



Redução de Perdas Técnicas Resultantes da Adoção de Medidores Eletrônicos de Energia para Pequenos Consumidores: comparação com os medidores eletromecânicos

Celso Fabrício de Melo Júnior¹, Paulo Vinícius Valois², João Acyr Bonat Júnior³, Marcelo Fressato⁴

¹ COPEL, Curitiba, Brasil, celso.melo@copel.com

² COPEL, Curitiba, Brasil, paulo.valois@copel.com

³ COPEL, Curitiba, Brasil, bonat@copel.com

⁴ COPEL, Curitiba, Brasil, marcelo.fressato@copel.com

Palavras-chave

Medição de energia; Medidor eletrônico de energia; Perdas técnicas

Resumo

A medição de energia vem sofrendo uma mudança tecnológica com a introdução dos medidores eletrônicos. Estes já são amplamente usados nos consumidores do grupo A onde a medição de outros parâmetros além da energia ativa é necessária. Neste caso a flexibilidade inerente dos sistemas digitais de medição é imbatível.

Na medição de pequenos consumidores o cenário é diferente. A introdução de medidores eletrônicos vem ocorrendo de forma lenta, uma vez que características como robustez, economicidade, durabilidade e facilidade de manutenção têm um peso muito grande. Aqui, a capacidade do medidor eletrônico de incorporar novas funções não tem o mesmo valor, considerando a presente realidade do mercado de medição nacional.

Alguns defensores da nova tecnologia atribuem-lhe como vantagem a maior sensibilidade do medidor eletrônico o que permitiria iniciar o registro de energia com correntes menores, ou seja, eles teriam uma menor corrente de partida, e também um menor consumo próprio. Estas duas características levariam a uma redução das perdas técnicas inerentes ao sistema de medição.

O presente estudo visa lançar uma luz sobre estes aspectos dos medidores eletrônicos comparando alguns modelos com os modelos de medidores eletromecânicos comumente aplicados no Brasil. 28 exemplares foram ensaiados, 14 eletromecânicos e

14 eletrônicos. Determinou-se o seu erro em condições de carregamento pequeno, próximo da corrente de partida e o valor desta corrente. Além disto foi determinado o consumo próprio destes medidores. Ao final do trabalho os dados são comparados e são apresentadas considerações sobre os resultados obtidos.

1. Introdução

A medição de energia vem sofrendo uma mudança tecnológica com a introdução dos medidores eletrônicos. Estes já são amplamente usados nos consumidores do grupo A onde a medição de outros parâmetros além da energia ativa é necessária. Neste caso a flexibilidade inerente dos sistemas digitais de medição é imbatível.

Na medição de pequenos consumidores o cenário é diferente. A introdução de medidores eletrônicos vem ocorrendo de forma lenta, uma vez que características como robustez, economicidade, durabilidade e facilidade de manutenção têm um peso muito grande. Aqui, a capacidade do medidor eletrônico de incorporar novas funções não tem o mesmo valor, considerando a presente realidade do mercado de medição nacional.

Alguns defensores da nova tecnologia atribuem-lhe como vantagem a maior sensibilidade do medidor eletrônico o que permitiria iniciar o registro de energia com correntes menores, ou seja, eles teriam uma menor corrente de partida, e também um menor consumo próprio. Estas duas características levariam a uma redução das perdas técnicas inerentes ao sistema de medição.

O presente estudo visa lançar uma luz sobre estes aspectos dos medidores eletrônicos comparando alguns modelos com os modelos de medidores eletromecânicos comumente aplicados no Brasil.

2. Desenvolvimento

2.1. Objetos do estudo

Foram objetos deste estudo os medidores monofásicos, tensão nominal de 120 V, corrente nominal de 15 A e corrente máxima de 100 A, apresentados na tabela 1. Todos os medidores estavam devidamente calibrados e em conformidade com os requisitos de exatidão da respectiva classe.

Os resultados aqui apresentados foram obtidos em ensaios conduzidos no Laboratório de Medição da COPEL em Curitiba. No laboratório a temperatura é controlada em $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e a umidade relativa do ar é inferior a 85 %.

Tabela 1 – Descritivo dos medidores ensaiados

Amostra	Quant	Mecanismo	Kd [Wh/pulso]	Mostrador	Classe exatidão
1	02	Indução	1,8	Ponteiros	2
2	01	Indução	1,8	Ciclométrico	2
3	02	Indução	1,8	Ciclométrico	2
4	01	Indução	1,8	Ciclométrico	2
5	02	Indução	1,8	Ponteiros	2
6	01	Indução	1,8	Ciclométrico	2
7	02	Indução	1,8	Ponteiros	2
8	02	Indução	1,8	Ciclométrico	2
9	01	Indução	1,8	Ponteiros	2
11	02	Eletrônico	1,25	Ciclométrico	1
12	02	Eletrônico	1,25	Cristal líquido	1
13	02	Eletrônico	0,625	Ciclométrico	1
14	02	Eletrônico	1	Cristal líquido	1
15	02	Eletrônico	0,625	Ciclométrico	1
16	02	Eletrônico	0,625	Ciclométrico	2
17	02	Eletrônico	1	Cristal líquido	1

2.2. Ensaios

2.2.1 Corrente de Partida

O ensaio foi realizado aplicando-se tensão nominal e correntes decrescentes ao medidor até se atingir um valor de corrente inferior ao seu limiar de detecção. Para cada corrente aplicada foi avaliado o erro do medidor para aquela condição de ensaio. As correntes utilizadas, em percentual do valor nominal, foram:

10 %, 8 %, 6 %, 4 %, 3 %, 2 %, 1 %, 0,8 %, 0,6 %, 0,5 %, 0,4 %, 0,3 %, 0,2 % e 0,1 %.

Adotou-se como documento de referência para este ensaio [1] que fixa como 0,8 % da corrente nominal a corrente de partida para medidores classe 2. Não é fixado nenhum limite de exatidão para esta condição de operação.

Para os medidores eletrônicos adotou-se a norma [2]. Ela fixa como 0,5 % da corrente nominal a corrente de partida para medidores de todas as classes. Também não é fixado nenhum limite de exatidão para esta condição de operação.

Para realização do ensaio foi utilizada uma mesa automática para ensaio de medidores de energia cujo padrão está devidamente rastreado a referências internacionais. Este padrão tem classe de exatidão 0,02.

Os gráficos das figuras 1 e 2 apresentam os erros observados para as amostras de medidores eletromecânicos e eletrônicos respectivamente. Neles podemos observar que:

- Não se observa um comportamento típico dos erros em nenhum dos tipos de medidores. O erro pode aumentar, diminuir ou ainda reverter a tendência observada a medida que a corrente diminui.
- O módulo do erro tende a aumentar com a redução da corrente e esta tendência é bem maior nos eletromecânicos.
- Todos os medidores excedem os requisitos das normas quanto ao limite mínimo de corrente de partida
- A corrente de partida dos medidores eletrônicos é menor em média.

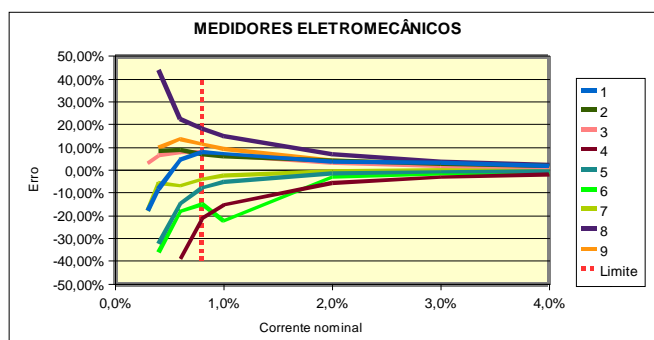


Figura 1. - Erros medidos em amostras de medidores eletromecânicos.

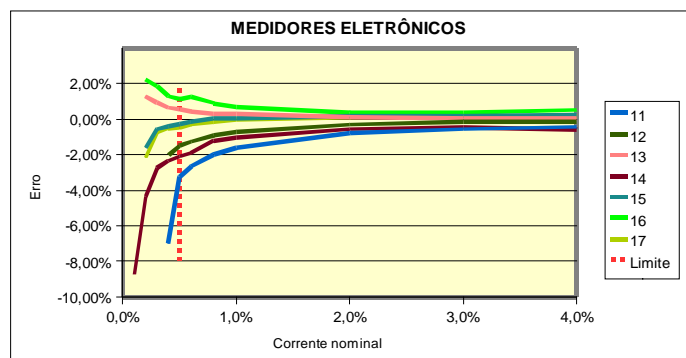


Figura 2. - Erros medidos em amostras de medidores eletrônicos.

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios dos medidores. São apresentados, para cada modelo, o valor mínimo e máximo do erro medido para correntes entre 10 % de I_n e a corrente de partida, amplitude deste intervalo e a corrente de partida determinada no ensaio. A corrente de partida é dada em percentual da corrente nominal que no caso dos medidores ensaiados é de 15 A.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de corrente de partida dos medidores

	Modelo	Erro			Corrente partida
		Mínimo	Máximo	Amplitude	
Medidores Eletromecânicos	1	-18,00%	7,92%	25,92%	0,4%
	2	0,63%	8,78%	8,15%	0,4%
	3	-0,13%	8,00%	8,13%	0,4%
	4	-39,10%	-0,06%	39,04%	0,6%
	5	-32,20%	0,09%	32,29%	0,6%
	6	-36,01%	-1,05%	34,96%	0,4%
	7	-17,80%	-0,05%	17,75%	0,6%
	8	-0,09%	44,00%	44,09%	0,6%
	9	-0,01%	13,70%	13,71%	0,4%
Média				24,89%	0,49%
Medidores Eletrônicos	11	-7,00%	-0,24%	6,76%	0,4%
	12	-2,00%	-0,05%	1,95%	0,4%
	13	-0,01%	1,30%	1,31%	0,2%
	14	-8,75%	-0,26%	8,49%	0,1%
	15	-1,60%	0,32%	1,92%	0,2%
	16	0,35%	2,25%	1,90%	0,2%
	17	-2,15%	0,19%	2,34%	0,2%
Média				3,52%	0,24%

Os dados de amplitude do erro e corrente de partida são apresentados nas figuras 3 e 4 respectivamente. Nestes dois gráficos fica evidenciada a diferença das características das duas tecnologias ensaiadas. Todos os medidores atendem aos requisitos de norma. Os erros dos eletrônicos são menores nestas condições de pequena carga e a sua corrente de partida média é aproximadamente a metade.

Para comprovar que existe uma diferença nos dados observados das duas tecnologias aplicou-se um teste estatístico t das hipóteses para as médias com um nível de significância de 5 % e constatou-se que as médias tanto da amplitude quando da corrente de partida são diferentes.

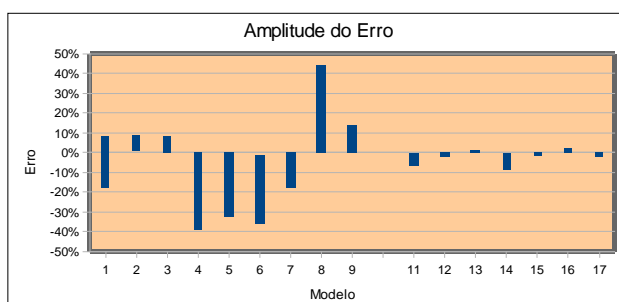


Fig. 3 – Erros para pequenas correntes. Os modelos 1 a 9 são eletromecânicos e os modelos 11 a 17 são eletrônicos.

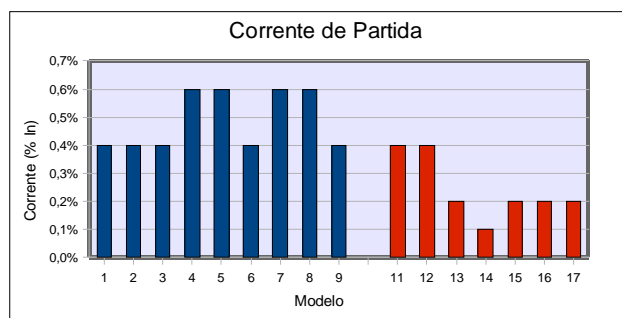


Fig. 4 – Correntes de partida

2.2.2 Consumo Próprio

O ensaio foi realizado aplicando-se tensão nominal ao circuito de potencial dos medidores e medindo as potências ativa e aparente por eles consumidas. As medições das grandezas foram feitas com três repetições. São apresentadas as médias das medições e as respectivas incertezas para um $k=2$, calculadas de acordo com [3].

As perdas nos circuitos de corrente foram consideradas desprezíveis para as condições de pequeno carregamento do circuito de medição, objeto deste estudo.

Como referência para este ensaio foram também adotadas [1] e [2]. O RTM fixa como 2 W e 12 VA os limites para as potências ativa e aparente das perdas no circuito de potencial em medidores de indução. Para os medidores eletrônicos [2] fixa estes limites em 2 W e 10 VA.

Para realização do ensaio foi utilizado um conjunto de medição constituído por uma fonte e um padrão de potência e energia. O padrão está devidamente rastreado a referências nacionais e tem classe de exatidão 0,05.

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Perdas no circuito de potencial em medidores

	Modelo	Perda Ativa		Perda Aparente		Tensão	
		Valor	Incerteza	Valor	Incerteza	Valor	Incerteza
		[W]	[W]	[VA]	[VA]	[V]	[V]
Medidores Eletromecânicos	1	1,156	0,025	6,780	0,071	119,98	0,07
	2	0,9515	0,0035	5,9282	0,0035	119,98	0,07
	3	1,0990	0,0060	6,078	0,065	119,98	0,07
	4	0,9413	0,0028	4,2073	0,0025	119,99	0,07
	5	0,951	0,038	3,678	0,056	119,98	0,07
	6	1,1209	0,0034	5,4731	0,0034	119,98	0,07
	7	1,2076	0,0034	5,636	0,015	119,98	0,07
	8	1,33	0,11	5,96	0,28	119,98	0,07
	9	1,4781	0,0038	6,3933	0,0040	119,98	0,07
	Média	1,14	W	5,57	VA		
	D.padrão	0,18	W	1,01	VA		
Medidores Eletrônicos	11	0,7417	0,0030	5,038	0,011	119,97	0,07
	12	0,3499	0,0015	0,4054	0,0023	119,98	0,07
	13	0,3410	0,0040	3,555	0,024	119,98	0,07
	14	0,4559	0,0045	3,689	0,015	119,98	0,07
	15	0,3842	0,0057	3,003	0,021	119,98	0,07
	16	1,375	0,061	5,77	0,46	119,97	0,07
	17	0,9106	0,0081	5,008	0,016	119,97	0,07
	Média	0,65	W	3,78	VA		
	D.padrão	0,39	W	1,78	VA		

Os dados das perdas são apresentados na figura 5. Neste gráfico fica evidenciada a diferença existente entre as duas tecnologias ensaiadas. Todos os medidores atendem os requisitos de norma, mas de forma geral as perdas nos medidores eletrônicos são menores.

Para comprovar que existe uma diferença nos dados observados das duas tecnologias aplicou-se um teste estatístico t das hipóteses para as médias com um nível de significância de 5 % e constatou-se que as médias tanto das perdas ativas quando aparentes são diferentes entre si.

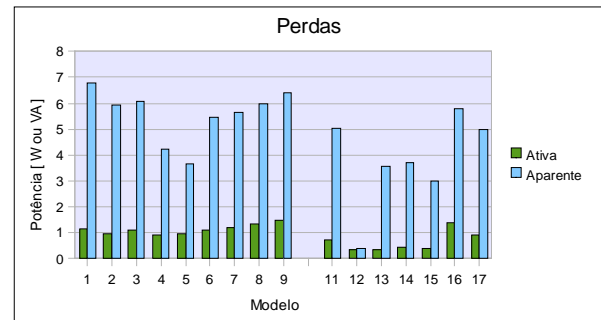


Fig. 5 – Perdas no circuito de potencial

3. Conclusão

Analisando as diferenças entre os medidores eletromecânicos e eletrônicos quanto à corrente de partida têm-se as seguintes condições:

- Nas condições de pequeno carregamento os erros apresentados pelos medidores de qualquer tipo podem ser positivos ou negativos, entretanto os medidores eletromecânicos apresentam uma amplitude dos erros bastante maior. Os eletrônicos conseguem manter uma melhor exatidão nas condições de pequeno carregamento. Ver tabela 2 e figura 3.
- A maioria dos medidores analisados mediu a menos nas condições de pequeno carregamento, no entorno da corrente de partida. Para os medidores eletromecânicos 5 modelos mediram a menos (erro negativo) e 4 mediram a mais (erro positivo), para os medidores eletrônicos 5 modelos mediram a menos e 2 mais. Ver figuras 1 e 2.
- Os medidores eletrônicos se mostraram mais sensíveis que os medidores eletromecânicos. Na média eles começaram a medir com 0,24 % da corrente nominal ou 36 mA, os eletromecânicos começaram a medir com 0,49 % In ou 74 mA. Esta diferença poderia implicar em uma vantagem no uso dos medidores eletrônicos mas que na prática acaba sendo mínima. Para avaliar a real dimensão desta diferença será considerada uma condição extrema: imagine-se a condição de um medidor que permanecesse um mês inteiro

numa condição limítrofe na qual por ele circulasse uma corrente constante 74 mA. Nesta condição um medidor eletrônico mediria normalmente e um eletromecânico não registraria nada. Como os erros se apresentam em alguns casos positivos e em outros negativos eles serão desconsiderados nesta avaliação. 74 mA num circuito monofásico de 120 V com fator de potência unitário resultam numa potência de 8,88 W e 6,39 kWh no mês ou, estendendo-se a situação para um circuito trifásico, 19,18 kWh. Esta é a máxima vantagem que poderia advir do uso de um medidor eletrônico devido a sua menor corrente de partida. Entretanto este valor foi obtido a partir de uma situação que é muito diferente da condição de operação típica de um consumidor onde correntes na faixa de 40 mA a 70 mA estariam presentes apenas numa pequena parcela do tempo total de medição.

Fazendo a análise com base nos dados do consumo próprio dos medidores têm-se:

- Os medidores eletromecânicos apresentaram um consumo médio de 1,14 W no circuito de potencial com uma pequena dispersão entre os diversos modelos. Ver tabela 3 e figura 5.
- Os medidores eletrônicos apresentaram um consumo médio de 0,65 W mas uma dispersão maior nos resultados de cada modelo. Um dos modelos apresentou consumo superior à média de consumo dos eletromecânicos e outro consome apenas 0,34 W.
- Tomando-se apenas as médias, tem-se:

Tabela 4 – Perdas médias em circuitos de potencial

Tipo	Perdas	Consumo mensal
Eletromecânico	1,14 W	821 Wh
Eletrônico	0,65 W	468 Wh
Diferença	0,49 W	353 Wh

- Na tabela 4 pode-se observar uma vantagem de 0,35 kWh ao mês na redução de perdas para o medidor eletrônico ou 1,05 kWh se este resultado puder ser extrapolado para um medidor de três elementos. Entretanto, dependendo do modelo de medidor esta diferença pode variar significativamente para mais ou para menos, podendo até mesmo se anular como pode ser observado na tabela 3.

4. Referências bibliográficas

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Portaria Inmetro n.º 88 - regulamento técnico metrológico. Abril, 2006.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14519:2000** - Medidores eletrônicos de energia elétrica (estáticos) – especificação. Maio, 2000.
- [3] EUROPEAN CO-OPERATION FOR ACCREDITATION. EA-4/02 - Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. Dezembro, 1999.