



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Melhorias no desempenho de medidores  
eletromecânicos de energia elétrica.**

Edlúcio Gomes de Souza Filho  
edluciofilho@yahoo.com.br

Orientador:  
Prof. Dr. Benedito Antônio Luciano

Campina Grande, Setembro de 2006.

# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Apresentação.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2. Revisão Bibliográfica.....</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1.O medidor eletromecânico e a medição de energia elétrica.....                               | 4         |
| 2.2.Breve histórico da evolução dos medidores de energia elétrica.....                          | 5         |
| 2.3.Princípio de funcionamento.....   | 9         |
| 2.4.Descrição de um Modelo de Medidor Moderno.....  | 14        |
| <b>3. Alternativas para Melhoria do Medidor Eletromecânico de Energia Elétrica.....</b>         | <b>21</b> |
| 3.1.Substituição de Materiais.....  | 21        |
| 3.2.Medição por leitura remota.....   | 24        |
| 3.3.Acoplamento de um sistema embarcado para aquisição de curva de carga para consumidores..... | 26        |
| 3.4. Leitura automatizada de medidores eletromecânicos de energia elétrica.....                 | 31        |
| <b>4. O Medidor Eletrônico.....</b>   | <b>37</b> |
| <b>5. Conclusão.....</b>  | <b>40</b> |

## **6. Referências Bibliográficas.....41**

# **1. Apresentação**

Atualmente, na Medição de Energia Elétrica existem dois tipos de medidores: os eletromecânicos e os eletrônicos.

Os medidores eletromecânicos, embora sejam bastante utilizados e de baixo custo, enfrentam algumas dificuldades diante dos avanços tecnológicos. Pode-se afirmar que desde a concepção do primeiro medidor de energia elétrica, pouca evolução ocorreu na sua topologia original. Entretanto, diversas pesquisas vêm sendo feitas com o objetivo de melhorar seu desempenho, evitando assim sua substituição, o que implicaria um alto custo.

Já os medidores eletrônicos têm incorporadas tecnologias do estado sólido, o que os tornam mais versáteis com relação aos primeiros.

Este trabalho de conclusão de curso tem como principal objetivo apresentar algumas modificações, ou seja, algumas melhorias que uma vez introduzidas nos medidores eletromecânicos convencionais possam melhorar o seu desempenho e os tornem competitivos face aos medidores eletrônicos.

Ao longo deste trabalho, será mostrado um histórico da evolução dos medidores eletromecânicos de energia elétrica, desde sua concepção até os dias atuais; alguns fabricantes e seus aspectos de projetos; seu princípio de funcionamento e algumas propostas de modificações para melhorar seu desempenho e ampliar suas utilidades.

Será abordado, também, o medidor eletrônico, discutindo suas vantagens e desvantagens em relação ao eletromecânico.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. O Medidor Eletromecânico e a Medição de Energia Elétrica.**

Antes de abordar os medidores propriamente ditos, deve-se ressaltar um pouco a importância da medição de energia elétrica, enfatizando as empresas fornecedoras de energia elétrica.

Sabemos que a medição de energia elétrica é empregada, na prática, para possibilitar à entidade fornecedora o faturamento adequado da quantidade de energia elétrica consumida por cada usuário, dentro de uma tarifa estabelecida. A maioria dos medidores hoje empregados é do tipo indução por sua simplicidade, robustez, exatidão e desempenho ao longo dos anos.

A concessionária, entidade fornecedora de energia elétrica, tem grande interesse no perfeito e correto desempenho deste medidor, pois nele é que repousam as bases econômicas da empresa. Os litígios entre consumidores e fornecedor podem ser bastante reduzidos se os cuidados necessários forem dispensados com a correta medição da energia elétrica consumida.

A energia elétrica é uma mercadoria comercializada como outra qualquer, tendo, entretanto a sua venda algumas implicações de ordem prática, como por exemplo o fato de o consumidor só pagar após consumir, também o fato de o medidor ficar em sua casa, o que requer cuidados especiais por parte da concessionária e, o mais importante, o fato de que, ao contrário do consumidor, a concessionária somente o olha uma vez por mês, quando o seu empregado leiturista faz a leitura do consumo mensal na residência do usuário.

Tudo isto requer precauções especiais na concepção e construção destes medidores.

As entidades governamentais de quase todos os países, e no Brasil ( a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e o Instituto Nacional de Pesos e Medidas – INPM), também se preocupam com o assunto e editam suas normas regulamentando as condições que devem satisfazer os medidores para poderem ser comercializados.

## **2.2. Breve Histórico da Evolução dos Medidores de Energia Elétrica**

Como o principal objetivo deste trabalho é apresentar melhorias no desempenho dos medidores eletromecânicos de energia elétrica, é indispensável expor um pouco de sua história, desde sua invenção até os dias atuais, comentando também, os diversos cientistas e empresas que participaram desta história.

Neste tópico é apresentado um histórico resumido da evolução dos medidores de energia elétrica, obedecendo a seguinte cronologia:

Em 1872: **Samuel Gardiner** conseguiu a primeira patente conhecida de um medidor de energia elétrica. Este se tratava de um medidor de lâmpada-hora de corrente contínua, atuando através de um pulso de disparo com um eletroímã, acionando e parando o mecanismo.

Em 1882: **Thomas Edison** desenvolveu um medidor químico de ampère-hora que consistia em um frasco que mantinha duas placas de zinco conectadas através de uma derivação no circuito do cliente. Cada mês os eletrodos eram pesados e a conta do cliente era determinada pela diferença de peso. Este medidor era bastante ineficiente e impreciso.

Em 1885: **Galileo Ferraris**, em Turin, Itália, faz uma descoberta onde dois campos fora de fase em corrente alternada podiam fazer uma armadura girar. Esta descoberta estimulou o desenvolvimento de motores de indução, assim como também abriu caminho para o desenvolvimento do medidor tipo indução de watt-hora.

Em 1886: O professor **Forbes**, em Londres, Inglaterra, construiu o primeiro medidor para o uso em circuitos de corrente alternada, que usava um elemento de aquecimento conectado no circuito que operava um pequeno moinho de vento conectado a um registro. Infelizmente, este medidor era muito delicado, inadequado para o uso

comercial. Neste mesmo período, **Elihu Thomson** começa a desenvolver um medidor de potência ativa de gravação, juntamente com **Thomas Duncan** na Escócia.

Em 1888: Em abril deste ano na **Westinghouse**, **O.B. Shallenberger** e um assistente projetaram um medidor de ampère-hora de corrente alternada.

Em 1892: **Thomas Duncan** desenvolve o primeiro medidor de watt-hora de indução utilizando um único disco para o elemento móvel e frenador, mas este projeto nunca entrou em produção.

Em 1895: **William Stanley** e **Fredrick Darlington** contruíram um medidor usando um disco flutuante na abertura do ímã sem usar o rolamento tradicional de jóia. Este modelo funcionou no início, mas os problemas forçaram a companhia a desenvolver outros modelos.

Em 1897: A **GE** desenvolve seu primeiro medidor tipo indução, o medidor de energia de **Thomson**. Este medidor utilizava um rotor em forma de copo para o elemento móvel e um disco separado para o elemento frenador.

Em 1898: **Thomas Duncan** desenvolve um medidor de watt-hora de gravação semelhante ao da **GE**.

Em 1899: A **GE** introduz sua primeira tentativa de um medidor polifásico. Este medidor era robusto devido ao disco grande e aos estatores extensamente espaçados em uma tentativa de eliminar a interferência entre os estatores. Um coordenador da **Westinghouse (Paul McGahan)** desenvolve um projeto de medidores polifásicos, onde dois medidores monofásicos foram instalados com o eixo e o registro comuns. Este projeto foi adotado por todos os fabricantes e construído em vários formulários até 1969.

Em 1903: a **GE** introduziu o primeiro medidor de energia elétrica de corrente alternada produzido em massa. Este modelo foi considerado também o primeiro medidor "moderno" porque tinha todas as principais características encontradas nos medidores atuais. Em 1960, muitos destes medidores ainda eram utilizados.

Em 1904: a **Sangamo Electric Company** estava impedida de produzir medidores do tipo indução até que a patente de **Tesla** expirou em 1910. Neste ano, foi introduzida uma nova linha de medidores de ampère-hora e de watt-hora de corrente alternada.

Em 1911: depois que as patentes de Tesla expiraram em dezembro de 1910, a *Sangamo* introduziu imediatamente um novo medidor tipo indução conhecido como do tipo H.

Em 1914: a primeira guerra mundial interrompeu o fornecimento de tungstênio, um componente essencial do aço usado em ímãs do freio do medidor, e os fabricantes recorrem a um tipo diferente de aço utilizando o cromo.

Em 1924: a *Westinghouse* introduziu o medidor do tipo OB, sendo este o menor medidor de watt-hora já fabricado nos E.U.A. No decênio de 1920, diversos avanços ocorreram no projeto do medidor. Com a introdução de carcaças no medidor para proteger as conexões. Todos os medidores foram redesenhados para adicionar dois tipos de compensação para melhorar o desempenho. A compensação da temperatura permitiu que os medidores mantivessem a exatidão sobre uma larga escala de temperatura.

Em 1934: a *Sangamo* introduziu o último medidor mecânico do pagamento adiantado, o tipo HFP. Nesta época, a medição por pagamento adiantado estava ficando ultrapassada devido às fraudes e ao baixo custo da eletricidade. Outra melhoria no projeto dos medidores nos anos de 1930, foi o redesenho dos medidores polifásicos, com o objetivo de incorporar um disco laminado, permitindo que os estatores no medidor, fossem colocados lado a lado sem interagir entre si. Os medidores polifásicos projetados eram ligeiramente maiores do que medidores monofásicos. A outra melhoria ocorrida foi em relação a um problema nos medidores instalados ao ar livre em áreas rurais. Após tempestades do relâmpago, alguns medidores começaram a operar mais rápido, devido ao enfraquecimento dos ímãs do freio pelo aparecimento de potencial durante a tempestade. Isto foi resolvido substituindo os ímãs do aço de cromo pelos ímãs feitos de alnico.

Em 1960: *Duncan, Sangamo e Westinghouse* introduziram medidores usando os rolamentos magnéticos. Nos anos 1960, o medidor monofásico de watt-hora foi submetido a sua principal mudança, ou seja, ele foi redesenhado para ter um tamanho menor e mais resistente aos danos.

Em 1975: com os avanços na eletrônica nos anos de 1970, os fabricantes começaram a introduzir registros eletrônicos e dispositivos automáticos de leitura nos medidores. Pelos anos de 1980, os fabricantes já ofereciam medidores híbridos com os registros eletrônicos montados nos medidores tipo indução.

Em 1990: no decênio de 1990 alguns avanços na eletrônica permitiram que os fabricantes começassem a introduzir os medidores inteiramente eletrônicos sem a utilização de nenhuma peça móvel (com exceção dos interruptores).

Como pode ser observado neste breve histórico, os medidores de energia elétrica passaram por uma verdadeira evolução, desde sua invenção até os dias atuais, como já foi mencionado na apresentação deste trabalho, mas sua topologia original e seu princípio de funcionamento continuam basicamente os mesmos.

Pode ser observado também, o surgimento dos medidores eletrônicos, que podem ser vistos como prováveis substitutos dos medidores eletromecânicos. Porém, como será abordado mais adiante neste trabalho, diversas pesquisas continuam sendo realizadas, com o intuito de aperfeiçoar cada vez mais esses medidores, evitando assim sua substituição.

### **2.3. Princípio de Funcionamento**

O conhecimento do efeito magnético da corrente elétrica que possibilitou a construção de aparelhos medidores foi observado pela primeira vez por *Thomas A. Edison*, com a criação do galvanômetro, dando início ao desenvolvimento dos medidores de energia elétrica.

Já a concepção do primeiro medidor de energia elétrica, baseado no princípio da indução magnética, foi patenteado por *Oliver B. Shallemberger*, em 1888, e até os dias atuais, pode-se afirmar que pouca evolução ocorreu na sua topologia original.

O medidor de energia elétrica eletromecânico, ou também conhecido como medidor tipo indução, tem seu funcionamento baseado na lei da indução magnética (lei de Faraday/Lenz). Ele é empregado em corrente alternada para medir a energia elétrica absorvida por uma carga e é constituído, basicamente, das seguintes partes:

- armadura;
- elemento frenador;
- estator;
- rotor;
- mancais;
- registrador;



- bloco de terminais;
- placa de identificação e dispositivo de selagem.
- tampas do medidor;
- dispositivos de ajustes;

Para uma melhor compreensão do seu funcionamento, é necessário dividi-lo essencialmente em:

- 1) **Bobina de tensão ou potencial Bp:** altamente indutiva, com grande número de espiras de fio fino de cobre, para ser ligada em paralelo com a carga.
- 2) **Bobina de corrente Bc:** com poucas espiras de fio grosso de cobre, para ser ligada em série com a carga, é dividida em duas meias bobinas enroladas em sentidos contrários.
- 3) **Núcleo:** de lâminas de material ferromagnético normalmente ferrosilício, justapostas, mas isoladas umas das outras para reduzir as perdas por correntes de Foucault.
- 4) **Conjunto móvel ou rotor:** constituído de disco de alumínio, de alta condutibilidade, com o grau de liberdade de girar em torno do seu eixo de suspensão M, ao qual é solidário; a este eixo M, está preso um parafuso-sem-fim que aciona um sistema mecânico de engrenagens que registre, num mostrador, a energia elétrica consumida.
- 5) **Imã permanente:** para produzir conjugado frenador ou de amortecimento sobre o disco.

Na Figura 1 são representadas as partes mencionadas:

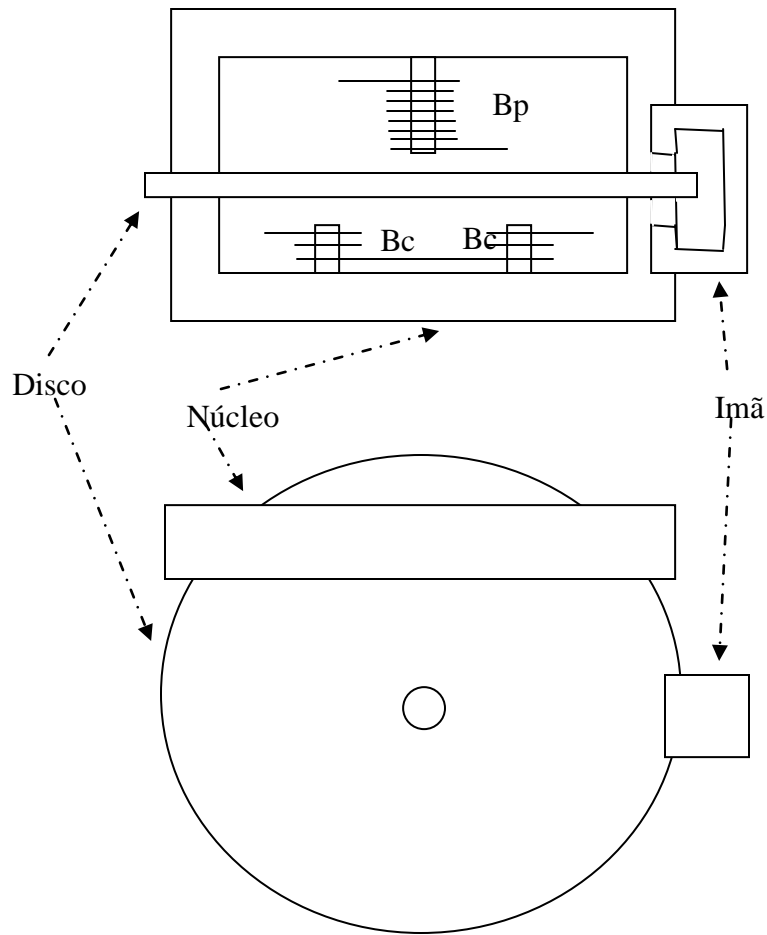


Figura 1: Representação do Medidor Tipo Indução [1]

Sabe-se que um condutor percorrido por uma corrente  $i$ , na presença de uma indução magnética  $B$ , fica submetido a uma força  $F$  cujo sentido é dado pela regra dos três dedos da mão direita e cujo módulo é dado por:

$$F = BiL\sin\alpha$$

onde  $L$  é o comprimento do condutor sob a ação da indução magnética  $B$  e  $\alpha$  é o ângulo entre  $B$  e a direção da corrente elétrica  $i$  no espaço. Este fenômeno é conhecido como fenômeno da interação eletromagnética.

O medidor tipo indução tem o conjugado motor originado do disco graças ao fenômeno da interação eletromagnética:

1 – O fluxo magnético  $\phi_v$  da bobina de potencial ao atravessar o disco de alumínio, nele induz correntes de Foucault  $i_v$ . A interação entre estas correntes  $i_v$  e o

fluxo  $\phi_i$  da bobina de corrente da origem a uma força  $e$ , consequentemente, a um conjugado em relação a M, fazendo girar o disco.

2 – Simultaneamente, o fluxo alternado  $\phi_i$  da bobina de corrente induz correntes de Foucault  $i_i$  no disco, conforme pode ser visto na figura. A interação entre estas correntes  $i_i$  e o fluxo  $\phi_v$  dá origem a outra força  $e$ , consequentemente, a outro conjugado em relação a M, fazendo girar o disco.

Dessa forma, haverá um conjugado resultante, que será a soma desses dois conjugados.

Como o disco pode girar em torno do seu eixo M, a sua velocidade será proporcional a potência da carga. Esta velocidade pode ser ajustada de tal modo que o número de rotações, durante um dado intervalo de tempo, seja proporcional a energia solicitada pela carga durante este intervalo de tempo. Assim o disco dará um certo número de voltas por Wh.

O movimento do disco é transmitido, por meio de um sistema mecânico de engrenagem, ao mostrador do instrumento que indicará em kWh, a quantidade de energia elétrica absorvida pela carga. O medidor de energia elétrica, quanto ao mostrador pode ser de dois tipos: ciclométrico ou ponteiro.

O tipo ciclométrico apresenta grande vantagem da facilidade de leitura para o empregado da concessionária encarregado deste trabalho. Entretanto, o seu sistema de engrenagens tem um maior atrito que o do tipo ponteiro, embora ambos fiquem dentro da classe de exatidão permissível pelas normas que regulamentam o assunto. É possível afirmar que do ponto de vista técnico o medidor tipo ponteiro oferece melhores condições, mas a escolha de um tipo ou de outro compete em particular a cada concessionária definir, tendo em vista o pessoal de que dispõe as suas condições e quantidade de consumidores.



Figura 2: Medidor Eletrolécânico Monofásico do tipo ciclométrico [5].

#### Considerações gerais sobre medidores

- 1) De acordo com a norma da ABNT-PB-182/72 os medidores monofásicos fabricados no Brasil estão atualmente padronizados nas seguintes grandezas:
  - a – Corrente nominal: 15 A;
  - b – Tensão nominal: 240 V ou 120 V.
- 2) Estes medidores nacionais, quanto aos mancais do conjunto móvel, são classificados em dois tipos :
  - a – tipo mancal mecânico( safira e pivot; safira e esfera; etc.): vida útil prevista em torno de 15 anos. Corrente máxima em regime permanente 60 A. Portanto, suportam uma sobrecorrente de 400%.
  - b – tipo mancal magnético (atração ou repulsão): vida útil prevista em torno de 30 anos. Corrente máxima em regime permanente de 100 A. Portanto, suportam uma sobrecorrente de 667%.
- 3) Na placa de identificação do medidor vêm indicados os valores nominais da corrente e da tensão, como também o valor da corrente máxima, referentes aquele medidor.
- 4) Como o registrador do medidor é do tipo acumulador, a quantidade de energia elétrica solicitada pela carga à instalação durante um determinado período de

tempo, um mês por exemplo, será a diferença entre a leitura no fim do período, chamada leitura atual, e a leitura do início do período, chamada de leitura anterior. Em alguns medidores esta diferença ainda deve ser multiplicada pela constante do registrador  $K$  chamada na prática de constante própria de multiplicação do medidor. Nos medidores monofásicos, quase sempre  $K = 1$ .

## **Medidores Trifásicos**

De acordo com o teorema de Blondel, a medição de energia elétrica em circuitos trifásicos, pode ser realizada mediante o emprego de dois ou três elementos, conforme seja o sistema de três ou quatro condutores, e a soma algébrica das suas indicações é a energia total absorvida pela carga. Diz-se soma algébrica porque pode haver um medidor com indicação negativa, embora a sua ligação esteja corretamente feita.

Entretanto, na prática, não se empregam medidores monofásicos em separado para medição de energia elétrica em circuitos trifásicos, e sem eles são agrupados numa mesma caixa e atuam sobre discos acoplados ao mesmo eixo, que aciona um mesmo sistema mecânico de engrenagens, cuja indicação no mostrador já será a energia total em kWh absorvida pela carga. Cada conjunto bobina de corrente bobina de potencial, toma nesta agrupamento o nome de elemento motor ou simplesmente elemento. Há, então, medidores trifásicos de dois e de três elementos.

Os elementos motores devem ser equilibrados, isto é, quando submetidos, separadamente, a uma mesma carga, devem produzir o mesmo conjugado motor sobre o conjunto móvel.



Figura 3: Medidores Eletromecânicos Polifásicos [5].

## 2.4. Descrição de um modelo de medidor moderno

Desde a invenção dos medidores eletromecânicos de energia elétrica até os dias atuais, diversas empresas fabricantes como a *Westinghouse*, *Nansen*, *ABB*, *Elster*, *General electric*, *Landis+Gyr*, etc, sempre buscaram soluções inovadoras e revolucionárias, na concepção desses medidores. Isto pode ser constatado no histórico da evolução destes medidores, abordado anteriormente neste trabalho. Sempre agregando modernas técnicas de produção e alta tecnologia de materiais de uso em engenharia, estabelecendo novas gerações de medidores.

Em todas as empresas fabricantes, pode ser observada a busca pelo desenvolvimento de medidores com as seguintes características: leveza, simplicidade, estabilidade, alto desempenho e com um mínimo de perdas, sendo esta última uma das mais importantes, tendo em vista as necessidades das concessionárias de energia elétrica de uma medição correta com o mínimo de erros.

Ao longo deste trabalho, foram abordados temas como a evolução dos medidores eletromecânicos, seu princípio de funcionamento e as partes essenciais que o compõem. Neste tópico do trabalho, será mostrado como exemplo, um dos mais modernos modelos de medidor, fabricado pela **Landis+Gyr**, com todas as suas características, descrição completa, detalhes construtivos e curvas características.

## **Medidor M12 da *Landis+Gyr***

### ***Descrição***

O M12 é um modelo de medidor de Wh de indução, monofásico, de 1 elemento (2 ou 3 fios), linha de carga, 120 V, 240 V ou 480 V; 50 Hz ou 60 Hz, com registrador ciclométrico, leitura primária e mancal de repulsão magnética, classe de exatidão 2.

Dentre as principais características do medidor monofásico M12, destacam-se:

- Baixo consumo do circuito de potencial;
- Grande exatidão de registro;
- Registrador com engrenagens de plástico auto-lubrificante, reduzindo fortemente o atrito;
- Vida útil elevada devido ao seu sistema de mancal de repulsão magnética;
- Base e bloco terminais formando uma única peça;
- Massa e volume reduzidos (massa com base plástica: 1,160 kg; massa com base metálica: 1,452 kg);
- Tampa do medidor em policarbonato, resistente a choques mecânicos;
- Simplicidade de manutenção;
- Tratamento químico especial em todas as partes metálicas;
- Elementos de potencial e de corrente formando um único circuito magnético;
- Dispositivos de calibração de fácil acesso;
- Todos os componentes confeccionados em plástico são resistentes à ação dos raios UV.

### ***Detalhes Construtivos***

#### ***Base e Bloco Terminal***

A base e o bloco terminal formam uma peça única, rígida, não inflamável, com elevada característica dielétrica. Injetada em plástico de engenharia de última geração, assegura ótima resistência a deformações e a choques mecânicos e térmicos. Na versão metálica a base do medidor é uma peça rígida, injetada em alumínio-silício desenhado para assegurar uma ótima resistência à deformação e à corrosão.

O bloco terminal é uma peça rígida, não inflamável, com elevada característica dielétrica, e injetada em policarbonato, assegurando as mesmas características do bloco em plástico de engenharia.

### ***Tampa do Medidor***

Confeccionada em policarbonato de alta resistência a choques mecânicos e raios UV. Oferece excelente transparência e proteção contra fraudes. Montada sobre uma gaxeta especial, não higroscópica, resistente a deterioração e que se encaixa de forma segura, impedindo a entrada de insetos ou corpos estranhos. Sua fixação à base é feita através de um sistema otimizado de encaixe, que utiliza pinos lacres ou selos, eliminando assim por completo o uso dos tradicionais parafusos. Na versão metálica a tampa poderá ser em policarbonato ou em vidro, a fixação à base é feita através de um sistema que utiliza 2 parafusos.

### ***Tampa Terminal***

A tampa terminal é injetada com o mesmo material da base e possui um sistema de travamento de fácil manuseio que dispensa parafusos de fixação. Sua retirada só é possível com o rompimento do dispositivo de selagem. A tampa do bloco terminal pode ser curta ou longa, de acordo com as especificações dos clientes.

### ***Elemento Motor ou Estator***



Destaca-se por ter os circuitos magnéticos de potencial e de corrente formando um único circuito. Esta característica lhe confere alta estabilidade e excelente desempenho.

### ***Núcleos***

Os núcleos são confeccionados com lâminas de aço-silício de alta permeabilidade magnética em baixa indução, montados e rebitados em gabaritos, a fim de garantir o perfeito alinhamento e rigidez do conjunto. Eles recebem pintura com alto grau de proteção contra oxidação.

### ***Bobina de Corrente***

Em número adequado ao circuito elétrico a ser medido, podendo ter 2 ou 3 fios. As bobinas de corrente são confeccionadas com fio de cobre esmaltado. Os terminais de corrente são feitos de latão, podendo ser estanhados de acordo com as especificações dos clientes. Os terminais possuem 2 parafusos de fixação dos cabos, que garantem a sua perfeita conexão, e admitem cabos de cobre ou alumínio de seção até 35 mm<sup>2</sup>.

### ***Bobinas de Potencial***

As bobinas de potencial dos medidores M12 são encapsuladas para maior isolamento, sendo, portanto recomendadas para uso em regiões com altos índices de descargas atmosféricas ou de umidade.

### ***Elemento Móvel ou Rotor***

Constituído de um eixo e disco de alumínio puro, unidos por meio de uma aleação especial que garante leveza e robustez ao conjunto.

### ***Disco***

O disco é fabricado em alumínio estampado e lavrado para maior rigidez mecânica, possuindo dois furos diametralmente opostos para evitar seu deslocamento sem carga e permitir a calibração por célula fotoelétrica. O disco possui marcas indeléveis que permitem sua utilização em diversos sistemas de aferição.

### ***Mancal de Repulsão Magnética***

Sistema desenvolvido pela Landis+Gyr, cujo mancal inferior é composto de 2 ímãs concêntricos confeccionados em terras raras, que possuem elevada força coercitiva. O ímã externo é preso à armadura e o interno faz parte do conjunto de eixo e disco. A interação mantém o elemento móvel em suspensão.

### ***Registrador e Placa de Identificação***

O registrador ciclométrico é composto por um pequeno número de engrenagens de alta precisão e leveza. O conjunto é dotado da mais moderna tecnologia mundial para registradores, com engrenagens de plástico especial auto-lubrificante e eixos de diâmetro reduzido, que proporcionam um baixíssimo atrito. O registrador é do tipo autoengrenável, permitindo o seu perfeito engrenamento ao sem fim do eixo do disco, sem necessidade de qualquer ajuste. O registrador também pode ser fornecido na versão unidirecional. O registrador ciclométrico pode ser fabricado com 4 ou 5 dígitos inteiros ou com 4 ou 5 dígitos inteiros mais um dígito decimal. A placa de especificações e a placa frontal do registrador compõem uma única peça confeccionada em alumínio. O tipo de letras e algarismos permitem rápida e fácil leitura. A placa contém espaços destinados ao registro dos dados do medidor, além de permitir a inclusão do logotipo e número de série do cliente.

### ***Armadura e Elemento Frenador***

A armadura é uma peça rígida estampada, feita de aço galvanizado, que assegura alta estabilidade mecânica. O elemento frenador é composto por dois ímãs de elevada força coercitiva. Os mesmos são montados em um suporte fixado rigidamente à armadura, garantindo alta estabilidade magnética e mecânica.

Na figura 11 é apresentada uma vista explodida deste modelo de medidor:

#### VISTA EXPLODIDA

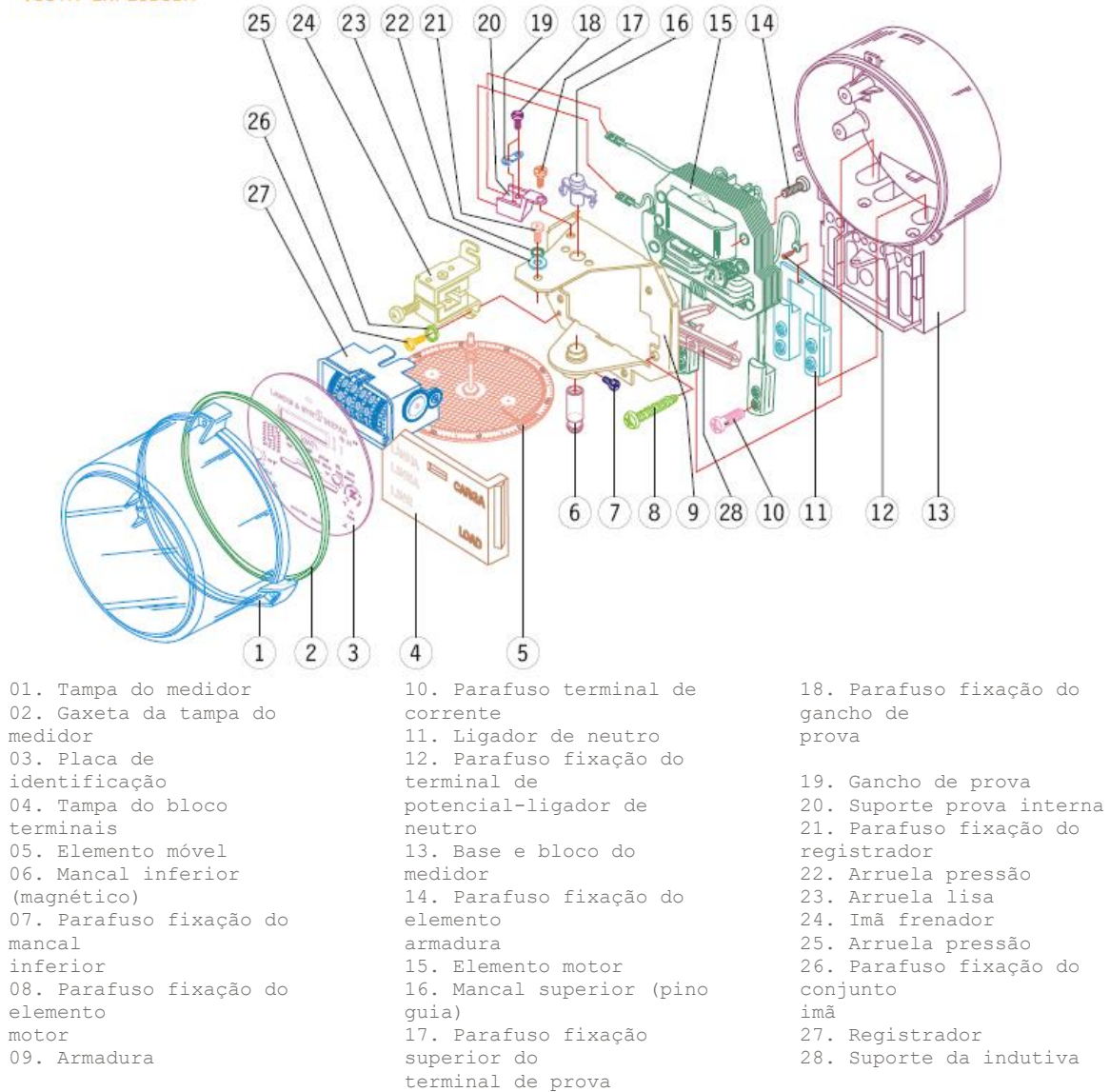


Figura 4: Vista Explodida do Medidor M12 da Landis+Gyr [11].

Na figura 5 podem ser observadas as curvas características do modelo de medidor apresentado neste tópico do trabalho.

Todos os gráficos foram obtidos baseando-se em valores médios de leituras.

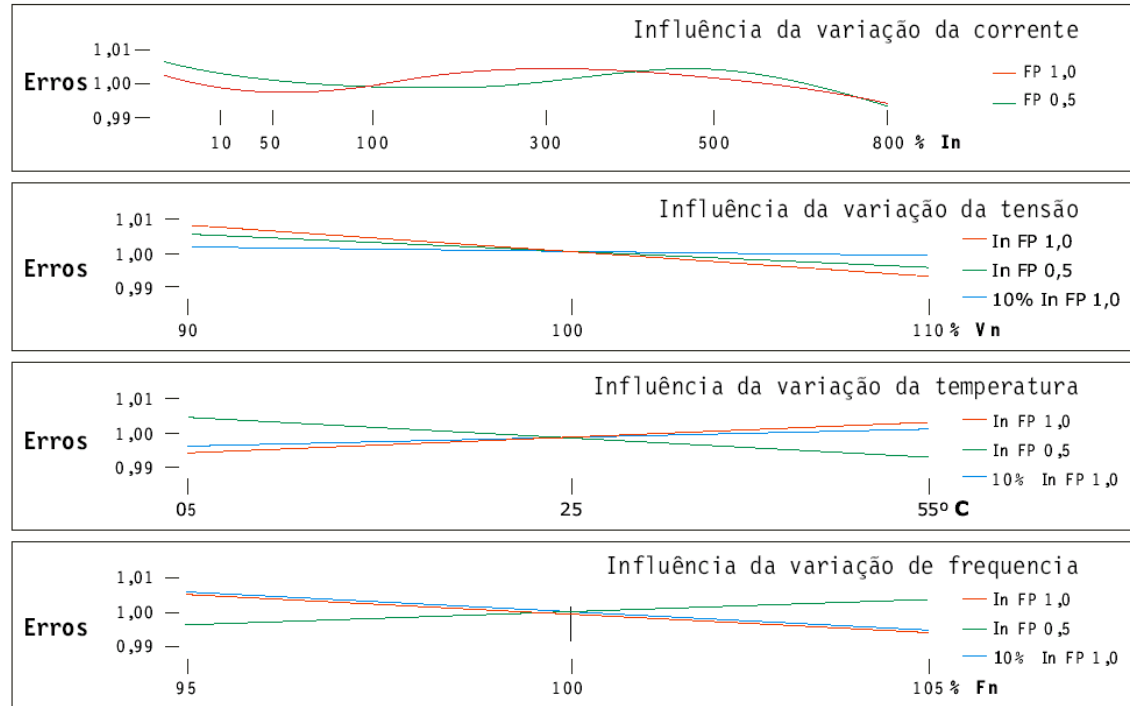


Figura 5: Curvas características do modelo M12 da Landis+Gyr [11].

### 3. Alternativas para melhoria dos medidores eletromecânicos de energia elétrica

#### 3.1. Substituição de materiais

Como relatado neste trabalho, desde sua concepção, até os dias atuais, poucas mudanças ocorreram na topologia original do medidor eletromecânico. Mas, em relação às suas partes significativas, pode se afirmar que, com o aperfeiçoamento das propriedades de alguns materiais, podemos utilizá-los, substituindo algumas partes do equipamento, melhorando assim seu desempenho.

Sem dúvida, o desenvolvimento de equipamentos eletroeletrônicos mais eficientes tem sido fruto de avanços da engenharia de materiais e dos recursos informáticos disponíveis. Particularmente, os avanços da engenharia eletroeletrônica pode ser creditada, em grande parte, às inovações no campo dos materiais.

Então, levando isso em consideração, será apresentado neste tópico do trabalho, a proposta de incorporação de novos materiais, como ímãs permanentes de samário-cobalto (SmCo) e neodímio-ferro-boro (NdFeB), nos medidores de energia elétrica do tipo eletromecânico (Luciano *et al.*, 1996).

## **Ímãs Permanentes**

Ímãs permanentes são materiais magneticamente duros, caracterizados por grandezas magnéticas peculiares como: indução remanente, campo coercitivo, energia volumétrica, temperatura Curie e temperatura máxima de funcionamento no ar.

Atualmente, existem quatro famílias de ímãs: os alnicos, os ferrites, os samário-cobalto e os neodímio-ferro-boro. Os alnicos, devido a elevada indução remanente, são os mais utilizados em instrumentos de medição. Os ferrites possuem baixa indução remanente; considerados de baixo custo, são utilizados em aplicações de massa, que não exigem qualidade excepcional.

Os ímãs à base de terras raras possuem propriedades bem superiores as dos alnicos e ferrites. A constância de sua imantação, mesmo sob fortes campos desmagnetizantes, torná-os ideais para o uso em aplicações de atração ou repulsão com campos eletromagnéticos, caso específico do elemento frenador no medidor.

Para poder ser discutida a substituição desses materiais que compõem o medidor com o objetivo de melhorar seu desempenho, é necessária uma breve discussão sobre as principais características do estator, do elemento frenador e dos mancais:

## **O estator: circuito de potencial e circuito de corrente**

O estator é formado por dois circuitos eletromagnéticos: o circuito de potencial e o circuito de corrente. A finalidade destes dois circuitos é gerar os fluxos magnéticos necessários ao estabelecimento do conjugado eletromagnético sobre o disco do medidor.

Idealmente, o circuito de potencial deveria apresentar as seguintes características:

- consumo próprio nulo;
- quando fabricado em série, gerar fluxo constante para o mesmo valor de tensão;
- curvas homogêneas de saturação e permeabilidade magnética e
- alto nível de isolamento, quer para tensões aplicadas, quer para surtos de tensão.

Na prática, entretanto, o circuito de potencial apresenta perdas próprias que precisam ser minimizadas. Estas perdas estão localizadas no núcleo, geralmente constituído de chapas de ferro-silício, justapostas e isoladas umas das outras, e na bobina de potencial, altamente indutiva, que deve ser ligada em paralelo com a carga.

O circuito de corrente, a exemplo do circuito de potencial, também é composto por um conjunto de lâminas de material ferromagnético, sobre o qual é envolvida a chamada bobina de corrente. Em geral, esta bobina é composta por duas meias bobinas, de fio grosso de cobre, enroladas em sentidos contrários.

## **Elemento frenador**

Segundo a NBR 8377, o elemento frenador é a parte do medidor, compreendendo um ou mais ímãs, destinada a produzir um conjugado frenador sobre o elemento móvel. Ainda segundo a norma citada, os ímãs devem ter acabamento que evitem ferrugem, corrosão, formação de escamas e devem ser fabricados com material que mantenha indução magnética inalterável com o tempo.

## **Mancais**

Na NBR 8377 os mancais são definidos como sendo conjunto de peças destinadas a manter o elemento móvel em posição adequada a permitir sua rotação. Recomendando que os mancais não devem produzir vibrações audíveis do elemento móvel, devem ser de fácil substituição e devem ser do tipo magnético para medidores monofásicos. Para medidores polifásicos, podem ser do tipo magnético ou convencional.

### **Proposta de aplicação de novos materiais**

Diante do desempenho das ligas amorfas e dos novos imãs permanentes em diversos equipamentos eletroeletrônicos (sensores, transdutores, servomotores, cabeçotes de leitura e gravação, blindagem magnética, fontes chaveadas, etc) parece oportuno propor o emprego destes novos materiais em medidores de energia elétrica, em substituição aos tradicionais ferro-silício (no estator), alnicos e ferrites (mancais de suspensão e elemento frenador).

Atualmente, os imãs permanentes mais utilizados nos mancais magnéticos são os cerâmicos (nos mancais de repulsão) e os sintetizados (nos mancais de suspensão).

No elemento frenador, os mais utilizados são os alnicos V, moldados em liga de alumínio. Tem-se que os alnicos apresentam induções remanentes mais elevadas em relação aos ferrites. Entretanto, seu campo coercitivo é bastante baixo, caracterizando-os como suscetíveis aos campos desmagnetizantes, o que já ocorre com os imãs a base de terras raras.

Segundo Luciano, a substituição dos materiais convencionados por novos materiais é uma decisão que precisa ser avaliada levando-se em conta não somente o custo inicial, como também outros parâmetros, entre os quais a vida útil, a qualidade e a confiabilidade do equipamento. No que toca ao custo inicial, em particular, este pode ser levado numa primeira etapa.

Entretanto, quando se leva em conta a tendência de queda nos preços desses novos materiais e que a vida útil dos medidores de energia é de algumas décadas, a

inovação proposta contínua sendo razoável. Até porque, ao longo dos anos, tem-se observado uma melhoria de desempenho dos equipamentos eletroeletrônicos com a introdução de novos materiais, mesmo que isto não implique mudanças substanciais em termos de seus projetos originais ou venha trazer modificações substanciais em suas linhas de montagens na fabricação em série.

### **3.2. Medição por leitura Remota**

Neste tópico do trabalho é apresentada outra inovação proposta aos medidores eletromecânicos. Trata-se da medição por leitura remota (Tian-Yew e Tat-Wai, 2001), e consiste basicamente em converter o movimento de rotação do disco mecânico do medidor eletromecânico de kWh em um sinal digital por intermédio de um sensor ótico que detecta um marcador no disco.

Desta forma, o medidor de kWh é adaptado e não precisa ser deslocado, e é assegurado aos consumidores um mínimo de corte de energia.

O sistema de medição por leitura remota, foi projetado e construído pela EN (European Norm) 50065-1, e publicado num artigo da revista *Ciência e Engenharia (Science & Engineering Journal)*.

Tem-se que um sensor ótico é usado para converter o movimento eletromecânico do disco do medidor em sinais digitais. Pode ser observado na figura 4, o princípio de conversão, onde um pulso seria gerado quando o marcador do disco de medição é detectado a cada volta.



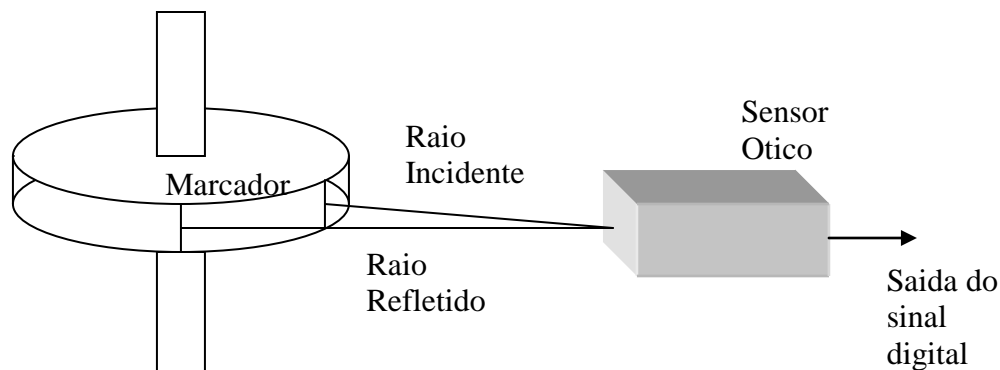


Figura 6: Medição por Leitura Remota [3]

Esta adaptação apresenta várias vantagens e facilidades, pois a implementação do circuito do sensor no medidor é fácil, o custo é baixo e assim elimina a substituição de medidores de confiança e robustos de kWh. Além disso, o circuito do sensor é acoplado na carcaça externa do medidor, então não terá nenhuma interrupção de energia durante a instalação. Esses circuitos do sensor são alimentados através do RCB (*Remote Controller Boards*) e também envia sinais digitais para o mesmo.

O sistema incorpora ainda um diodo emissor de luz (LED) no circuito do sensor e outro no RCB para cada circuito. Alterações nos sinais e potência nos cabos podem ser monitoradas, pois se os LEDs não estiverem acesos, significa que os cabos estão cortados. Isso garante uma maior segurança do sinal.

Esta proposta demonstra ser de grande utilidade e inovação na medição de energia elétrica, no caso de medidores eletromecânicos. Pois como sabemos, a empresa concessionária ao contrário do consumidor, somente verifica o consumo de energia nas residências, uma vez por mês, quando o seu empregado leiturista faz a leitura, e isto requer precauções especiais. Então, com a implementação deste dispositivo, facilitaria bastante a leitura pelo empregado, como também aumentaria a sua exatidão.

### **3.3 Acoplamento de um sistema embarcado para aquisição de curva de carga para consumidores**

Neste tópico do trabalho é apresentada uma adaptação demonstrada no artigo “Sistema de aquisição de curva de carga para consumidores residenciais baseado em microcontroladores”, Costa *et al.* [4], e tem como objetivo mostrar a curva real de consumo de energia elétrica ativa individualizada ao longo do mês. Um conhecimento real do consumo de energia elétrica individual e com uma resolução de tempo menor, da ordem de minutos, em vez de mensal, propicia a companhia distribuidora uma melhor estratégia de planificação da sua demanda em tempo real de consumo.

No artigo citado, é proposto um sistema capaz de obter o gráfico de consumo diário de energia elétrica de consumidores residenciais, com o mínimo de custos adicionais. Este sistema é baseado na implementação de um dispositivo eletrônico nos medidores convencionais eletromecânicos capazes de medir, de forma sistemática, o consumo a cada cinco minutos. Adicionalmente, o valor do consumo medido, é armazenado em uma memória não volátil, para transferência, por comunicação infravermelho, a um módulo coletor de dados, para análise estatística posterior, em ambiente computacional.

Esse sistema eletrônico embarcado pode ser adicionado em medidores eletromecânicos convencionais, monofásicos e trifásicos, tornando-os capazes de fornecer informações que vão além da simples indicação do consumo, tais como: consumo com resolução temporal, indicação de falta de energia e respectivo horário da ocorrência, indicação dos horários de consumos máximos e mínimos nas curvas de carga.

#### **Descrição do Sistema**

O sistema desenvolvido para a obtenção da curva de carga em sistemas elétricos e composto de dois módulos distintos, que interagem entre si.

Um módulo embarcado, dentro de um medidor eletromecânico - medidor - e outro utilizado por um operador para coletar os dados em campo-coletor.

Os módulos se comunicam por conexão sem fio, mediante o emprego de infravermelho no padrão IrDA, a uma taxa de 48 kbits/s, utilizando um protocolo de transmissão no qual os dados são transmitidos em pacotes com a adição de um código para verificação de erros.

## Módulo do Medidor

As funções do módulo medidor são: contar o número de rotações que o disco efetuou dentro de um intervalo de tempo, registrar a ocorrência de falta de energia elétrica no sistema e por quanto durou esta falta, salvando essas informações em memória não-volátil. Ele foi desenvolvido para operar dentro de um medidor eletromecânico de energia. Por este motivo, possui dimensões reduzidas, alimentado pela própria rede elétrica e é dotado de um microcontrolador, uma memória eeprom serial, um relógio em tempo real, um sensor reflexivo e um transceptor optico padrao IrDA, conforme mostrado na figura 7.

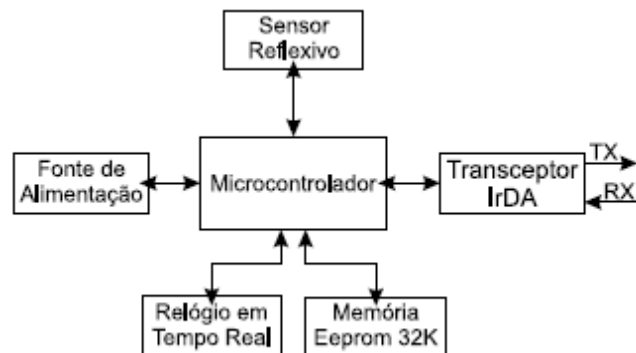


Figura 7: Diagrama em blocos do módulo medidor [4].

Para contar as rotações que o disco efetua, o módulo foi colocado dentro do medidor em um espaço livre abaixo do disco com o sensor reflexivo apontado para a face do disco. Sob o disco, foi pintada uma faixa preta e a cada passagem desta pela mira do sensor, um contador é incrementado. Ao final do tempo estabelecido, o valor do contador é salvo na memória e o contador é zerado.

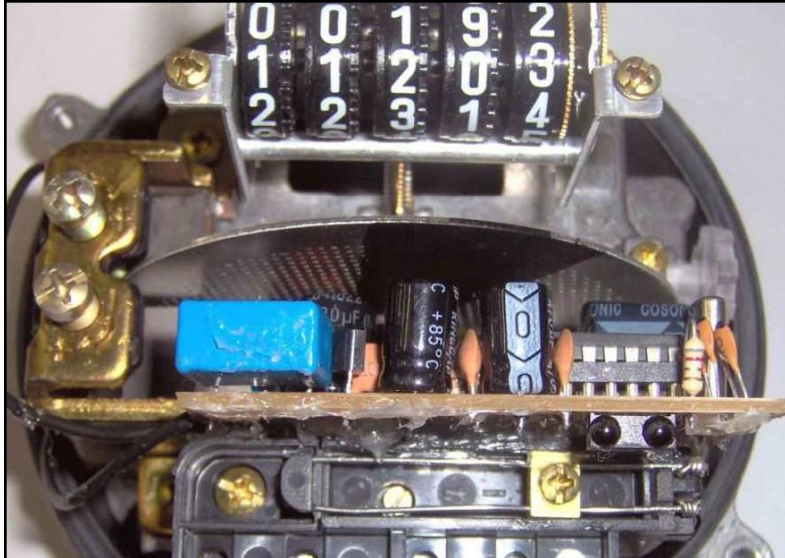


Figura 8: Protótipo do módulo medidor em funcionamento dentro de um medidor eletromecânico [4].

O módulo tem autonomia de três meses, podendo efetuar leituras pontuais a cada cinco minutos, sendo limitada somente pelo tamanho da memória. Após este tempo, os dados são sobrescritos.

Na ocorrência de falta de energia, o módulo medidor é desligado, exceto o relógio em tempo real, que é mantido em funcionamento por um capacitor 1000  $\mu$ F, capaz de manter o relógio em funcionamento por seis horas. Quando o sistema é novamente iniciado e registradas na memória a data e hora do retorno, sendo, desta forma, possível detectar a existência de falhas e a duração das mesmas.

## **Módulo do Coletor**

O módulo coletor foi desenvolvido com a função básica de coletar os dados do módulo medidor. O módulo coletor deve ser capaz de coletar os dados de vários medidores, de forma rápida e com baixa probabilidade de erro. O módulo coletor efetua também, as modificações da configuração necessárias no módulo medidor, tais como: sincronismo e verificação de hora, verificação e modificação do número de série e apagamento da memória.

O módulo coletor, é dotado de um microcontrolador, um *display* de LCD, um teclado matricial, uma interface RS332, um transceptor ótico, um relógio em tempo real e um cartão de memória do tipo SD/MMC. Após a coleta em campo, os dados são transferidos para um computador, via interface RS232.

## **Sistema de Comunicação**

A comunicação do módulo coletor com o medidor é feita pelo envio de pacotes de dados. Cada pacote é constituído de um *byte* de cabeçalho, oito *bytes* de dados e um *byte* de CRC.

Toda a comunicação é iniciada pelo módulo coletor e o módulo medidor apenas responde aos comandos enviados pelo primeiro. Ao envio de um comando, ou seja, um pacote, o módulo medidor verifica a validade do pacote fazendo uma comparação entre o CRC gerado localmente e o que foi recebido.

Se o comando for válido o módulo medidor envia uma resposta ao comando recebido. Se ocorrer falhas na comunicação, os módulos não recebem, ou recebem um pacote truncado, ou com ruído, após um determinado tempo, tentativas sucessivas são feitas pelo módulo coletor até que se receba uma resposta ou um número de tentativas mal sucedidas seja atingido.

Devido a inexistência de uma interface IrDA no microcontrolador uma interface de comunicação IrDA teve que ser construída em *software*.

A outra solução seria utilizar um circuito integrado dedicado capaz de fazer a conversão do padrão IrDA para o padrão RS232, que existe no microcontrolador. Entretanto optou-se pela primeira solução por apresentar menor custo.

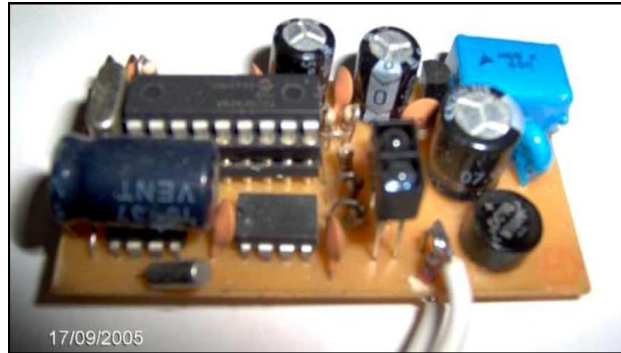


Figura 9: Módulo do Medidor [4]



Figura 10: Módulo do Coletor [4]

Pode ser observado no gráfico da figura 11, o exemplo de uma curva de carga correspondente a um dia:



Figura 11: Exemplo de uma curva de carga durante um dia de medição [4].

Embora o sistema tenha sido desenvolvido para consumidores residenciais, com pequenas modificações, é possível estender o seu uso para a aquisição de curvas de

cargas de consumidores industriais ou cargas secundárias alimentadas por transformadores de distribuição, Costa *et.al.* [4].

### **3.4 Leitura automatizada de medidores eletromecânicos de energia elétrica**

Neste tópico do trabalho é comentada uma tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que tem como principal objetivo, abordar o projeto conceitual de um sistema aplicado a leitura automatizada de medidores de consumo de energia elétrica eletromecânicos, residenciais, monofásicos, com transdutores por indução acoplados a registradores mecânicos ciclométricos, como forma de explorar conceitos voltados para o propósito de contribuir para a evolução deste tipo de medidor e de outros medidores semelhantes aos quais seja possível estender essa evolução, compondo esforços que busquem a solução dos atuais problemas existentes, com especial destaque a automatização dos atuais processos que envolvem a aquisição dos dados de consumo de energia elétrica registrados pelos medidores e o combate às fraudes, sendo este sistema denominado de Sistema Automatizado para Leitura de Medidores Eletromecânicos (SALME).

Este sistema separa o medidor em duas unidades: uma destinada à medição de consumo e outra destinada à visualização dos dados referentes à leitura do medidor.

Neste sistema, a leitura do medidor é automatizada, de forma que a aquisição dos dados de leitura do consumo pode ser realizada no âmbito da via pública, por meio do uso de coletores de dados ou por interligação a sistemas de comunicação que utilizam redes de longa distância. Para a comunicação com os coletores de dados, é prevista a utilização da radiação infravermelha como meio de comunicação sem fio.

A automatização da leitura dos medidores é fundamentada no conceito de leitura eletrônica do registrador mecânico ciclométrico, sendo exploradas abordagens que envolvem: a conversão optoeletrônica analógica, a aquisição e o processamento de imagens, e a conversão optoeletrônica digital.

Nos medidores eletromecânicos, há dois pontos de relevância, a leitura e o combate à fraude, aos quais estão relacionadas circunstâncias problemáticas com as seguintes características fundamentais:

1. A necessidade de leituras periódicas, não automatizadas nas unidades consumidoras, para emissão de faturas referentes às cobranças dos consumos de energia elétrica;
2. As dificuldades inerentes à leitura desses medidores, como a leitura visual humana ou ainda o difícil acesso aos medidores;
3. Combate à fraude.

Este trabalho foi desenvolvido a partir deste quadro que substancialmente aponta problemas pertinentes a aquisição de dados referentes à leitura dos medidores, à integração com sistemas de leitura de medidores e ao combate a fraude.

Foram exploradas alternativas conceituais com base nas seguintes diretrizes:

1. Implementação de circuitos com microprocessador e meios de comunicação nos medidores, voltados para a realização da leitura automatizada do medidor, para a integração do medidor com sistemas de leitura de medidores e para o combate à fraude;
2. Automatização da leitura dos medidores fundamentada na leitura eletrônica dos registradores mecânicos ciclométricos, sendo abordada a conversão optoeletrônica analógica, a aquisição e processamento de imagens, e a conversão optoeletrônica digital;
3. Aquisição automatizada dos dados referentes à leitura dos medidores utilizando a radiação infravermelha como meio de comunicação sem fio;
4. Utilização do conceito de sistema distribuído, voltado para o combate à fraude, onde o medidor é separado em duas unidades, sendo uma destinada à medição e a outra à visualização da leitura eletrônica do registrador



mecânico, estando essas interligadas por rede de comunicações que permita a instalação dessas unidades em locais fisicamente separados (ex: a primeira em poste da concessionária e a segunda na unidade consumidora), de forma a combater a fraude;

5. Ligação de circuitos destinados à leitura eletrônica dos medidores somente nos momentos das leituras dos equipamentos, permanecendo esses circuitos desligados durante o restante do tempo.

Este sistema é constituído, entre outros elementos, por três tipos de equipamentos:

1. O Terminal de consulta (TRMC);
2. O Medidor Modular de Consumo de Energia Elétrica (MMCE);
3. O Coletor de Dados (COLD).

## **O Terminal de Consulta (TRMC)**

Na concepção de arquitetura do SALME, o medidor foi separado em duas unidades, uma destinada para medição do consumo e outra para visualização dos dados referentes à leitura do medidor, sendo estas unidades interligadas por meio de rede de comunicação de dados. O terminal de consulta é aquela destinada à visualização dos dados referentes à leitura do medidor, exercendo a função de interface homem-máquina, necessária para as respectivas aplicações nas unidades consumidoras.

Os dados apresentados pelo TRMC são oriundos da leitura eletrônica do registrador mecânico ciclométrico existente no MMCE, sendo que este último, realiza a leitura eletrônica em questão e envia os respectivos dados para o primeiro. Essa transferência de dados é realizada por meio da utilização dos procedimentos do protocolo de comunicação entre o terminal e o medidor, cujo meio de comunicação são condutores elétricos, sendo adotada para a camada física o padrão EIA-485. Quanto ao fornecimento de energia para o TRMC, essa poderá ser obtida a partir da rede elétrica existente nas instalações da unidade consumidora ou então a partir do MMCE.

## **Medidor Modular de Consumo de Energia Elétrica (MMCE)**

Como foi visto, o medidor foi separado em duas unidades: uma destinada à medição do consumo e outra para a visualização dos dados, sendo que a primeira é o medidor modular de consumo de energia elétrica.

O MMCE além de realizar a medição, também pode realizar a função de concentrador de dados, sendo ponto de integração do SALME com os sistemas de leitura de medidores parcialmente automatizados ou com os sistemas de leitura automática de medidores, ou seja, um MMCE poderá concentrar os dados referentes às leituras de outros MMCE, e transmiti-los ao coletor de dados ou ao sistema computacional para centralização dos dados de leitura de medidores pertencentes ao sistema.

Pertinente a essa função de concentrador de dados, os MMCE deverão ser agrupados em conjuntos com até oito unidades, sendo cada conjunto instalado no âmbito da via pública, dentro de uma caixa fixada no poste da concessionária.

Ainda neste equipamento, é necessário apresentar como ocorre a leitura eletrônica do registrador ciclométrico.

Um transdutor para leitura eletrônica (TLE) é aplicado na realização da leitura eletrônica do registrador mecânico ciclométrico, tendo por função converter sinais ópticos em eletrônicos, de maneira a permitir que seja realizada a leitura eletrônica de um dígito do registrador em questão. Esse transdutor é o elemento fundamental a ser acrescentado no registrador mecânico, para permitir a realização da respectiva leitura eletrônica.

Existem três propostas para implantação desses transdutores:

1. TLE por conversão optoeletrônica analógica: nesta proposta, são utilizados fotodiodos para a detecção de tons de cinza. Ou seja, o cilindro graduado do registrador mecânico cilométrico, deverá ser modificado de maneira a apresentar na sua face curva, uma estampa padronizada em tons de cinza, com todas as tonalidades, onde os limites são as cores branca e preta. Dessa forma, as diferenças entre os padrões de tons de cinza, provocam diferentes respostas nas saídas dos detectores ópticos, permitindo a

correta funcionalidade do transdutor. Sendo assim, cada tonalidade representará um dígito que vai de 0 a 9.

2. TLE por aquisição e processamento de imagens: nesta proposta, explora a aquisição e o processamento de imagem dedicados ao reconhecimento de padrões em código de barras, realizada por meio do uso de sensores arranjos linearmente, os quais constituem um conjunto de fotodiodos dispostos em forma contínua e linear, formando uma matriz linha.

3. TLE por conversão optoeletrônica digital: explora a conversão optoeletrônica digital, utilizando chaves ópticas. Essas chaves possuem um emissor e um receptor de luz, mecanicamente alinhados entre si, que permitem detectar a presença de obstáculo por meio da interrupção do feixe de luz existente entre o emissor e o receptor em questão.

## **Coletor de Dados (COLD)**

O coletor de dados é um equipamento portátil destinado a realização de comunicação com MMCE, para aquisição dos dados referentes às leituras das medições dos consumos, sendo esses dados armazenados no coletor em questão, para serem transferidos aos sistemas computacionais para centralização de dados de leitura de medidores.

Então os dados são transferidos dos MMCE para os respectivos coletores de dados, e desses para o sistema computacional centralizado, que os reunirá, introduzindo-os no banco de dados que serão utilizados para emissões das faturas correspondentes as cobranças dos consumos.

Esta comunicação entre o MMCE e o COLD, é realizada sob os procedimentos do protocolo de comunicação entre medidor e coletor, utilizando-se a radiação infravermelha como meio de comunicação sem fio, de forma a permitir que a respectiva aquisição seja efetuada em campo, com o COLD sendo operado proximamente ao MMCE com o qual deverá estabelecer comunicação.

O COLD é um microcomputador portátil que deverá pertencer ao sistema de leitura de medidores parcialmente automatizado, devendo esse equipamento, possuir

hardware e software necessários para realizar as funções. Ele é composto da integração entre um microcomputador portátil e um conversor optoeletrônico digital, sendo interligados por interface EIA-232, cujo cabo utilizado para a conexão deverá possuir, além dos condutores utilizados para as comunicações, outros condutores específicos, para levar energia elétrica do microcomputador para o conversor, Bizarria [10].

## 4. Medidores Eletrônicos

No último tópico deste trabalho, será discutido um pouco sobre os medidores eletrônicos, sobre como vem sendo sua atuação no mercado, e também fazer uma comparação com o medidor eletromecânico, mostrando o principal motivo pelo qual não foi, ainda, substituído.

Os medidores eletrônicos vêm ao longo dos últimos anos alcançando cada vez mais seu espaço no mercado, principalmente no setor industrial, onde a medição de energia elétrica é bem mais detalhada. Pude constatar durante um estágio, na zona industrial da França, que na sua grande parte, são utilizados medidores eletrônicos, devido as suas utilidades diante das necessidades do setor industrial, e já se observa também o uso de medidores eletrônicos com disjuntores acoplados, que é também outra inovação decorrente da necessidade do setor.

Por outro lado, em se tratando de medidores eletromecânicos, estes são ainda bastante utilizados no setor residencial, pois o tempo de vida para utilização sem substituição dos eletromecânicos é de 30 anos, enquanto para os eletrônicos, é de 4 e 5 anos.

No Brasil, existem aproximadamente 40 milhões de residências com energia elétrica, portanto, a substituição dos atuais medidores eletromecânicos pelos eletrônicos movimentaria algo em torno de US\$ 2,8 bilhões (levando-se em conta um preço de US\$70 cada). O valor unitário desses medidores eletrônicos varia entre US\$ 70 e US\$ 150, cerca de quatro vezes o valor dos atuais. É um custo muito alto, mas o que as empresas fabricantes alegam é que as vantagens tecnológicas acabam compensando e cobrem rapidamente os gastos que terão que ser feitos pelas empresas concessionárias.

Como exemplo destes medidores, pode-se citar os também conhecidos medidores de energia inteligentes dotados de chips programáveis, para o segmento residencial, desenvolvidos pelo Procomp, o mesmo fabricante das urnas eletrônicas.



Figura 12: Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica [6]

Por outro lado, podem-se citar os medidores eletrônicos de Ah, para faturamento de consumo elétrico em pequenos consumidores, baseado na medição de corrente do consumidor. Esta é uma solução de baixo custo para garantir o *pay-back* às empresas, visto que a receita obtida a partir da venda de energia para estes consumidores, restringe os investimentos necessários para a compra e instalação de medidores convencionais de energia.



Figura 13: Medidor Eletrônico de Ampère-hora [6]

Na tabela 1 é apresentada uma comparação entre os sistemas baseados em medição eletrônica, e os sistemas com medidores eletromecânicos.

| <b>Sistemas com medição eletrônica</b>  | <b>Sistemas com medidores eletromecânicos</b>   |
|---|---|
| Várias grandezas no mesmo instrumento   | Um instrumento para cada grandeza   |
| Leituras instantâneas diretas permitem o registro histórico de todas as grandezas elétricas | Valores precisam ser processados, e não podem ser usados em manutenção preventiva.      |
| Demanda e Fator de Potência instantâneos  | Demanda e Fator de Potência projetados  |
| Leituras de tensão e corrente por fase  | Não informa valores de tensões e correntes  |
| Leituras de potências por fase  | Não informa valores de potência   |
| Leituras de Distorções Harmônicas   | Não informa valores de distorções harmônicas  |
| Leituras de consumos acumulados (ativo e reativo)   | Valores de consumos devem ser acumulados pelo sistema de gerenciamento                  |
| Consistência dos dados é total (inclusive dos acumuladores)                                 | Consistência pode ser quebrada por falta de energia nos diversos componentes do sistema |
| Leituras detalhadas auxiliam a conferência da ligação do próprio medidor                    | Requer muita experiência para garantir a correta ligação dos medidores                  |
| Instalação simplificada (rede serial RS-485 com um par de fios apenas)                      | Cabos de cada ponto de medição devem ser levados até a CPU central                      |
| Menor número de componentes (apenas os medidores e o gerenciador)                           | Vários componentes adicionais (emissores de pulsos, placas de entradas, etc.)           |
| Maior confiabilidade e precisão (até 0,2%)  | Partes móveis diminuem a precisão (entre 1 e 2%)  |
| Calibração única (na fábrica)   | Necessidade de calibrações periódicas   |

Tabela 1: Dados comparativos (Elaboração própria)

Pode ser observado na tabela 1 que os medidores eletrônicos, apresentam várias vantagens em relação aos medidores eletromecânicos. Porém, seu valor no mercado ainda é muito alto, o que tem sido um aspecto a se pensar, em se tratando de seu uso no lugar dos medidores convencionais.

## 5. Conclusão

Pode-se concluir, ao final deste trabalho, que os medidores eletromecânicos ainda são bastante utilizados na medição de energia elétrica, em maior parte no setor residencial, e que ainda continuarão a serem utilizados por um bom tempo devido as suas características como sua simplicidade, robustez e baixo custo.

As empresas fabricantes continuam buscando soluções inovadoras com o objetivo de aperfeiçoá-los, sempre agregando modernas técnicas de produção e alta tecnologia de materiais de uso em engenharia, estabelecendo novas gerações de medidores.

Como exemplo da forte atuação dos medidores eletromecânicos, posso citar minha experiência, durante um intercâmbio na França, de duração de um ano, onde inclusive, fiz um estágio no setor industrial. Pude constatar que, não só apenas no Brasil, os medidores tipo indução são ainda largamente utilizados na medição de energia elétrica no setor residencial.

No decorrer deste trabalho, foram citadas algumas inovações para melhorar o desempenho dos medidores eletromecânicos, visando evitar o seu desuso, e também um quadro comparativo entre os medidores eletromecânicos e os seus possíveis substitutos, os eletrônicos.

Percebem-se as inúmeras vantagens dos medidores eletrônicos, mas em termos de custo, os eletromecânicos ainda compensam.



## 6. Referências

- [1] Medeiros Filho, S. (1997). *Medição de Energia Elétrica*, Rio de Janeiro: Guanabara Dois.
- [2] Luciano, B. A., Morais, M. E. e Kiminami, C. S. (1996). Novas alternativas de materiais para medidores de energia e transformadores, *Revista Eletricidade Moderna* (264): 50-62.
- [3] Tian-Yew, L. e Tat-Twai, C. (2001). Refurbish existing kWh meters for remote meter reading via low voltage power lines, *Revista Ciencia & Engenharia (Science & Engineering Journal)* (264):10-12.
- [4] Costa, B. B., Lira, J. G. A., Freire, R. C. S., Luciano, B. A., Macedo, A. E., Sistema de Aquisição de Curva de Carga para Consumidores Residenciais Baseado em Microcontrolador, CBA, 2006.
- [5] Site de internet [www.procomp.com.br](http://www.procomp.com.br) , acessado em agosto de 2006.
- [6] Site de internet [www.nansem.com.br](http://www.nansem.com.br) , acessado em agosto de 2006.
- [7] Site de internet [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br) , acessado em agosto de 2006.
- [8] Site de internet [www.fae.com.br](http://www.fae.com.br) , acessado em agosto de 2006.
- [9] Site de internet [www.cepel.br](http://www.cepel.br) , acessado em agosto de 2006.
- [10] Bizarria, J.W.P., Leitura automatizada de medidores de consumo de energia elétrica eletromecânicos, Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia, São Paulo, 2006.
- [11] Site de internet [www.landisgyr.com.br](http://www.landisgyr.com.br) , acessado em novembro de 2006.
- [12] Site de internet [www.westinghouse.com](http://www.westinghouse.com) , acessado em novembro de 2006.
- [13] Site de internet [www.watthourmeters.com.br](http://www.watthourmeters.com.br) , acessado em novembro de 2006.
- [14] Site de internet [www.elster.com.br](http://www.elster.com.br) , acessado em novembro de 2006.
- [15] Site de internet [www.abb.com.br](http://www.abb.com.br) , acessado em novembro de 2006.
- [16] Site de internet [www.tec.abinee.org.br/arquivos/241.pdf](http://www.tec.abinee.org.br/arquivos/241.pdf) , acessado em novembro de 2006.