



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Deficiência das Medições a Dois Elementos em Média Tensão

**Técnico Gerrei Alexandre Ernst**  
**CEMIG Distribuição S.A**  
[GERREI.ERNST@cemig.com.br](mailto:GERREI.ERNST@cemig.com.br)

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Cargas monofásicas, Erros de medição, Medição a dois elementos.

#### **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo demonstrar a ineficácia e quantificar, através de simulações, os erros produzidos pelo sistema de medições a dois elementos em média tensão quando da existência de cargas monofásicas (transformadores e/ou banco de capacitores ligados em fase e neutro) no circuito interno de média tensão dos consumidores do grupo A.

Cargas monofásicas ligadas na média tensão, em medições a dois elementos, podem provocar registros indevidos de consumo, bem como produzir torque negativo (para trás), provocando prejuízos para os clientes ou para as concessionárias.

Do ponto de vista técnico, a adequação dessas medições proporcionará:

- elevação do grau de confiabilidade das medições instaladas nas unidades consumidoras (atendimento ao Art. 95, da Resolução 456, de 29-11-2000, no quesito “eficiência”);
- eliminação da possibilidade de perdas para os clientes ou para as concessionárias motivadas pelo sistema de medição;
- eliminação da possibilidade de fraude através da manipulação de cargas internas.

Do ponto de vista econômico, os investimentos requeridos se justificam frente à importância estratégica dos clientes atingidos e à eliminação das perdas/erros de medição em potencial que podem ocorrer.

#### **1. INTRODUÇÃO**

As medições a dois elementos, abolidas na área de concessão da Cemig desde o ano de 1997, são utilizadas como alternativa à de três elementos, visando a redução de custo, economizando um transformador de potencial (TP) e um transformador de corrente (TC). O embasamento teórico para a utilização da medição a dois elementos em sistemas trifásicos é oriundo do teorema de Blondel. Esse tipo de medição, entretanto, não é adequado para os atendimentos a unidades consumidoras do grupo “A” – atendimentos em média tensão e com rede de distribuição interna de média tensão -, devido à possibilidade de ligação de primário de transformadores e banco de capacitores em fase e neutro.

A seguir, serão apresentados: o embasamento teórico para as afirmações contidas neste trabalho, o sistema de funcionamento das medições a dois elementos e simulações com a utilização de planilhas eletrônicas.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Pelo o teorema de Blondel, a potência total de um circuito trifásico pode ser obtida através da soma das potências ativas medidas por dois wattímetros – fornecimento em circuitos a 3 fases e 3 fios. Essa situação se configura em sistemas trifásicos a 3 fases e 4 fios, em atendimentos a clientes do grupo “A”, quando as cargas trifásicas (primário de transformadores ou capacitores) das unidades consumidoras são ligadas em estrela com neutro flutuante ou em triângulo.

Havendo ligação de cargas monofásicas (primário de transformadores ou banco de capacitores) em fase e neutro em circuito com as mesmas características, estas provocarão erros na medição a dois elementos, exceto se forem ligadas nas três fases e estiverem em perfeito equilíbrio, o que na prática não acontece.

A figura 1 apresenta o esquema de ligação da medição a dois elementos em média tensão, no fornecimento a 3 fases e 4 fios, utilizada para fornecimento de energia.

As figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, diagramas vetoriais demonstrando o perfil de funcionamento de cargas monofásicas – capacitores ou primário de transformadores ligados em fase e neutro. Na figura 2, o ângulo de defasagem entre tensão e corrente poderá assumir “n” situações; na figura 3 a corrente de carga capacitiva está adiantada  $90^\circ$  (noventa graus) em cada fase.

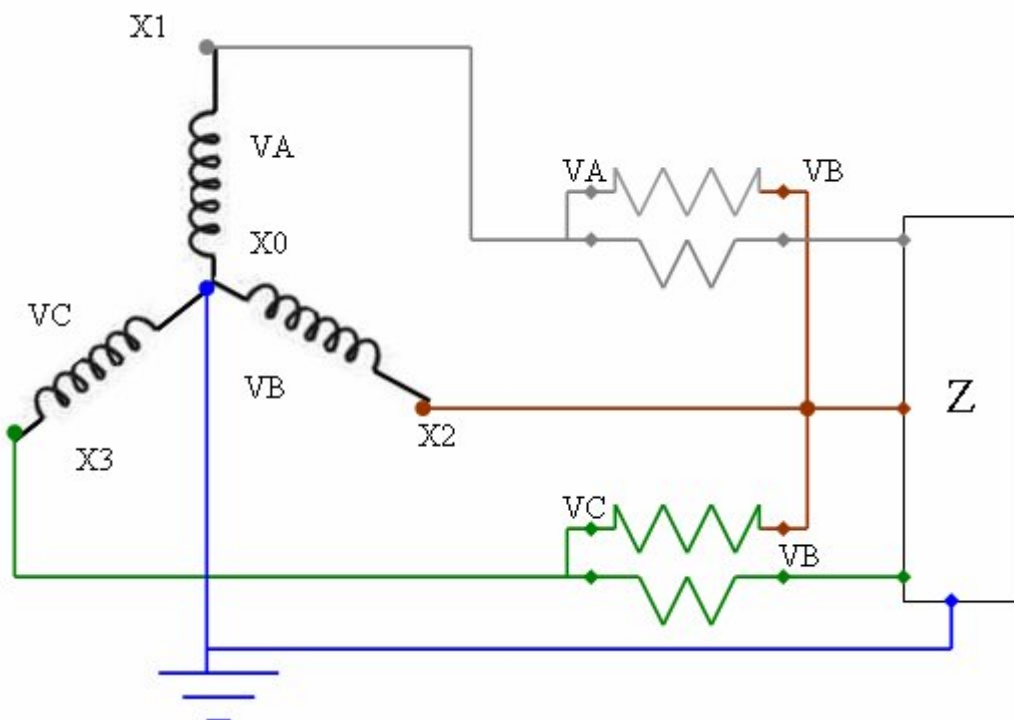
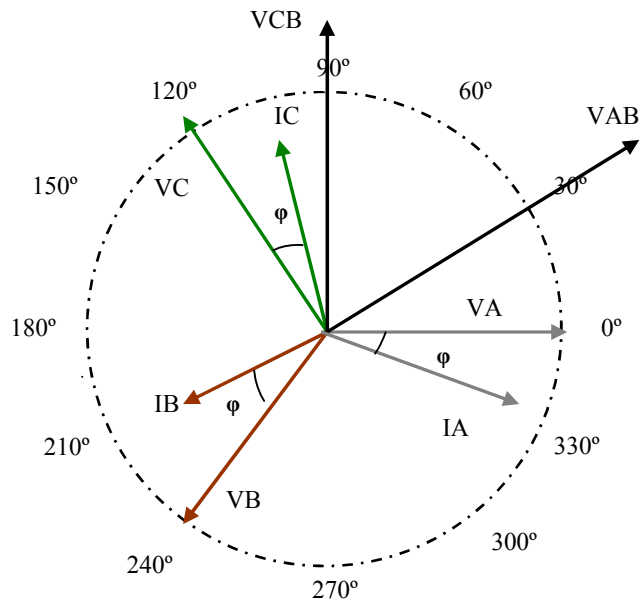
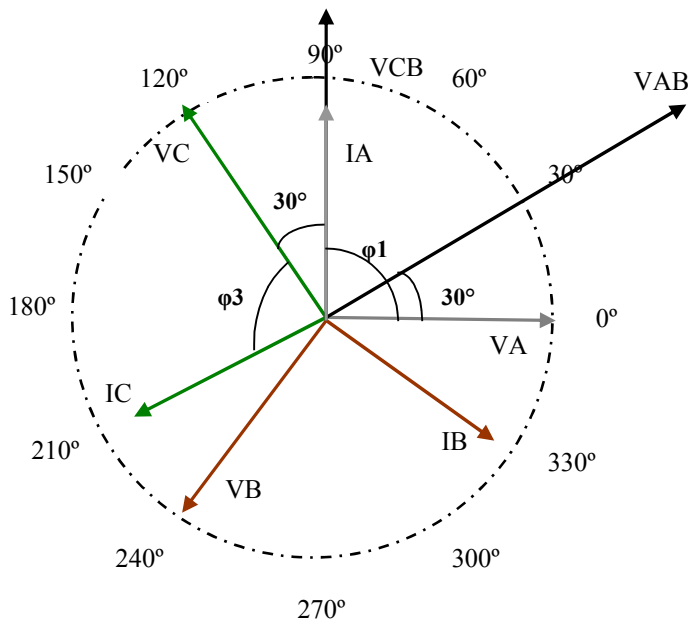


Figura 1 – Esquema de ligação do medidor a dois elementos



**Figura 2 - Diagrama vetorial – funcionamento da medição com o primário de transformadores ligados em fase e neutro**



**Figura 3 - Diagrama vetorial – funcionamento da medição com banco de capacitores ligados em fase e neutro**

### 2.2. Equações para apuração das potências ativas

As equações matemáticas para apuração das potências ativas requeridas da rede elétrica por fase e das potências ativas medidas pela medição a dois elementos são as apresentadas a seguir:

$$PA = V \cdot I \cdot \cos \varphi_A \quad (1)$$

$$PB = V \cdot I \cdot \cos \varphi_B \quad (2)$$

$$PC = V \cdot I \cdot \cos \varphi C \quad (3)$$

$$PT = PA + PB + PC \quad (4)$$

Onde: PA, PB e PC correspondem às potências ativas em kW, por fase, requeridas da rede elétrica e PT igual à potência ativa total requerida.

$$PM1 = V \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot \cos (30^\circ + \varphi A) \quad (5)$$

$$PM2 = V \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot \cos (30^\circ - \varphi C) \quad (6)$$

$$PMT = PM1 + PM2 \quad (7)$$

Onde: PM1 e PM2 correspondem, respectivamente, às potências ativas em kW medidas nos elementos 1 e 2 do medidor, e PMT à potência ativa total medida.

$$PM1 = V \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot \cos (90^\circ - 30^\circ) \quad (8)$$

$$PM2 = V \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot \cos (90^\circ + 30^\circ) \quad (9)$$

$$PMT = PM1 + PM2 \quad (10)$$

Onde: PM1 e PM2 correspondem aos torques (positivo ou negativo) em kW produzidos, respectivamente, nos elementos 1 e 2 do medidor, e PMT ao torque resultante da soma dos torques produzidos nos dois elementos.

### **2.3. Simulações com o uso de planilhas eletrônicas**

Para melhor compreensão do efeito de cargas monofásicas ligadas em fase e neutro sobre a medição a dois elementos, foram aplicadas as equações de 1 a 10, relacionadas no subitem 2.2 com o auxílio de planilhas eletrônicas. O resultado é demonstrado nas tabelas 1 e 2 do anexo I. As simulações foram feitas considerando as seguintes situações: Tabela 1 – corrente de carga indutiva atrasada 35° (trinta e cinco graus) em cada fase; Tabela 2 – corrente de carga capacitiva adiantada 90° (noventa graus) em cada fase.

#### **2.3.1. Comentários**

A Tabela 1 demonstra o efeito das cargas monofásicas sobre a medição. Apenas na situação 1 (cargas em perfeito equilíbrio – situação que não condiz com a realidade) o sistema de medição irá registrar 100% da potência ativa requerida da rede. Nas demais situações ou haverá perdas de medição para a concessionária ou para o cliente.

A tabela 2 também apresenta um quadro preocupante. A ligação de banco de capacitores entre fase e neutro só não irá interferir na medição se eles forem totalmente equilibrados. Na prática, essa é uma situação muito difícil de ocorrer por dois motivos: 1º - não temos como afirmar que uma determinada unidade consumidora está com capacitores rigorosamente equivalentes; 2º - possibilidade de fraude, mediante a abertura da proteção interna da fase “A” (situação 2). A medição irá registrar consumos

indevidos caso o capacitor da fase “C” apresente defeito ou seja desligado por algum motivo (situação 4).

É importante ressaltar que, caso se configure as situações 2 e 4 apresentadas na Tabela 2, uma inspeção visual no medidor poderá não indicar erro de medição. O conjunto das demais cargas produzindo torque positivo (correto) camuflaria a falha da medição. Por exemplo, na situação 2, o medidor estaria indicando registro de consumo ativo devido ao conjunto de cargas (condição real) estarem produzindo torque positivo. O medidor, entretanto, estaria funcionando com o torque positivo reduzido na mesma proporção do torque negativo produzido.

### **3. ANÁLISE ECONÔMICA**

Os investimentos requeridos para a adequação das medições se justificam frente à importância estratégica dos clientes atingidos e à eliminação de um problema de natureza técnica que, comprovadamente, gera perdas para o cliente ou para a concessionária, além de possibilitar a manipulação fraudulenta, de difícil detecção, da medição. A adequação possibilitará, ainda:

- atendimento ao Artigo 95, da Resolução 456, de 29-11-2000, no quesito eficiência;
- a padronização das medições, bem como a realização de inspeções criteriosas em clientes onde, normalmente, isso só é possível depois do desligamento da cabine ou cubículo de medição;
- substituição de cruzetas, ramal de entrada, pára-raios, conexões e aterramento;
- limpeza e pintura nas subestações, substituição de caixas deterioradas e aterramento de ferragens;
- adequação dos TC de acordo com a demanda de potência contratada;
- ajuste da proteção no ponto de entrega (elo fusível) de acordo com o coordenograma, demanda de potência contratada ou transformador instalado;
- ajuste da proteção de responsabilidade do cliente (disjuntor de média tensão e relé secundário) de acordo a demanda de potência.

### **4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Os dados levantados e analisados são conclusivos e confirmam a ineficácia das medições a dois elementos em média tensão. As tabelas 1 e 2 demonstram que pode haver perdas expressivas tanto para as concessionárias como para os seus clientes, o que coloca em dúvida a eficiência das medições a dois elementos em média tensão e, conseqüentemente, a qualidade dos serviços que as concessionárias oferecem aos seus clientes. Diante do exposto, a Cemig não mais adota esse tipo de medição na sua área de concessão.

Às demais concessionárias fica o alerta e a sugestão de que façam um diagnóstico da situação existente em suas áreas de concessão e estabeleçam um plano de ação para substituir eventuais medições a dois elementos em média tensão por medições a três elementos, bem como, adotar o uso de medições a três elementos em sistemas trifásicos - 3 fases e 4 fios.

### **5. BIBLIOGRAFIA**

CEMIG: DEPARTAMENTO DE MEDIÇÃO E COMBATE ÀS PERDAS COMERCIAIS - *Medição de Energia Elétrica em Sistemas Trifásicos com Medidores de Dois Elementos*. Belo Horizonte/MG, janeiro/1997.

CEMIG: EFAP – *Curso Gestão Eficiente de Energia Elétrica*. Sete Lagoas/MG, agosto/2003.

GUSSOW, Milton. *Eletricidade Básica*; tradução Aracy Mendes Costa. 2ª ed. rev. e ampl. – Makron Books. São Paulo/SP, 1996.

MEDEIROS FILHO, Sólton de. *Medição de Energia Elétrica*. 3ª ed.– Guanabara 2. Rio de Janeiro/RJ, 1983.

RESOLUÇÃO ANEEL Nº 456, de 29/11/2000.

## 6. ANEXO I

**Tabela 1 – Funcionamento da medição a dois elementos com ligação de transformadores monofásicos com o primário ligado em fase e neutro**

Situações	Fase	Corrente de Carga - A	$\varphi$	Cos $\varphi$	kW Requerido	kW Medido	Percentual Medido
1	A	1,5	35°	0,819	29,37	29,37	100%
	B	1,5	35°	0,819			
	C	1,5	35°	0,819			
2	A	0	35°	0,819	19,58	20,62	105%
	B	1,5	35°	0,819			
	C	1,5	35°	0,819			
3	A	1,5	35°	0,819	19,58	29,37	150%
	B	0	35°	0,819			
	C	1,5	35°	0,819			
4	A	1,5	35°	0,819	19,58	8,75	45%
	B	1,5	35°	0,819			
	C	0	35°	0,819			
5	A	0	35°	0,819	9,79	0	0%
	B	1,5	35°	0,819			
	C	0	35°	0,819			
6	A	0	35°	0,819	9,79	20,62	211%
	B	0	35°	0,819			
	C	1,5	35°	0,819			
7	A	1,5	35°	0,819	9,79	8,75	89%
	B	0	35°	0,819			
	C	0	35°	0,819			

**Tabela 2 – Funcionamento da medição a dois elementos com ligação de um banco de capacitor monofásico em fase e neutro**

Situações	Fase	Corrente de Carga - A	$\varphi$	Cos $\varphi$	kW Requerido	kW Medido	Torque
1	A	1,5	90°	0	0	0	<b>NULO</b>
	B	1,5	90°	0			
	C	1,5	90°	0			
2	A	0	90°	0	0	-10,35	<b>NEGATIVO</b>
	B	1,5	90°	0			
	C	1,5	90°	0			
3	A	1,5	90°	0	0	0	<b>NULO</b>
	B	0	90°	0			
	C	1,5	90°	0			
4	A	1,5	90°	0	10,35	0	<b>POSITIVO</b>
	B	1,5	90°	0			
	C	0	90°	0			