistores, capacitores,...), componentes ativos (diodos, CI's,...) além de componentes mecânicos como conexões.

4.1.2. Circuitos Funcionais

Os medidores residenciais podem ser divididos em 5 partes básicas:

- **Sensores de entrada**

As considerações mais importantes relacionadas ao tempo de vida que devem ser levadas em conta quando da escolha dos sensores de corrente e tensão estão ligadas a dissipação de calor desses componentes e a isolação elétrica do medidor uma vez que soluções usando TC e TP

não são usadas por motivo de custo. Também devem ser levados em conta os componentes de proteção, uma vez que a ausência ou o mal funcionamento dos mesmos podem reduzir substancialmente o tempo de vida do medidor.

– **Fonte auxiliar**

Da mesma forma que os sensores de tensão, dissipação de calor, isolamento galvânica e proteção adequada são os elementos mais importantes quando do dimensionamento desse circuito: quanto maior o consumo do medidor maior a dissipação de calor na Fonte Auxiliar .

Os dois módulos, Sensores de Entrada e Fonte Auxiliar, utilizam em sua grande maioria componentes passivos como resistores, capacitores, indutores, normalmente usados nas funções de atenuação dos sinais de entrada respectivamente para medição de energia e alimentação do medidor.

– **Módulo de Medição**

Este módulo é formado pelos circuitos integrados, que fazem o cálculo das grandezas a serem medidas (kWh, kVarh,...). Normalmente, são Circuitos Integrados do mercado, customizado ou não, para medição de energia.

Os Circuitos Integrados assim como os Semi Condutores em geral, podem falhar por dois motivos básicos:

- Falhas intrínsecas ao componente: são normalmente relacionadas ao projeto ou a fabricação do componente e aparecem com o tempo ou em condições específicas de utilização. Exemplos desse tipo de falhas são: contaminação e ruptura da camada dielétrica.
- Falhas extrínsecas: são as normalmente causadas por utilização dos componentes sob condições diferentes das especificadas pelo fabricante, e geralmente atribuídas ao projeto do medidor. Exemplos desse tipo de falhas são sobre tensões, sobre carga,...

Uma vez que esses componentes estão de certa forma isolados de distúrbios externos pelos circuitos de entrada e saída, são menos sensíveis a anomalias geradas por distúrbios na rede. Por outro lado são bastante sensíveis à campos eletromagnéticos externos, que se por um lado podem comprometer o funcionamento do medidor durante a presença do distúrbio, não devem ter grande influência na Vida Útil do medidor.

– **Módulo de registro (Display, Ciclométrico)**

O elemento de indicação de consumo de um medidor de energia pode ser um Display de LCD (Liquid Cristal Display) ou uma relojoaria mecânica como a utilizada nos medidores eletromecânicos comandada por um motor de passo. A vantagem do Display é que permite a apresentação de várias informações tanto de faturamento como de controle. As desvantagens são o custo, e o fato de exigir uma memória não volátil para armazenar as informações no caso da queda de energia e que durante a queda o medidor não pode ser lido. Normalmente os LCD quando comparados a outros componentes, possuem um taxa de falhas maior, por isso são consideradas como componentes críticos dos medidores eletrônicos. Quando a única informação necessária é a de kWh normalmente a solução adotada é da relojoaria mecânica pelas razões expostas acima.

– **Componentes de proteção**

Os componentes de proteção como Varistores, Indutores, Filtros, estão constantemente submetidos às perturbações da rede elétrica, na realidade eles estão lá para isso mesmo, isto é para serem a proteção dos circuitos internos do medidor usados para a metrologia. Pode acontecer que devido a seu modo de falha o medidor continue funcionando normalmente, mesmo com um desses componentes danificado ou fora de sua especificação. Nesse caso as perturbações da rede não serão mais bloqueadas / filtradas e podem atingir os componentes internos reduzindo o tempo de vida do medidor.

4.2. Processo produtivo

Os processos produtivos quando relacionados à confiabilidade têm duas finalidades básicas:

- Reduzir ao máximo a quantidade de medidores que saem da linha de produção com problemas de Mortalidade Infantil. Antigamente uma técnica muito usada era fazer o “burn-in” dos medidores de forma a detectar os componentes ou montagens que iriam falhar devido a problemas de Mortalidade Infantil evidenciados no início da curva de taxa de falhas (FIG 1) onde a taxa de falhas é maior. Quando o período de “Burn-In” é suficientemente grande e artificialmente estressante, de forma a acelerar o ciclo de vida, o sistema pode detectar a maioria dos problemas de taxa de falhas devidas à mortalidade infantil. Dessa forma, falhas nos primeiros meses de utilização podem ser evitadas. Quando, no entanto, o tempo de “burn-in” é estendido desnecessariamente passamos a reduzir o tempo de vida útil do medidor. Nos últimos anos os processos de “burn-in” têm sido substituídos por outros controles de forma a se evitar os problemas de mortalidade infantil ao invés de detectá-los depois da montagem. Para tanto, a grande maioria dos fabricantes de componentes fornecem os componentes fora da zona de mortalidade infantil e todos os processos de qualidade são implantados de forma que a montagem e os testes do produto não induzam a outros problemas de mortalidade infantil. Alguns exemplos de montagem que podem acarretar problemas de Mortalidade Infantil estão relacionados a soldas mal feitas, conexões frágeis ou componentes que ficaram sujeitos a temperaturas excessivas durante os processos de montagem.
- Aumentar ao máximo o tempo de ciclo de vida útil (FIG 1). O objetivo aqui é o de reproduzir o mais fielmente possível o produto que foi concebido na fase de Projeto. Para tanto são implementados todos os controle de qualidade possíveis para garantir que os componentes usados estejam dentro das características projetadas e que todos sejam montados de forma a não colocar em risco suas características técnicas. Um aspecto importante é garantir a presença e a correta especificação dos componentes de proteção que mesmo quando não estão montados ou estão com os valores errados podem não comprometer o funcionamento do medidor, mas comprometem o seu tempo de vida, uma vez que deixam de protegê-lo contra os distúrbios da rede elétrica. É de fundamental importância o cuidado com problemas de carga estática no manuseio das peças e em todas as fases dos processos produtivos. Mesmo que a maioria dos Circuitos Integrados já incorpore alguma proteção contra esse tipo de stress, roupas e ambientes adequados minimizam, esse tipo de problema que pode ser a causa de muitas falhas que reduzem o tempo de vida útil do medidor.

4.3. Instalação

Normalmente a instalação não é um dos tópicos mais discutidos quando se fala em confiabilidade e tempo de vida dos medidores eletrônicos. E quando se fala, só é apresentada a vantagem do fato que se pode montá-lo em qualquer posição, inclinado ou não, que o mesmo funcionará corretamente.

No entanto a instalação é, assim como o Projeto e o Processo Produtivo, um ponto muito importante para garantir que o medidor fique em funcionamento durante o tempo para o qual foi projetado.

Medidores de Energia são projetados para trabalharem continuamente, com alta confiabilidade, durante um longo tempo de vida, **sob condições normais de operação** e sem supervisão.

Várias condições adversas podem gerar “stress” nos medidores reduzindo assim substancialmente o tempo de vida. Podemos citar algumas condições adversas que reduzem o tempo de vida dos medidores tais como:

Temperatura Elevada

Umidade

Sobre tensão e Sobre corrente

Vibração

Poeira

Variações bruscas de tensão

Descargas eletrostáticas

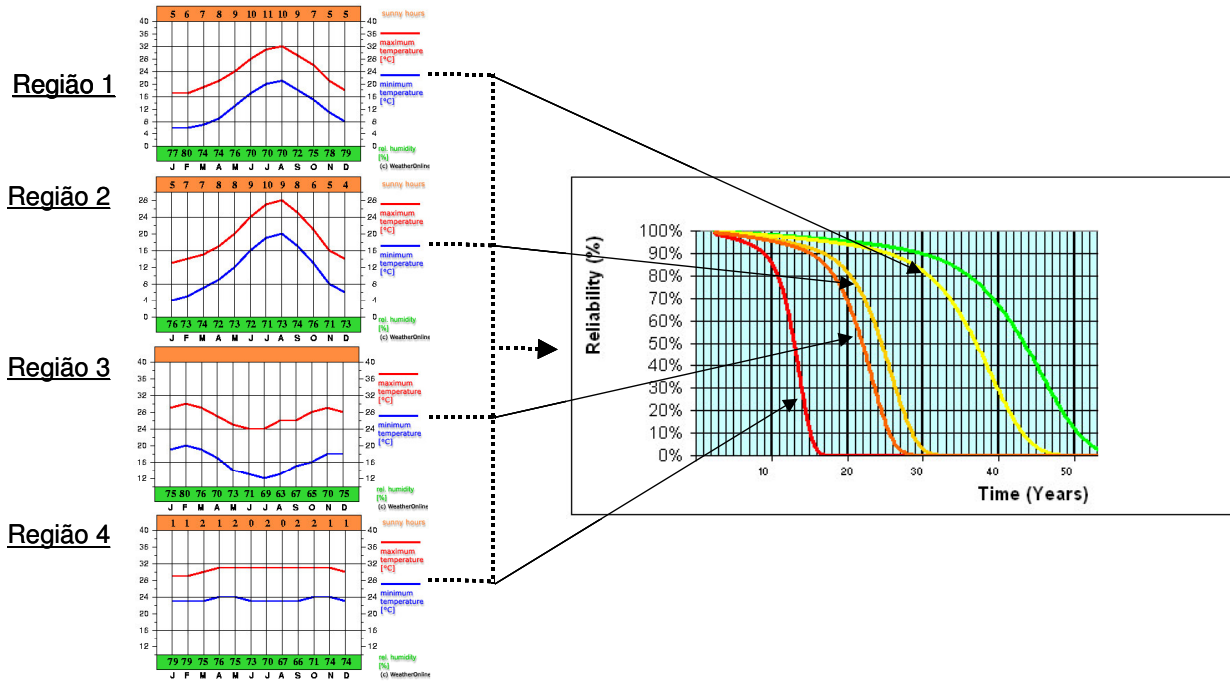
Surtos de Tensão / Corrente

A vantagem dos medidores eletrônicos sobre os eletromecânicos é que os aspectos de variação da taxa de falhas relacionados à temperatura e umidades são modelados com muito mais certeza e confiança.

Para efeito ilustrativo de como a variação de temperatura e umidade podem influenciar no tempo de vida dos medidores eletrônicos, fizemos uma extrapolação de resultados práticos para quatro regiões com temperaturas e umidades médias diferentes e analisamos a taxa de falha e o tempo de vida teórico esperado para um determinado medidor eletrônico.

Como podemos ver pela fig 2 na Região 4 10% dos medidores terão falhado após 9 anos enquanto que na Região 1 o valor de 10% ocorrerá teoricamente apenas após 25 anos. Apesar de esses valores serem teóricos a literatura técnica e em especial a IEC 62059-031 suporta estas conclusões. Isto é: quanto maior a temperatura (em valor e duração) que os componentes de um medidor eletrônico forem submetidos, menor será o seu tempo de vida.

Projeção para Regiões diferentes



Quando da concepção dos medidores existe uma preocupação de que o projeto passe por todos os testes definidos pelas normas e pelos clientes. A grande maioria dos testes estabelece os limites de erro para cada grandeza de influência (temperatura, umidade, variação de tensão, ...) ou ainda quais as condições limites que o medidor deve suportar sem se danificar (Ensaio de Impulso, Dielétrico, ...) voltando às condições iniciais do teste quando voltar as condições normais de funcionamento.

É importante salientar que os medidores eletrônicos são projetados para trabalhar continuamente por um longo período sob condições *normais* de operação. Apesar de eles suportarem trabalhar sob condições limites, pré-especificadas, dentro das classes de exatidão, é fundamental ter em mente que quanto mais (tanto em tempo, como valor ou em número de vezes) o medidor for submetido a estas condições extremas menor será o tempo de vida útil, isto é, mais rapidamente o medidor se aproximará da zona de envelhecimento.

A característica de redução de vida útil do medidor quando submetido a fatores de stress como os mencionados acima, não é inerente apenas aos medidores de energia, mas sim a qualquer equipamento eletrônico.

Uma instalação que não esteja sujeita a grande variação de temperatura, que esteja corretamente protegida (elos fusíveis bem dimensionados, níveis de tensão controlados, pára-

raios corretamente instalados e dimensionados) é a melhor garantia que o medidor terá seu tempo de vida entendido.

Devido às incertezas em relação à instalação e a dificuldade de controlar os aspectos relacionados à temperatura e características de proteção da rede, os fabricantes tem dificuldade de garantir um determinado tempo de vida dos medidores.

5. Envelhecimento

É a região de taxa de falha crescente, dominada por falhas relacionadas ao desgaste do medidor.

Alguns exemplos mais comuns são os de componentes que perdem suas características elétricas, LCD's desgastados

É importante para a concessionária detectar o início dessa fase, uma vez que o aumento da taxa de falha normalmente indica a necessidade de reposição de componentes no medidor, ou no caso do medidor residencial, provavelmente do medidor todo.

Uma outra razão para se identificar o início dessa fase, é que muitas vezes a decisão de se substituir todos os medidores desse lote é financeiramente mais interessante do que substituí-los apenas quando falharem. Essa decisão está baseada no fato que esses medidores provavelmente já estarão amortizados e o custo de sua substituição poderá ser incorporado na tarifa e de que se a detecção da falha for demorada o seu custo em termos de perda de receita poderá ser superior ao da reposição do medidor.

Três alternativas importantes para amenizar a intensidade do envelhecimento estão relacionadas aos pontos já mencionados

- Projeto de produtos com componentes e materiais mais duráveis,
- Práticas de manutenção preventiva e corretiva. (pouco realista para medidores residenciais).
- Controle de fatores ambientais de “stress” (*temperatura , umidade, sobre tensões / correntes* que aumentam a taxa de falha do medidor)

6. Conclusão

Muito tem sido dito e especulado a respeito do tempo de vida esperado para os medidores eletrônicos, mas de fato, assim como para os medidores eletromecânicos não existe um consenso. Mesmo porque o tempo de vida é, como vimos, dependente da qualidade do projeto, dos componentes usados, dos processos produtivos e não menos importante, das condições da instalação.

No caso dos medidores eletrônicos, no entanto, podemos sempre modelar melhor o seu funcionamento e estabelecer princípios mais claros e confiáveis de como aumentar o tempo de vida.

Tanto em nível do projeto como dos processos produtivos e da instalação, os preceitos para se estender o tempo de vida estão mais claros e podem ser melhor avaliados e reproduzidos. Acreditamos que, como mencionado nesse trabalho, o tempo de vida de um medidor eletrônico esta ligado a três aspectos fundamentais: ***Projeto, Processo Produtivo e a Instalação***

7. Referências bibliográficas e/ou bibliografia

- 1 – OFGEM Meter Reliability Guidance
- 2 – EPSMA Guidelines to Understanding Reliability Prediction
- 3 – Exceeding 60 Year Life Expectancy from an Electronic Energy Meter
Natasha Wan & Kevin Manning ANALOG DEVICE
- 4 – IEC 62059-31 (Draft) Electricity metering equipment dependability
Temperature and humidity accelerated reliability testing
- 5 – ACTARIS UNIVERSITY, TALBOT, Jacques, ROCHON, Olivier Meter