

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CCE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DEL

Medidas Elétricas e Magnéticas

ELT210

**AULA 07 – Medidor de Energia Elétrica Tipo Indução
e Eletrônico**
– Medidor de Demanda

Prof. Tarcísio Pizziolo

1. Considerações Iniciais

- A medição da energia elétrica é empregada, na prática, para possibilitar às concessionárias fornecedoras o faturamento adequado da quantidade de energia elétrica consumida por cada usuário, dentro de uma **tarifa** estabelecida.
- O medidor mais utilizado para realizar esta medição é do **tipo indução** que tem como características sua **simplicidade**, **robustez**, **exatidão** e **desempenho** ao longo dos anos.
- A concessionária fornecedora de energia elétrica, tem grande interesse no **perfeito e correto desempenho deste medidor**, pois dele depende o **faturamento da empresa**. A energia elétrica é uma mercadoria comercializada como outra qualquer, tendo entretanto a sua vendagem algumas implicações de ordem prática:
 1. O consumidor somente paga **após o término do período de consumo**, em geral **um mês**.
 2. O medidor fica **instalado no consumidor**, o que requer cuidados especiais por parte da concessionária.

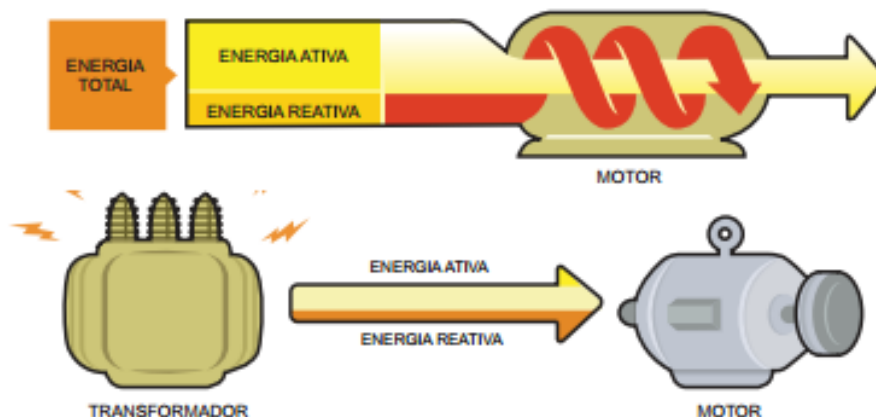
2. Tipos de Energia Elétrica Medidas

Energia Ativa X Energia Reativa

Energia Ativa: é a energia que pode ser convertida em outra forma de energia. É a energia que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, etc. A unidade mais usada é o quilowatt-hora($\text{kW}\times\text{h}$).

Energia Reativa: é a energia usada para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas (motores, transformadores, fornos de indução, lâmpadas de descarga, etc.). Ela não é usada para produzir trabalho. É medida em $\text{kVAr}\times\text{h}$.

- Apesar de necessária, a energia reativa deve ser **minimizada**, pois ela reduz o fator de potência elevando assim a potência total do sistema.



3. Sistemas de Medição de Consumidores

Instalação dos sistemas de medição é responsabilidade das distribuidoras.

- Decreto 41.019 de 1957
- Resolução 456 da ANEEL de 2000

Decreto 41.019 de 1957

“Art.128: Nas instalações de utilização de energia elétrica serão obedecidas as normas em vigor, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Parágrafo único: Nessas instalações deverão ser adotados aparelhos de medição, de propriedade da concessionária, e por ele instalados, à sua custa, salvo em casos especiais e de emergência, a juízo da Fiscalização, devendo ser aferidos e selados por ocasião de sua instalação.”

4. Sistemas de Medição de Consumidores

A resolução 456/2000 estabelece:

- Responsabilidades pela instalação dos sistemas de medição para faturamento.
- Direitos e obrigações das concessionárias.
- Direitos e obrigações dos consumidores.

Obrigações das Concessionárias:

- Estabelecer o padrão dos seus equipamentos de medição (art.33, parágrafo 2º).
- Comunicar aos consumidores, fabricantes, distribuidores, comerciantes de materiais e equipamentos elétricos, técnicos e demais interessados, as alterações das suas normas e/ou padrões técnicos(art.96).
- Estabelecer o padrão dos seus equipamentos de medição (art.33, parágrafo 2º).

Obrigações das Concessionárias:

- Comunicar aos consumidores, fabricantes, distribuidores, comerciantes de materiais e equipamentos elétricos, técnicos e demais interessados, as alterações das suas normas e/ou padrões técnicos(art.96).
- Informar ao consumidor da necessidade de construir caixas, quadros, painéis ou cubículos de medição (art.3, inc. I, alínea b).
- Não invocar a indisponibilidade dos equipamentos de medição para negar ou retardar a ligação e o início do fornecimento (art.33 parágrafo 4º).
- Instalar, às suas custas, os medidores e demais equipamentos de medição (art.33).

A concessionária fica dispensada de instalar medidores quando:

- O fornecimento for destinado a iluminação pública, semáforos ou assemelhados, bem como iluminação de ruas ou avenidas internas de condomínios fechados horizontais;
- A instalação do medidor não puder ser feita em razão de dificuldade transitória, encontrada pelo consumidor;
- O fornecimento de energia elétrica for provisório; e
- A critério da concessionária, no caso do consumo mensal previsto da unidade consumidora do Grupo “B” ser inferior ao consumo mínimo faturável:
 - 30 kWh para ligação monofásica ou bifásica a 2 condutores.
 - 50 kWh para ligação bifásica a 3 condutores.
 - 100 kWh para ligação trifásica.
 - No caso de fornecimento destinado à iluminação pública, efetuado a partir de circuito exclusivo, a concessionária deverá instalar equipamentos de medição sempre que julgar necessário ou quando solicitado pelo consumidor (parágrafo único, art.32).

Responsabilidades dos Consumidores

- Construir caixas, quadros, painéis ou cubículos destinados à instalação de medidores, transformadores de medição e outros aparelhos necessários à medição (Art. 3º, inc. I, alínea b).
- Realizar as adaptações das instalações da unidade consumidora, necessárias ao recebimento dos equipamentos de medição, em decorrência de mudança de Grupo tarifário ou exercício de opção de faturamento (art. 103).
- É responsável por danos causados aos equipamentos de medição decorrentes de qualquer procedimento irregular ou deficiência técnica das instalações elétricas da unidade consumidora (art. 104).

Responsabilidades dos Consumidores

- O consumidor é responsável pela custódia dos equipamentos de medição quando (art. 105):
 - Instalados no interior da unidade consumidora.
 - Instalados em área externa à unidade consumidora por solicitação do próprio consumidor.
 - Quando da **violação de lacres ou de danos nos equipamentos** que decorram em registros inferiores aos corretos (art. 105, parágrafo único).
 - **Não se aplicam as disposições pertinentes ao depositário no caso de furto ou danos provocados por terceiros.**

5. Grupos de Consumidores

Grupo A:

- Subgrupo A1- tensão de fornecimento igual ou superior a 230kV;
- Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- Subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69kV;
- Subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- Subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- Subgrupo A5 - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste Grupo em caráter opcional.

Grupo B:

Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV

- Subgrupo B1 - residencial;
- Subgrupo B2 - rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública;.

6. Medição por Tipo de Consumidor

- Para consumidores do Grupo A (art. 49):

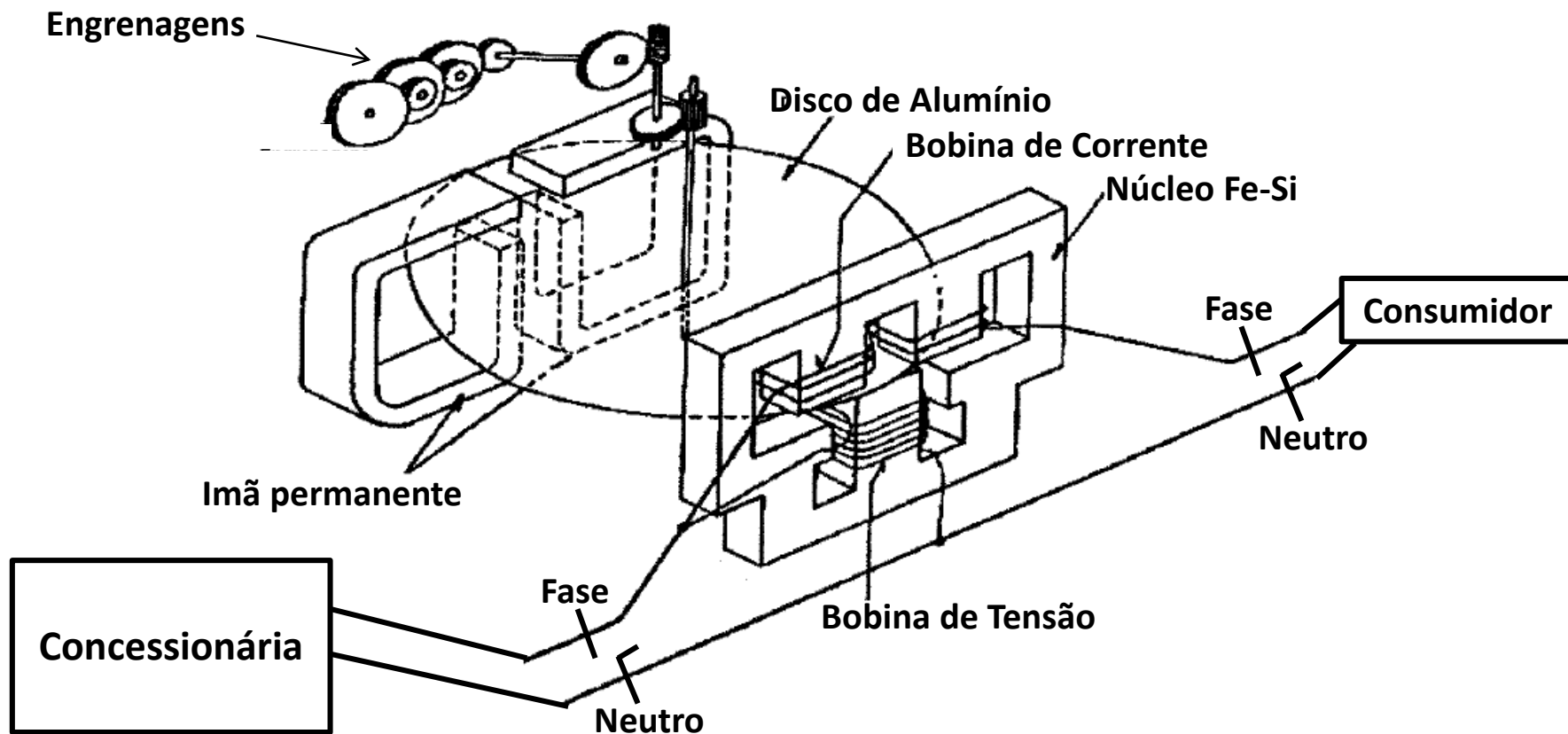
- Energia ativa (kWh)
- Demanda de potência ativa (kW)
- Fator de potência (art. 34, inc. I)
- Consumo de energia elétrica e demanda de potência reativa excedente, quando o fator de potência for inferior a **0,92**.

- Para consumidores do Grupo B (art. 48):

- Energia ativa (kWh)
- Fator de potência de **forma facultativa** (art. 34, inc. II)

7. Medidor de Energia Elétrica tipo Indução

Esquema Construtivo



Registradores

Digital/Ciclométrico



Ponteiros

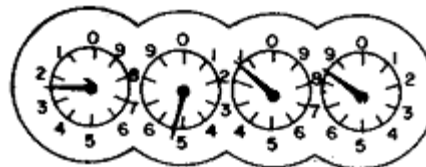


Fig. 4.13

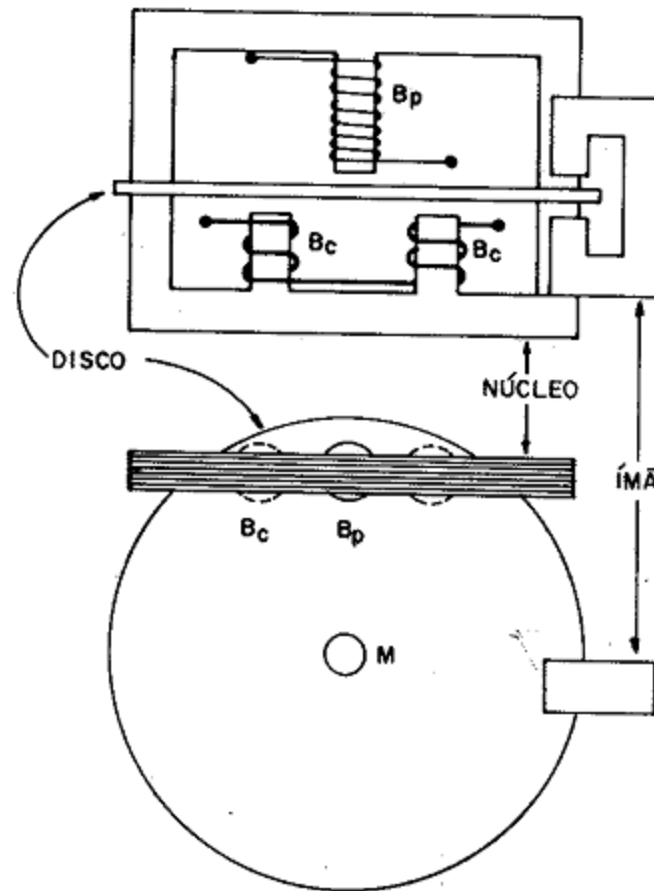
7. Medidor de Energia Elétrica tipo Indução

Partes componentes:

1 - **Bobina de tensão ou de potencial B_p** , altamente indutiva, com grande número de espiras de fio fino de cobre, para ser ligada em paralelo com a carga.

2 - **Bobina de corrente B_c** , 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.

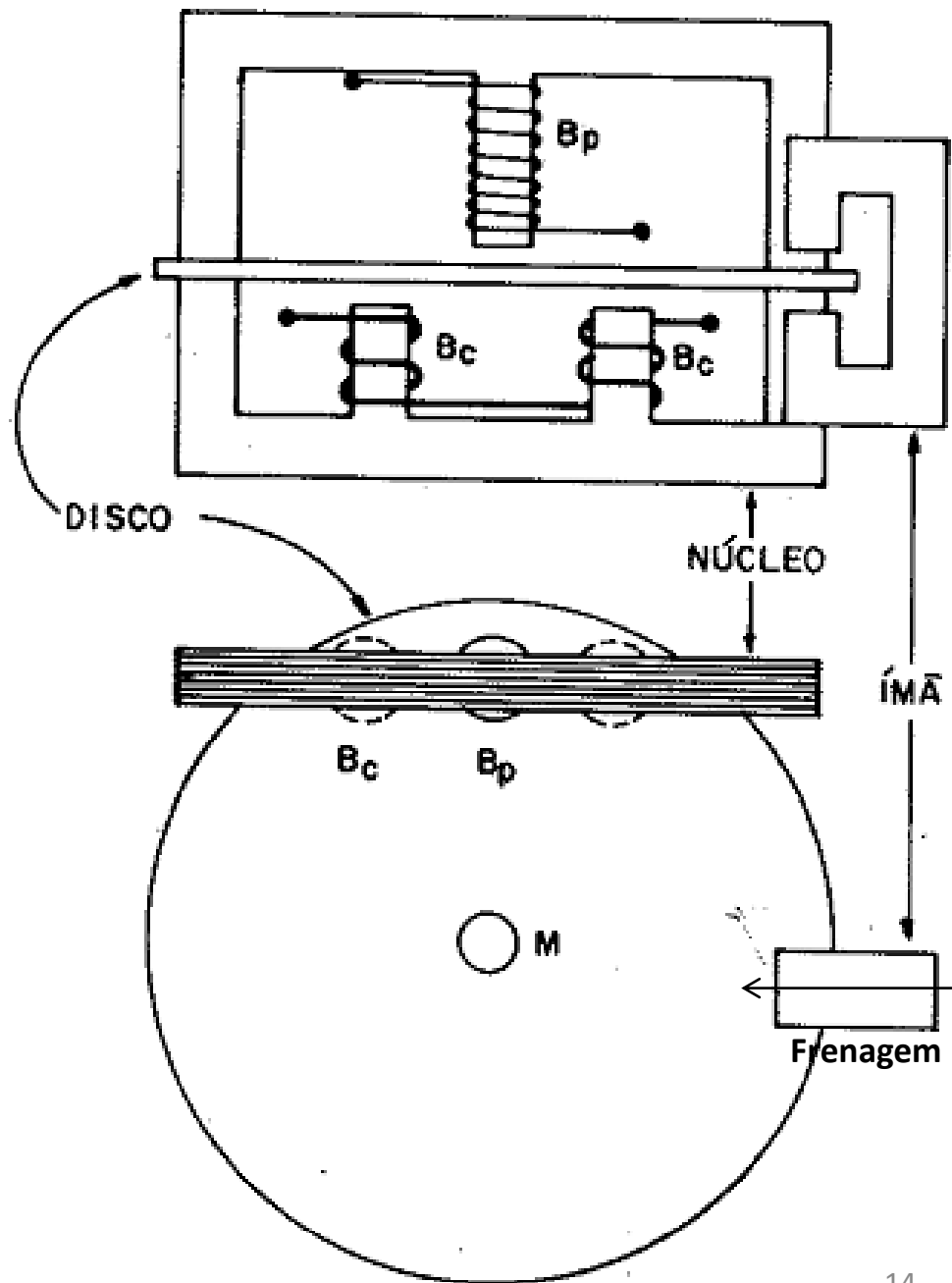
3 - **Núcleo de lâminas** de material ferromagnético (normalmente ferro silício), justapostas, mas isoladas umas das outras para reduzir as perdas por correntes de Foucault.



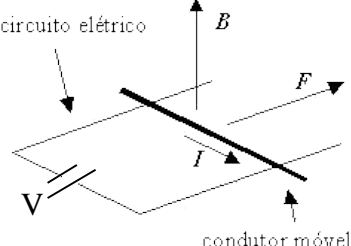
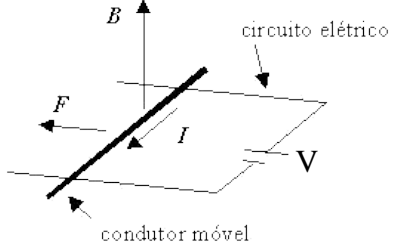
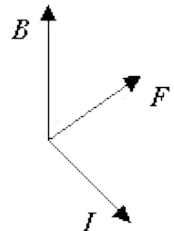
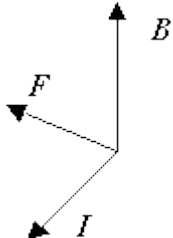
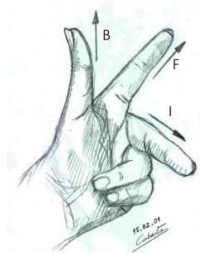

7. Medidor tipo Indução (Continuação)

4 – **Conjunto móvel**, ou rotor, constituído de **disco de alumínio**, de alta condutibilidade, que gira em torno do seu eixo de suspensão **M** que aciona um **sistema mecânico de engrenagens** que registra, num **mostrador**, a energia elétrica consumida.

5 – **Ímã permanente** para produzir **conjugado frenador** ou de amortecimento sobre o disco.



Determinação do sentido da corrente I criada num condutor mergulhado num campo magnético de indução B e em movimento por ação de uma força F .

Regra dos Três Dedos da Mão Esquerda	Regra dos Três Dedos da Mão Direita
Fenômeno da Indução Eletromagnética	Fenômeno da Força Eletromagnética
Aplicação: Gerador Eletromagnético	Aplicação: Motor Elétrico
Esquema de Princípio 	Esquema de Princípio 
Relações entre Vetores	Relações entre Vetores
	
Regra da Mão Esquerda	Regra da Mão Direita
	

Determinação da força F a que fica sujeito um condutor mergulhado num campo magnético de indução B , quando é percorrido pela corrente I .

8. Princípio Físico de Funcionamento

Quando um condutor de comprimento L é percorrido por uma corrente i , na presença de um campo magnético B , este fica submetido a uma força F cujo sentido é dado pela **regra dos três dedos da mão direita**.

$$\vec{F} = (\vec{B} \times \vec{i}).L$$

$$|\vec{F}| = |\vec{B}| \cdot |\vec{i}| \cdot L \cdot \sin(\alpha)$$

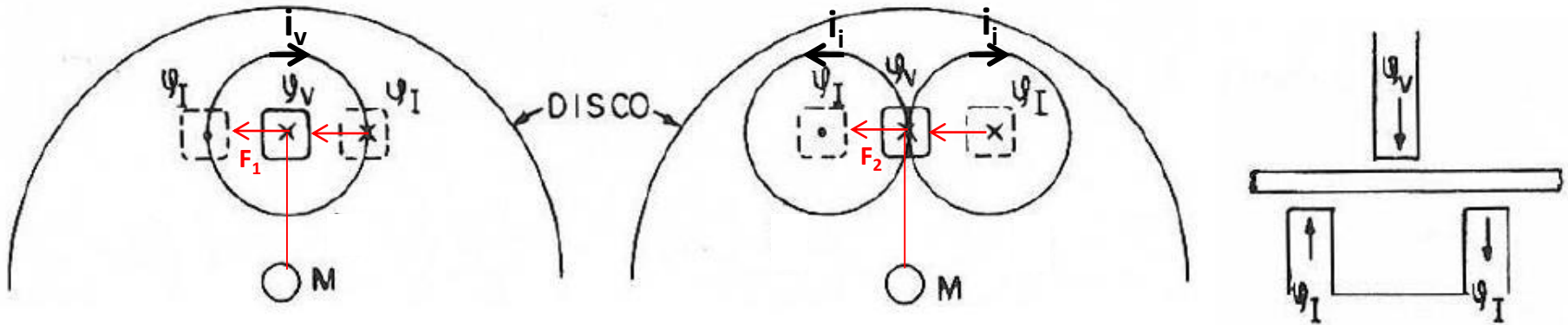


Onde α é o ângulo relativo entre o condutor e as linhas do campo magnético B .

Este fenômeno é conhecido como fenômeno da **interação eletromagnética**. O medidor tipo indução tem o conjugado motor originado no disco devido o fenômeno da interação eletromagnética.

8. Princípio Físico de Funcionamento

- O fluxo alternado ϕ_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 da bobina ϕ_i de corrente dá origem a uma força e, conseqüentemente, a um conjugado em relação a **M**, fazendo girar o disco.
- Simultaneamente, o fluxo alternado ϕ_i da bobina de corrente induz correntes de Foucault i_i no disco. A interação entre estas correntes i_i e o fluxo ϕ_v dá origem a outra força e, conseqüentemente, a um conjugado em relação a **M**, fazendo girar o disco.



8.1 Constante do disco (Kd)

A constante de disco (**Kd**), indica qual a energia consumida durante **uma volta no disco do medidor de energia** do tipo indução. A Equação abaixo é utilizada para o cálculo desta constante.

$$K_d = \frac{P(\text{Watts}) \Delta t(\text{horas})}{\text{Rotações}} (\text{Wh/rot})$$

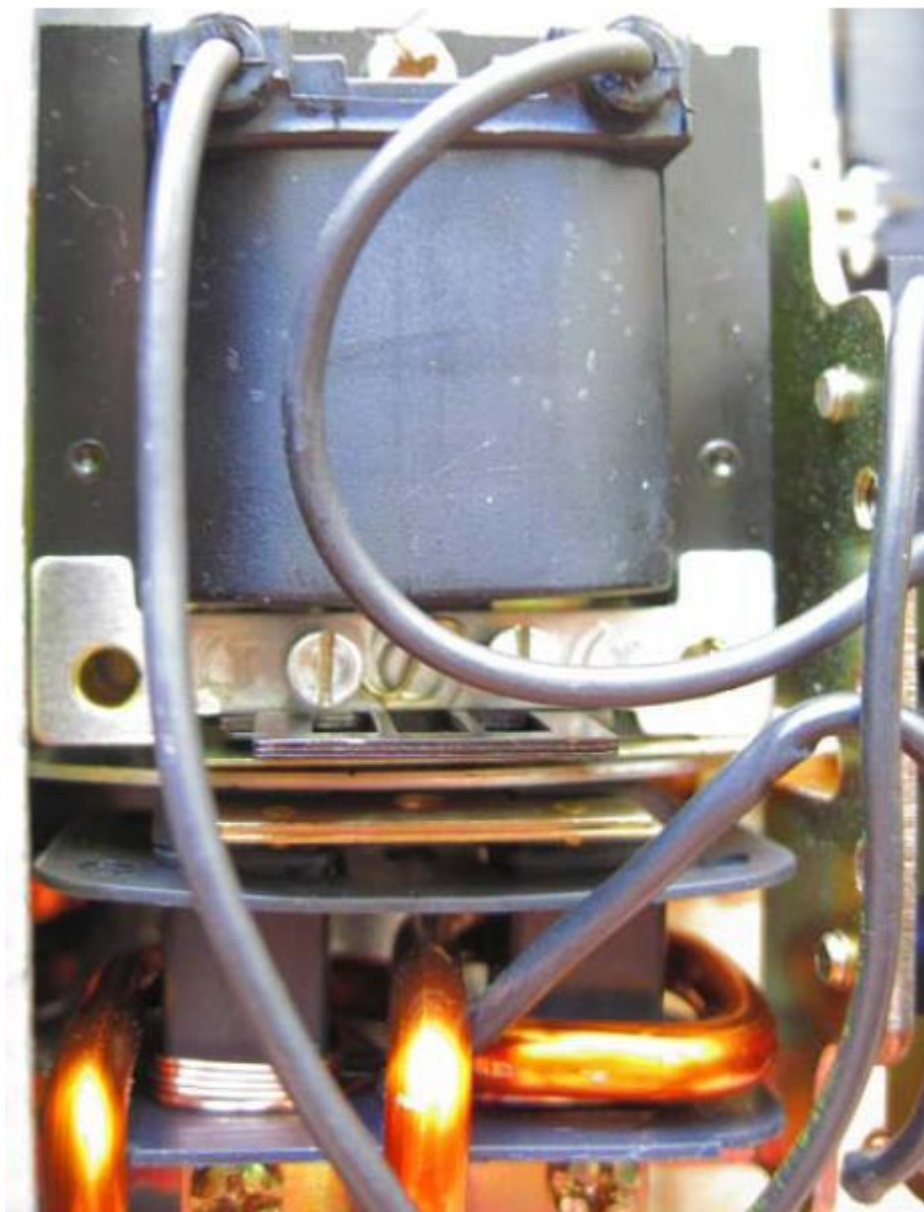
A constante de disco (**Kd**) é também utilizada para aferir o medidor por meio de um medidor padrão, projetado e construído especialmente para aferição.

O **Kd** vem indicado na placa de identificação do medidor. **No medidor padrão, a constante do disco é chamada de Ks.**

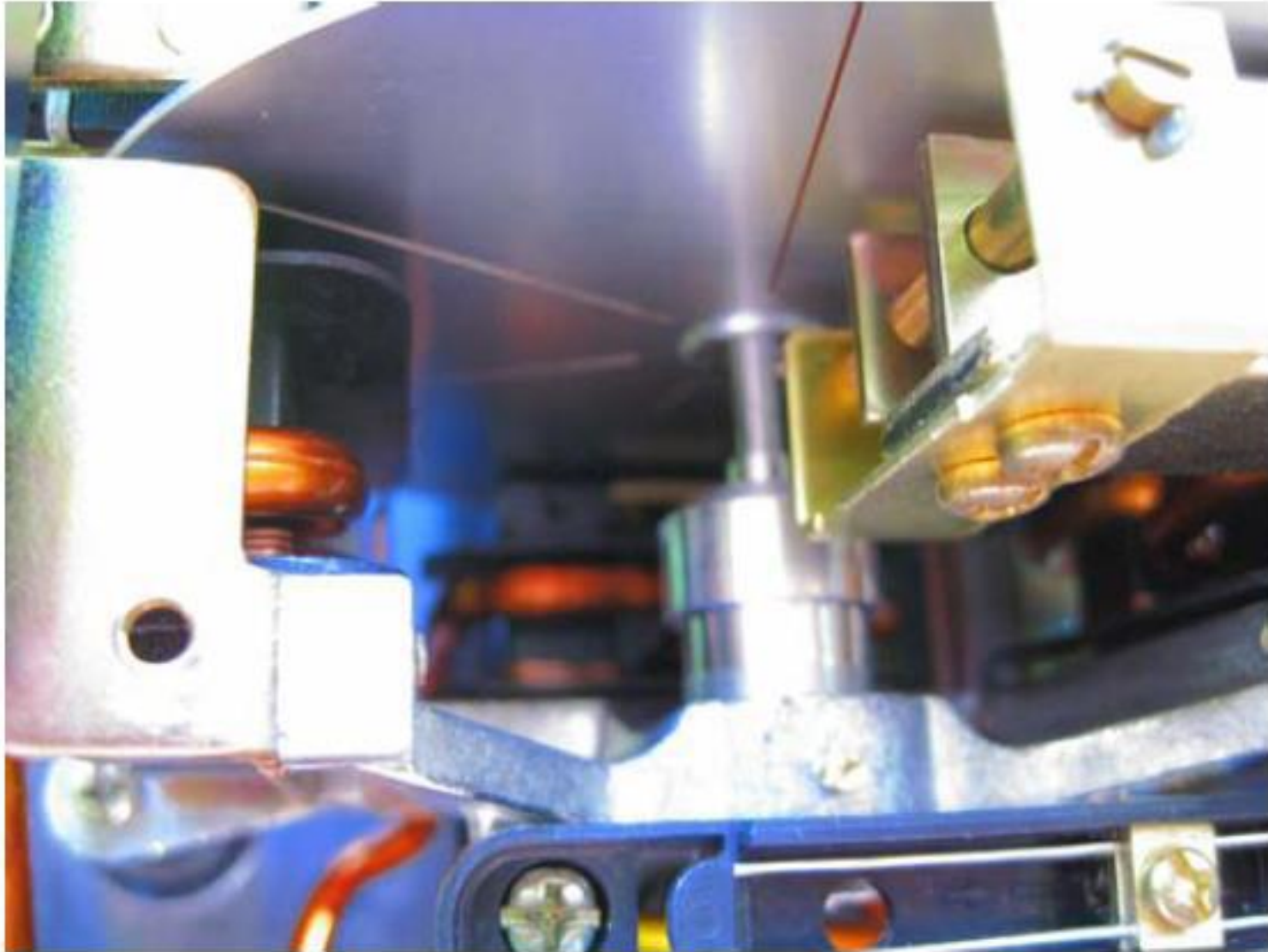
9. Fotografia de um Medidor tipo Indução



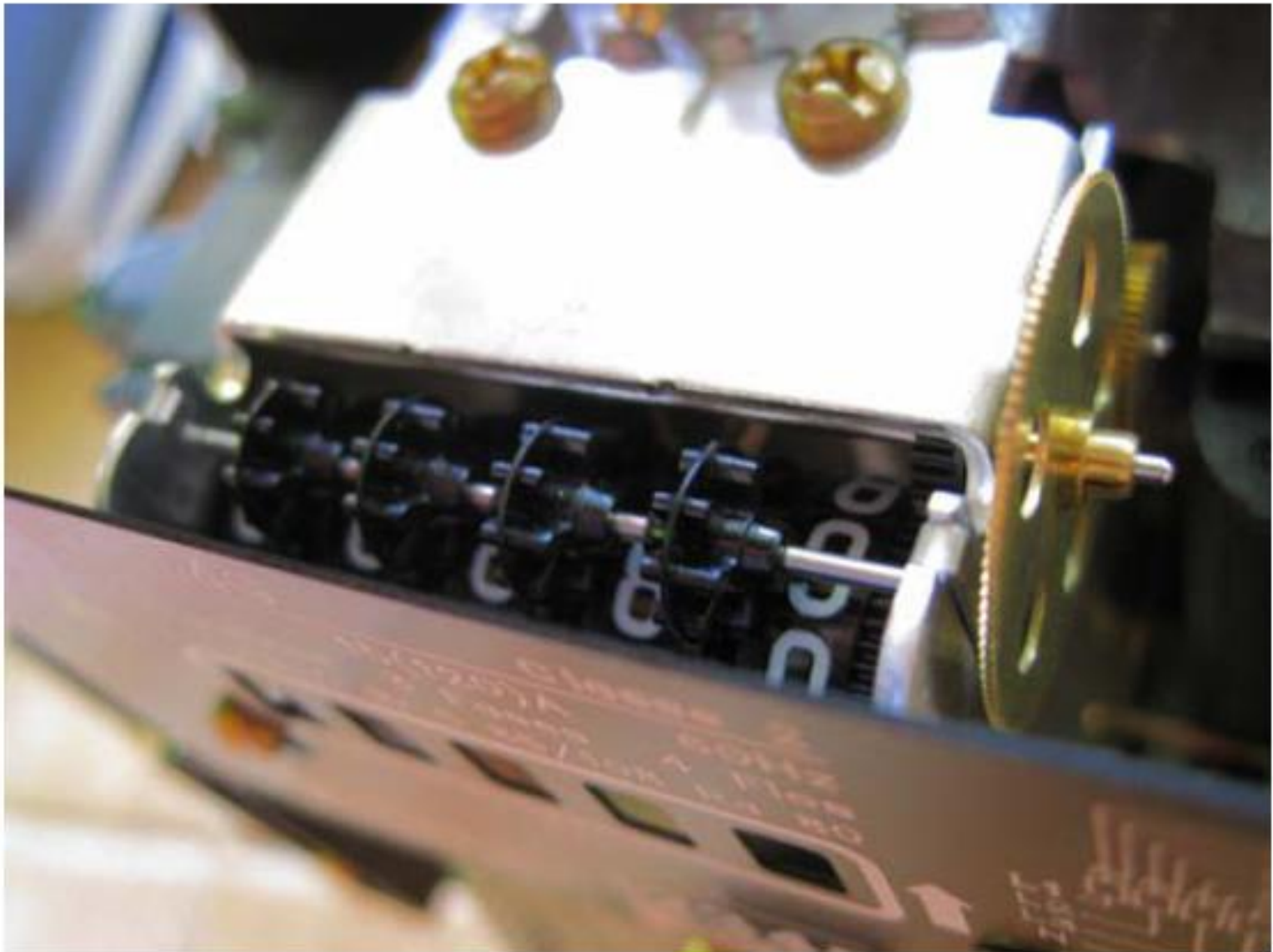
9.1. Fotografia das Bobinas de um Medidor tipo Indução



9.2. Fotografia do Disco de um Medidor tipo Indução

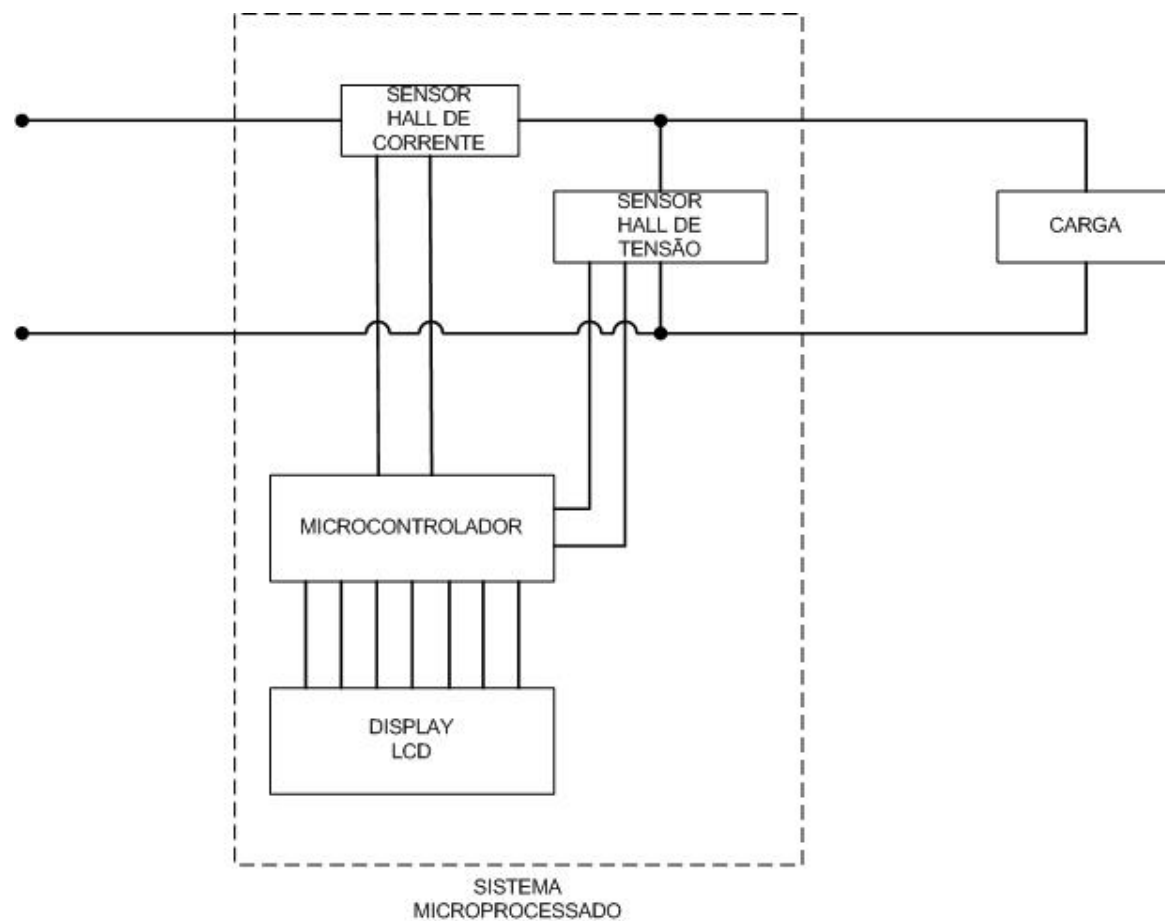


9.3. Fotografia das Engrenagens e do Registrador de um Medidor tipo Indução



10. Medidor Eletrônico

Seu funcionamento se baseia na amostragem da tensão e da corrente que é fornecida à carga e transferida a um sistema **microprocessado** que, de forma digital, calcula a potência e a energia consumida pela carga.



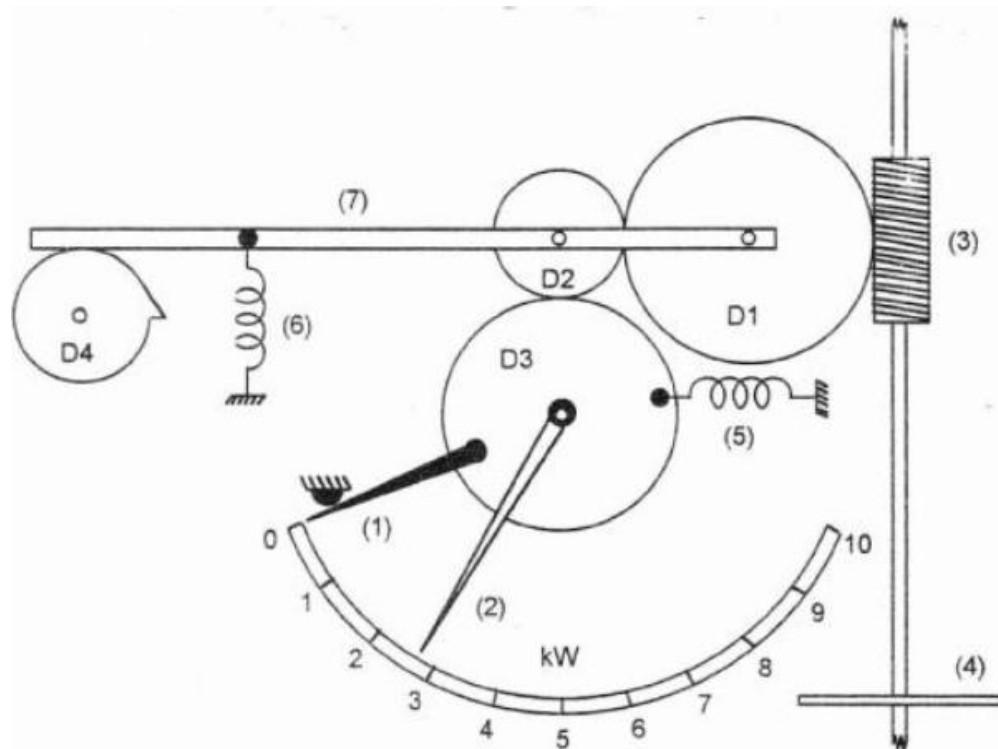
10. Medidor Eletrônico

O uso dos medidores eletrônicos traz novas tecnologias na forma de medir energia.

Dentre elas podemos citar:

- Além da medição da energia ativa, o medidor eletrônico efetua a medição de energia reativa, fator de potência, tensão, corrente, etc...
- É possível implantar a **tarifa branca**, ou seja, diferenciada por horário.
- Não há necessidade de medição “*in loco*” (leiturista).
- Viabiliza a implantação de rede de energia inteligente (*Smart Grid*).
- Possibilita a cobrança de energia pré-paga.

MEDIDOR DE DEMANDA TIPO MECÂNICO



(1) ponteiro de arrasto (preso ao disco 03);

(2) ponteiro indicador de demanda máxima
(preso ao mesmo eixo do disco D3);

(3) parafuso sem fim;

(4) disco;

(5), (6) molas;

(7) alavanca.

11. Medidor de Demanda

DEMANDA:

É a **potência média (kW)** durante um intervalo de tempo qualquer medida por aparelho integrador (**medidor de demanda**).

No Brasil este intervalo de tempo = 15 minutos.

A demanda é expressa em quilowatt (**kW**) na conta de energia.

Exemplo:

Consideremos uma indústria na qual durante **15 minutos**, ou fração dele, estiveram em funcionamento os seguintes equipamentos:

- 1 motor de 12 (kW) durante 10 minutos;
- 1 motor de 15 (kW) durante 6 minutos;
- 1 motor de 20 (kW) durante 15 minutos;
- 1 forno de 30 (kW) durante 12 minutos;
- Iluminação de 50 (kW) durante 15 minutos;
- Ar condicionado de 10 (kW) durante 15 minutos.

Nestes 15 minutos a indústria teve um consumo de energia elétrica dado por:

$$\text{Consumo [kWh]} = 12 \cdot \frac{10}{60} + 15 \cdot \frac{6}{60} + 20 \cdot \frac{15}{60} + 30 \cdot \frac{12}{60} + 50 \cdot \frac{15}{60} + 10 \cdot \frac{15}{60}$$

$$\text{Consumo} = 29,5 \text{ [kWh]}$$

A demanda nestes 15 minutos será dada por:

$$\text{Demanda [kW]} = \frac{\text{Consumo [kWh]}}{\text{Intervalo de tempo [h]}}$$

$$\text{Demanda} = \frac{29,4}{0,25} = 118 \text{ [kW]}$$

DEMANDA MÁXIMA e MÉDIA

Demanda Máxima é a demanda de maior valor verificada durante um certo período.

Assim, se tivermos, por exemplo, os seguintes valores para as demandas durante 15 minutos:

$$D_1 = 30 \text{ kW}; D_2 = 20 \text{ kW}; D_3 = 35 \text{ kW} \text{ e } D_4 = 20 \text{ kW}$$

Demanda máxima: $D_3 = 35 \text{ kW}$

Demanda Média é a relação entre a quantidade de energia elétrica consumida durante um certo período de tempo, em kWh, e o número de horas do mesmo período.

No exemplo anterior temos para um período de 1 hora o seguinte valor para a demanda média:

$$\text{Demanda Média} = \frac{(30 \cdot 0,25) + (20 \cdot 0,25) + (35 \cdot 0,25) + (20 \cdot 0,25)}{0,25 + 0,25 + 0,25 + 0,25} = 26,25 \text{ kW}$$

DEMANDA REGISTRADA e CONTRATADA

Durante o ano temos **7 meses de 31 dias**, **4 meses de 30 dias** e **1 mês de 28 dias**. Calculando o número de horas destes meses e dividindo o resultado por **12**, encontraremos o **número de horas de um mês médio**:

$$\text{Mês Médio} = \frac{7 \times 31 \times 24 + 4 \times 30 \times 24 + 1 \times 28 \times 24}{12} = 730 \text{ horas}$$

Assim, em um mês de **730 horas** temos **730 x 4**, ou seja, **2.920 intervalos de 15 minutos**. **Em cada um destes intervalos teremos um valor para a demanda.**

A máxima destas demandas, durante este período considerado para o faturamento pela concessionária de energia elétrica, **será a Demanda Registrada**.

Demanda Contratada: é o valor de demanda pela qual a concessionária se compromete, por meio de um contrato, colocar à disposição do consumidor pelo tempo que vigorar o mesmo. Por outro lado, o consumidor tem que pagar esta demanda, mesmo que não a use em sua totalidade.

$$\text{Tarifa Binômia} = \text{Tarifa de Demanda} + \text{Tarifa de Consumo}$$

A fatura de energia de um consumidor do **grupo A** é composta, na sua totalidade, dos seguintes elementos:

- Demanda (kW);
- Consumo (kWh);
- O empréstimo compulsório ou imposto único;
- Ajuste, se houver, por baixo fator de potência.