

MOBILIDADE



24.11.11

entrega do  
Trabalho

CENTRO DE EDUCAÇÃO ABERTA E À DISTÂNCIA

FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

CURSO À DISTÂNCIA DE LICENCIATURA EM ENSINO DE FÍSICA

16.0  
Am

## HISTÓRIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

3º Ano

1º Semestre

Centro de Recursos da Matola

Trabalho de Investigação

## MOTOR ELÉCTRICO DE BAIXO CUSTO

Estudantes:

*Dário Francisco Fernandes*

*Ana Maria Roberto* *Recomênis*

*António Afonso Sambo* *recomênis*

Docente:

*Dra. Herieta Massango*

Matola, Novembro de 2011

**Dário Francisco Fernandes**

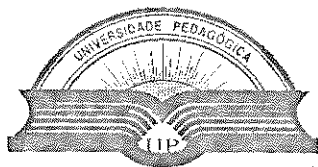
**Ana Maria Roberto**

**António Afonso Sambo**

## **Motor Eléctrico de Baixo Custo**

Trabalho de Investigação apresentado ao Departamento de Física, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, para efeitos de classificação do 2º Teste, na Disciplina de História de Ciência e Tecnologia

**Docente: Dra. Herieta Massango**



Universidade Pedagógica

Centro de Educação Aberta e à Distância

Maputo

2011

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: *Esquema simplificado de um motor eléctrico*

Figura 2: *Esquema de um motor eléctrico*

Figura 3: *Esquema de um motor eléctrico com parâmetros característicos*

Figura 4: *Exemplo de placa característica do motor eléctrico de aplicação industrial*

Figura 5: *Imagem do aparato experimental*

Figura 6: *Esquema eléctrico do circuito*

Figura 7: *Pormenor da bobina com fio esmaltado*

Figura 8: *Montagem experimental em funcionamento*

**INDICE**

NOTA PRÉVIA.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. HISTORIAL DE ORIGEM DOS MOTORES ELECTRICOS.....	5
3. OBJECTIVOS.....	7
3.1. OBJECTIVOS GERAIS.....	7
3.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. CONCEITUALIZAÇÃO.....	7
4.1. GENERALIZAÇÃO DO CONCEITO MOTOR ELÉCTRICO.....	7
4.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS MOTORES ELÉCTRICOS.....	8
4.3. FUNCIONAMENTO DO MOTOR ELÉCTRICO.....	10
4.4. CLASSIFICAÇÃO DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	11
5. CONCEPÇÃO DO MOTOR ELÉCTRICO SIMPLES DE BAIXO CUSTO.....	15
5.1. MATERIAL PARA MONTAGEM DO MOTOR.....	15
5.2. FOTOGRAFIA E CIRCUITO DA MONTAGEM.....	15
5.3. MONTAGEM DA EXPERIÊNCIA.....	15
5.4. DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO DA EXPERIÊNCIA.....	17
5.5. DESCRIÇÃO DA REALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA.....	17
6. CONCLUSÕES.....	18
7. BIBLIOGRAFIA.....	19

## NOTA PRÉVIA

Apresentamos neste trabalho a metodologia experimental na construção de um motor eléctrico de baixo custo como forma de aplicação de experimentos didácticos de Física.

Dentro das aplicações do Electromagnetismo, a parte industrial é sem dúvida uma das mais importantes, sobretudo porque representa uma transformação da energia eléctrica como parte de um produto. Como tal, é frequentemente integrante das actividades exercidas pelos profissionais da área, seja na forma de projectos eléctricos, instalação dos acessórios e equipamentos, factor fundamental para que se obtenha rentabilidade elevada e racionalização dos procedimentos Industriais, e custos optimizados e com isso preços. Dentro desta área de conhecimento consideramos relevante a construção de motor eléctrico de baixo custo, com destaque a aplicação de uma fonte de tensão (pilha) e um íman para accionar um oscilador.

Em geral, os motores eléctricos são máquinas que recebem energia eléctrica da rede e fornecem energia mecânica através da movimentação de seu eixo. Quando um motor é energizado, este exige uma corrente (corrente de partida) extremamente elevada, podendo atingir valores de 6 a 10 vezes o valor nominal especificado. Se o motor é energizado em vazio (sem carga) ele adquire rapidamente sua velocidade nominal e a diminuição da corrente de partida será rápida também. Porém, se o motor partir "em carga" a situação é mais complicada, pois as correntes serão maiores e as solicitações eléctricas dos dispositivos de acionamento também serão elevadas.

## 1. INTRODUÇÃO

A explicação de como as coisas funcionam pode ser de grande utilidade para os educadores, uma vez que sempre é possível adoptar uma abordagem construtivista na relação de ensino-aprendizagem, quando as experiências prévias dos estudantes são levadas em conta em um processo democrático de educação.

Como exemplo específico, o princípio de funcionamento de um grande número de dispositivos e equipamentos eletro - eletrônicos de uso diário baseia-se em uma lei da Física descoberta há quase dois séculos, a lei da indução. Michael Faraday descobriu que uma corrente eléctrica era induzida em uma espira condutora quando esta se movia nas proximidades de um ímã. Na época, por volta de 1831, este fato não passou de uma mera curiosidade científica para alguns introduzidos em um selecto grupo de pesquisadores da ciência experimental nascente do electromagnetismo. Tomás Edison utilizou posteriormente a lei de Faraday para gerar e distribuir corrente eléctrica através de cabos pela cidade de New York, sendo que a primeira rede eléctrica da história foi inaugurada por volta de 1881, baseada em uma central termoeléctrica, onde a energia térmica de enormes turbinas de vapor era convertida em energia eléctrica, através da rotação de algumas bobinas condutoras circundadas por enormes ímãs. Hoje em dia, desde o funcionamento de uma usina hidroeléctrica de grande porte até a operação de pequenos geradores eléctricos, são explicados por esta lei que recebeu uma formulação matemática bastante elegante nas equações de Maxwell. Esta lei empírica pode ser entendida como: "variação temporal de campo magnético gera campo eléctrico", ou então, a mudança do fluxo magnético através da área de uma espira faz surgir uma força electromotriz induzida, a qual tende a se opor à variação de campo magnético inicial, seguindo a lei de Lenz.

Algumas aplicações de um pequeno motor eléctrico são discutidas neste trabalho, com o objectivo de exemplificação da lei da indução de Faraday.

## 2. HISTORIAL DE ORIGEM DOS MOTORES ELECTRICOS

A primeira indicação de que poderia haver um intercâmbio entre a energia eléctrica e a energia mecânica foi mostrada por Michael Faraday em 1831, através da Lei da Indução Electromagnética, considerada uma das maiores descobertas individuais para o progresso da ciência e aperfeiçoamento da humanidade. Baseado nos estudos de Faraday, o físico italiano Galileu Ferraris, em 1885, desenvolveu o primeiro motor eléctrico assíncrono de corrente alternada. O motor eléctrico é uma máquina destinada a transformar energia eléctrica em energia mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da utilização de energia eléctrica – baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

O ano de 1886 pode ser considerado, como o ano de nascimento da máquina eléctrica, pois foi nesta data que o cientista alemão Werner von Siemens inventou o primeiro gerador de corrente contínua auto-induzido. Entretanto esta máquina que revolucionou o mundo em poucos anos, foi o último estágio de estudos, pesquisas e invenções de muitos outros cientistas, durante quase três séculos.

Em 1600 o cientista inglês *William Gilbert* publicou, em Londres a obra intitulada *De Magnete*, descrevendo a força de atracção magnética. O fenómeno da electricidade estática já havia sido observado antes pelo grego Tales, em 641 a.C., ele verificou que ao friccionar uma peça de âmbar com um pano, esta adquiria a propriedade de atrair corpos leves, como pêlos, penas, cinzas, etc.

A primeira máquina eletrostática foi construída em 1663 pelo alemão *Otto von Guericke* e aperfeiçoada em 1775 pelo suíço *Martin Planta*.

O físico dinamarquês *Hans Christian Oersted*, ao fazer experiências com correntes eléctricas, verificou em 1820 que a agulha magnética de uma bússola era desviada de sua posição norte-sul quando esta passava perto de um condutor no qual circulava corrente eléctrica. Esta observação permitiu a *Oersted* reconhecer a íntima entre o magnetismo e a electricidade, dando assim, o primeiro passo para em direcção ao desenvolvimento do motor eléctrico. O sapateiro inglês *William Sturgeon* – que paralelamente com sua profissão, estudava electricidade nas horas de folga – baseando-se na descoberta de *Oersted* constatou, em 1825, que um núcleo de ferro envolto por um fio condutor eléctrico transformava-se em um ímã quando se aplicava uma corrente eléctrica, observando também que a força do ímã cessava tão logo a corrente fosse interrompida. Estava inventado o eletroímã, que seria de fundamental importância na construção de máquinas eléctricas girantes.

Em 1832, o cientista italiano *S. Dal Negro* construiu a primeira máquina de corrente alternada com movimento de vaivém. Já no ano de 1833, o inglês *W. Ritchie* inventou o comutador construindo um pequeno motor eléctrico onde o núcleo de ferro enrolado girava em torno de um ímã permanente. Para dar uma volta completa, a polaridade do eletroímã era alternada a cada meia volta através do comutador. A inversão da polaridade também foi demonstrada pelo mecânico parisiense *H. Pixii* ao construir um gerador com um ímã em forma de ferradura que girava diante de duas bobinas fixas com um núcleo de ferro. A corrente alternada era transformada em corrente contínua pulsante através de um comutador.

Grande sucesso obteve o motor eléctrico desenvolvido pelo arquitecto e professor de física *Moritz Hermann von Jacobi* – que, em 1838, aplicou-o a um bote. Alimentados por células de baterias, o bote transportou 14 passageiros e navegou a uma velocidade de 4,8 quilómetros por hora.

Somente em 1866 Siemens construiu um gerador sem a utilização de ímã permanente, provando que a tensão necessária para o magnetismo poderia ser retirado do próprio enrolamento do rotor, isto é, que a máquina podia se auto-exitar. O primeiro dínamo de *Werner Siemens* possuía uma potência de aproximadamente 30 watts e uma rotação de 1200rpm. A máquina de Siemens não funcionava somente como um gerador de eletricidade, mas também podia operar como um motor, desde que se aplicasse aos seus bornes uma corrente contínua.

Em 1879, a firma *Siemens & Halske* apresentou, na feira industrial de Berlim, a primeira locomotiva eléctrica, com uma potência de 2kW.

A nova máquina de corrente contínua apresentava vantagens em relação à máquina a vapor, a roda d'água e à força animal. Entretanto, o alto custo de fabricação e a sua vulnerabilidade em serviço (por causa do comutador) marcaram-na de tal modo que muitos cientistas dirigiram sua atenção para o desenvolvimento de um motor eléctrico mais barato, mais robusto e de menor custo de manutenção. Entre os pesquisadores preocupados com esta ideia, destacam-se o iugoslavo *Nikola Tesla*, o italiano *Galileo Ferraris* e o russo *Michael von Dolivo-Dobrovolski*. Os esforços não se restringiram somente ao aperfeiçoamento do motor de corrente contínua, mas também se cogitou de sistemas de corrente alternada, cujas vantagens já eram conhecidas em 1881.

Em 1885, o engenheiro eletrotécnico *Galileo Ferraris* construiu um motor de corrente alternada de duas fases. *Ferraris*, apesar de ter inventado o motor de campo girante, concluiu erroneamente que os motores construídos segundo este princípio poderiam, no máximo, obter um rendimento de 50% em relação a potência consumida. E *Tesla* apresentou, em 1887, um pequeno protótipo de motor de indução bifásico com rotor em curto-circuito. Também esse motor apresentou rendimento insatisfatório, mas impressionou de tal modo a firma norte-americana *Westinghouse*, que esta lhe pagou um milhão de dólares pelo privilégio da patente, além de se comprometer ao pagamento de um dólar para cada HP que viesse a produzir no futuro. O baixo rendimento desse motor inviabilizou economicamente sua produção e três anos mais tarde as pesquisas foram abandonadas.

Foi o engenheiro eletrotécnico *Dobrowolsky*, da firma **AEG**, de Berlim, entrou em 1889 com o pedido de patente de um motor trifásico com rotor de gaiola. O motor apresentado tinha uma potência de 80 watts, um rendimento aproximado de 80% em relação a potência consumida e um excelente conjugado de partida. As vantagens do motor de corrente alternada para o motor de corrente contínua eram marcantes: construção mais simples, silencioso, menos manutenção e alta segurança em operação. *Dobrowolsky* desenvolveu, em 1891, a primeira fabricação em série de motores assíncronos, nas potências de 0,4 a 7,5 kW.



### 3. OBJECTIVOS

Motor eléctrico

#### 3.1. OBJECTIVOS GERAIS

O objetivo geral é proporcionar a fundamentação teórica e prática básica dos fenômenos físicos relacionados ao conteúdo programático, em destaque:

- *Oportunizar as condições de identificação e interpretação qualitativa e quantitativa dos objectos de estudo;*
- *Possibilitar a aplicação dos conhecimentos adquiridos em situações quotidianas envolvendo os fenómenos relacionados ao conteúdo do electromagnetismo.*

#### 3.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

- Demonstrar/ilustrar o princípio (básico) de funcionamento do motor eléctrico construído com materiais de baixo custo com pilha, rotor de bobina e estator de íman.

### 4. CONCEITUALIZAÇÃO

#### 4.1. GENERALIZAÇÃO DO CONCEITO MOTOR ELÉCTRICO

Motor eléctrico é uma máquina destinada a converter energia eléctrica em energia mecânica. É o mais utilizado de todos os motores eléctricos, pois combina a facilidade de transporte, economia, baixo custo, limpeza e simplicidade de comando.

São máquinas de fácil construção e fácil adaptação com qualquer tipo de carga.

As máquinas que actualmente conhecemos não produzem energia, elas convertem outros tipos de energia em energia mecânica para que possam funcionar. Assim como já dizia Lavoisier: "*Na natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma*". Ou seja, nada pode ser criado do nada, apenas transformado de algo já existente. Um exemplo disso é o nosso querido e velho liquidificador. Ele converte a energia eléctrica em energia mecânica para que possa processar os alimentos. Hoje, em face da grande necessidade de se poupar a camada de ozono da emissão de gases poluentes, os motores eléctricos estão sendo largamente utilizados em veículos automotores com o intuito de economizar energia e poupar o meio ambiente. Gases poluentes, como o dióxido de carbono que é liberado dos escapamentos de veículos automotores e das chaminés das fábricas, têm um grande poder de destruição na camada de ozono.

O funcionamento dos motores eléctricos está baseado nos princípios do electromagnetismo, mediante os quais, condutores situados num campo magnético e atravessados por corrente eléctrica, sofrem a acção de uma força mecânica, força essa chamada de torque.

Existem vários tipos de motores eléctricos, dos quais os principais são os de corrente contínua e de corrente alternada. Os motores de corrente contínua são mais caros, pois é necessário um dispositivo que converte a corrente alternada (corrente cuja magnitude e direcção varia ciclicamente) em corrente contínua (fluxo contínuo e ordenado de electrões sempre na mesma direcção). Já os motores de corrente alternada são mais baratos e os mais utilizados, pois a energia eléctrica é distribuída em forma de corrente alternada, reduzindo assim seu custo.

Abaixo está a figura de um esquema simplificado de um motor eléctrico. Ele possui um ímã que produz um campo de indução magnética, um cilindro onde estão os condutores e fios que são ligados a um gerador.

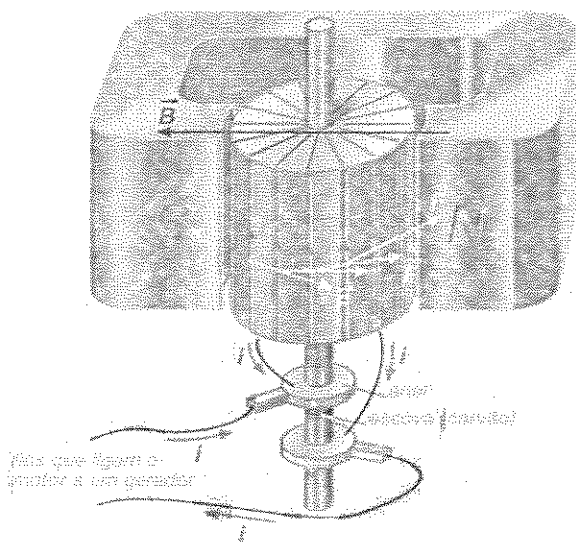


Fig. 1: Esquema simplificado de um motor eléctrico

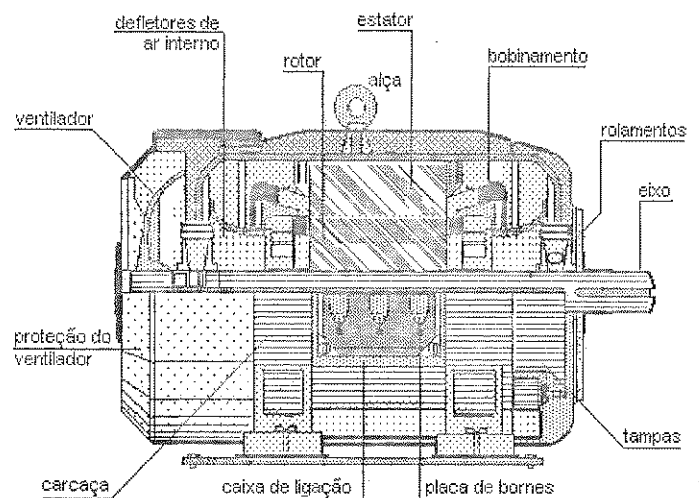


Fig. 2: Esquema de um motor eléctrico

## 4.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS MOTORES ELÉCTRICOS

As dimensões dos motores eléctricos são padronizadas de acordo com a NBR- 5432 as quais acompanham a Internacional Electrotechnical Commission – IEC 60072. Nestas normas a dimensão básica para a padronização das dimensões de montagem de máquinas eléctricas é a altura do plano da base ao centro da ponta do eixo, denominado de H.

A cada altura de ponta de eixo H é associada uma dimensão C, distância do centro do furo dos pés do lado da ponta do eixo ao plano do encosto da ponta de eixo. A cada dimensão H, contudo, podem ser associadas várias dimensões B (dimensão axial da distância entre centros dos furos dos pés), de forma que é possível ter-se motores mais "longos" ou mais "curtos".

Entende-se por forma construtiva, como sendo o arranjo das partes construtivas das máquinas com relação à sua fixação, à disposição de seus mancais e à ponta de eixo, que são padronizados pela NBR-5031.

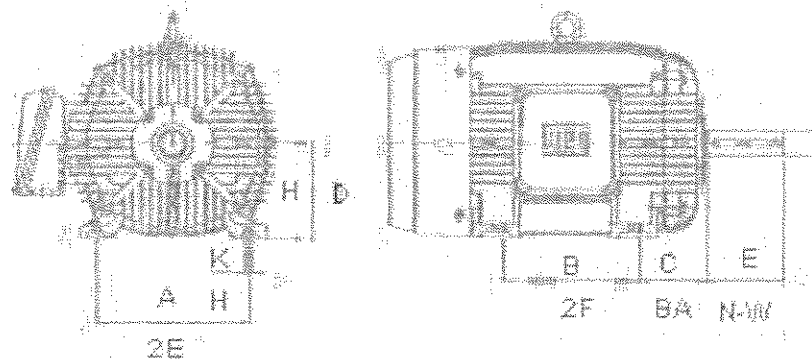


Fig. 3: Esquema de um motor elétrico com parâmetros característicos

Os dados mais importantes são:

- a **potência do motor**, dada em **HP** ou **CV** ( $1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$ ,  $1 \text{ CV} = 735 \text{ W}$ ), para saber, se esse motor é capaz de executar o trabalho desejado (no caso do exemplo da figura acima), a potência do motor é de **3 CV**;
- a **tensão alimentadora** que o motor exige (220 ou 380 V);
- a **frequência** exigida da tensão alimentadora (60 Hz);
- a **corrente nominal** que o motor consumirá (9 ou 5,2 A, dependendo da tensão alimentadora), para dimensionar os condutores de alimentação e os dispositivos de protecção;
- as **rotações** que o motor fará por minuto (3510 RPM);
- a **letra-código** para dimensionar os fusíveis (no exemplo H);
- o **esquema de ligação** que mostra como os terminais devem ser ligados entre si e com a rede de alimentação.

Exemplo de placa com parâmetros característicos dum motor eléctrico:

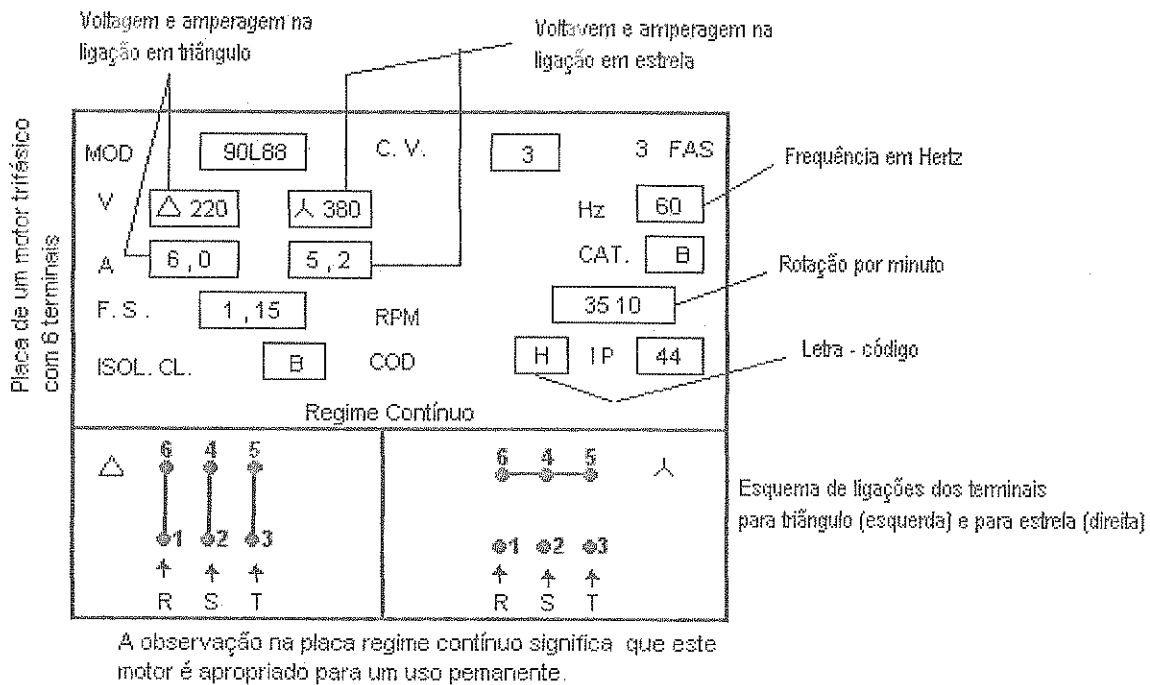


Fig. 4: Exemplo de placa característica do motor eléctrico de aplicação industrial

### 4.3. FUNCIONAMENTO DO MOTOR ELÉCTRICO

A maioria de motores eléctricos trabalham pelo eletromagnetismo, mas existem motores baseados em outros fenómenos eletromecânicos, tais como forças eletrostáticas. O princípio fundamental em que os motores eletromagnéticos são baseados é que há uma força mecânica em todo o fio quando está conduzindo a electricidade contida dentro de um campo magnético. A força é descrita pela lei da força de *Lorentz* e é perpendicular o fio e o campo magnético. Em um motor giratório, há um elemento girando, o rotor. O rotor gira porque os fios e o campo magnético são arranjados de modo que um torque seja desenvolvido sobre a linha central do rotor.

A maioria de motores magnéticos são giratórios, mas os tipos lineares existem também. Em um motor giratório, a parte giratória (geralmente no interior) é chamada o rotor, e a parte estacionária é chamada de estator ou bobina de campo.

## 4.4. CLASSIFICAÇÃO DE MOTORES ELÉCTRICOS

### 4.4.1. MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

São motores de custo elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua. Como a fornecida pelo estator do alternador “rectificada” pelos diodos e são os usados nos automóveis.

Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso seu uso é restrito a casos especiais.

De acordo com sua modalidade construtiva os motores de corrente contínua são do tipo *shunt*, *série* e *compound*. Os *shunts* são empregados quando as características de partida (torque e aceleração) não são muito rígidas como, por exemplo, nas turbo-bombas, ventiladores, esteiras, etc. Estes motores caracterizam-se, também, por operarem com velocidades mais ou menos constantes. Os modelos *série* são empregados quando o conjugado de partida é muito grande, como nos guindastes, pontes rolantes e compressores. O *compound* emprega-se quando há necessidade de partida elevada e funcionamento constante, ou seja, é um motor com as características dos dois anteriores. São empregados para acionamento de bombas alternativas, comprimidores cilíndricos de lâminas (calandras), etc.

### 4.4.2. MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA

São os mais utilizados, porque a distribuição de energia eléctrica é feita normalmente em corrente alternada. Seu princípio de funcionamento é baseado no campo girante, que surge quando um sistema de correntes alternadas trifásico é aplicado em pólos desfasados fisicamente de  $120^\circ$ . Dessa forma, como as correntes são desfasadas  $120^\circ$  eléctricos, em cada instante, um par de pólos possui o campo de maior intensidade, causando a associação vectorial desse efeito o campo girante.

Os principais tipos de corrente alternada são:

a) **Motor síncrono:** funciona com velocidade estável; utiliza-se de um induzido que possui um campo constante pré-definido e, com isso, aumenta a resposta ao processo de arraste criado

pelo campo girante. É geralmente utilizado quando se necessita de velocidades estáveis sob a acção de cargas variáveis. Também pode ser utilizado quando se requer grande potência, com torque constante.

O princípio de funcionamento do motor síncrono baseia-se na interacção de dois campos magnéticos, ou seja, um campo girante produzido no estator por corrente alternada e um campo fixo no rotor produzido por corrente contínua (rotação do eixo igual a rotação síncrona). Estes motores têm uma velocidade de rotação, denominada de *velocidade de sincronismo*, constante e rigorosamente definida pela frequência da corrente e pelo número de pólos, de conformidade com a seguinte expressão:

$$n = ( 120 f / p ) \quad \text{(Fórmula 1)}$$

sendo:

*n* - número de rotações por minuto (normalmente de 500 a 1200);

*f* - frequência da corrente em Hz (na prática = 60);

*p* - número de pólos (em geral 6 a 14).

A estrutura e o mecanismo de operação dos rotores síncronos são relativamente complicados e para o seu funcionamento há necessidade de uma fonte suplementar de energia em corrente contínua destinada à alimentação dos enrolamentos do rotor, visto que o estator recebe corrente alternada. Isto é obtido através de um pequeno gerador (espécie de dínamo) conhecido por *excitatriz*, accionado pelo mesmo eixo do motor. Também não possuem condições próprias de partida necessitando de equipamento auxiliar de partida até atingir a velocidade de sincronismo, em geral, pequenos motores de indução tipo gaiola.

O campo prático de aplicação dos motores síncronos é o das grandes instalações, geralmente quando a potência das bombas ultrapassa de 500HP e as velocidades necessitam ser baixas (até 1800rpm) e constantes. Devido a sua maior eficiência, o dispêndio com a energia eléctrica em grandes instalações, passa a ter significativo valor na economia global do sistema. O custo inicial, entretanto, é elevado e a fabricação ainda restrita em no país. São ainda citadas como desvantagens dos síncronos controlo relativamente difícil e sua sensibilidade às perturbações do sistema (excesso de carga, por exemplo) podendo provocar saídas do sincronismo que provocam paradas de funcionamento, acarretando prejuízos significativos.

**b) Motor de indução:** funciona normalmente com velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas accionadas encontradas na prática. Actualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de conversores de frequência.

Nos motores de indução ou assíncronos, onde os mais comuns são os trifásicos, o princípio de funcionamento baseia-se na indução de um campo girante com velocidade síncrona, produzido por bobinas alimentadas por um sistema de compensadoras automáticas, sobre espiras curto-circuitadas que possam girar em torno de um eixo. Esta indução cria uma força electromotriz nas espiras que, por sua vez, produzem campos girantes que atraem as espiras de modo que cada espira gera um campo reagente com a tendência de anular o efeito do campo girante, cuja somatória de reacções elevam a força de atracção.

Portanto, são duas partes essenciais da mecânica de um motor de assíncrono: o *estator* ou *indutor fixo* e o *rotor* ou *induzido*. O rotor, por sua vez, pode ser do tipo *bobinado* ou do tipo *curto-circuitado* (de gaiola).

Nos assíncronos a velocidade de rotação não coincide exactamente com a velocidade de sincronismo já referida. Devido a carga há uma ligeira redução na rotação em decorrência da atracção do rotor pelo campo girante, tendendo a atingir a mesma velocidade do campo do estator. A medida que o rotor vai se aproximando da velocidade do campo do estator, a variação começa a desaparecer devido a velocidade relativa. Sendo assim o campo reagente do rotor começa a diminuir sua velocidade e o fenómeno reinicia-se devido a um novo aumento da força de atracção. Esta diferença de velocidade, da ordem de 3 a 5%, é conhecida por *escorregamento*. Exemplo: 1200rpm síncrono corresponde 1170rpm de indução. O motor de indução com motor de gaiola é o tipo de uso mais corrente nas pequenas e médias instalações de bombeamento. O rotor não possui nenhum enrolamento, não existindo contacto eléctrico do induzido com o exterior.

O rendimento do motor assíncrono é elevado (analogamente ao estudado para as bombas,  $\eta_m$  é a relação entre a potência fornecida pelo motor e a absorvida pelo mesmo para fornecer aquela). A partida é feita utilizando-se chaves eléctricas apropriadas (estrela-triângulo, chave compensadora, série-paralelo, entre outros). As instalações com bombas da ordem de até 500HP utilizam quase que exclusivamente motores desse tipo.

O motor de indução com rotor bobinado possui um enrolamento de fios também no rotor, com comutação para o exterior através de anéis e colectores, situados na extremidade livre do motor. Na fase de partida são introduzidas resistências reguláveis por meio de reóstato, junto aos terminais. A medida que aumenta a velocidade, as resistências são parcialmente retiradas até a total eliminação, quando o motor atinge a velocidade normal.

Os motores de indução com rotor bobinado têm aplicação recomendada quando se tem um conjugado de partida elevado durante toda a fase inicial de movimentação. Não há necessidade de chaves especiais para a partida. Têm sido utilizados com maior frequência em instalações onde as bombas exigem motores acima de 500HP, embora os motores assíncronos com rotor de gaiola sejam também fabricados para potências maiores. São, também, empregados em compressores, guindastes, esteiras transportadoras, etc., sendo que, nestes casos, com conjugados de partida mais potentes.

Seu custo é bem maior que os motores assíncronos com rotor de gaiola, requerem maiores cuidados de manutenção e têm pior rendimento. São mais indicados para bombeamento com velocidade variável, opção quando as variações de vazão são excessivas para bombeamentos constantes convencionais.

**Nota:**

*Na verdade a classificação dos motores eléctricos quando vista de uma forma um pouco mais detalhada é um tanto complexa e quase sempre leva a confusões mesmo de estudiosos do assunto, isto é uma pequena amostra da enorme quantidade de motores eléctricos que existem, pois, estudo profundo seria necessário para conhecer todos eles.*



## 5. CONCEPÇÃO DO MOTOR ELÉCTRICO SIMPLES DE BAIXO CUSTO

### 5.1. MATERIAL PARA MONTAGEM DO MOTOR

- *Pilha grande (3V);*
- *Suporte para pilha;*
- *Imã;*
- *Suporte de madeira ou plástico;*
- *Fio de cobre esmaltado para motor (2m);*
- *Arames;*
- *Pregos;*
- *Base de madeira com suporte metálico;*

### 5.2. FOTOGRAFIA E CIRCUITO DA MONTAGEM

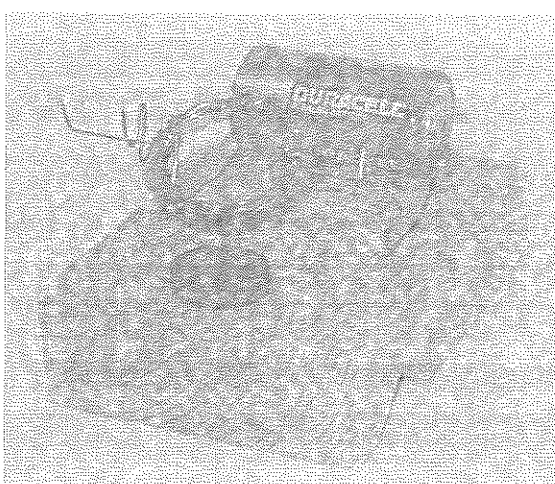


Fig.5: *Imagem do aparato experimental*

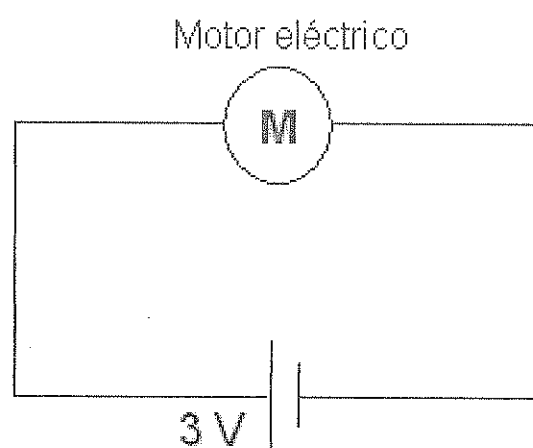


Fig.6: *Esquema eléctrico do circuito*

### 5.3. MONTAGEM DA EXPERIÊNCIA

- *Faz-se círculos concêntricos com o arame esmaltado deixando as pontas divergindo uma para cada lado, como no desenho da figura 5;*
- *Fixa-se a pilha grande no suporte metálico para que esta funcione como uma fonte de energia;*
- *Raspa-se totalmente uma das pontas da bobina e a outra extremidade raspa-se somente uma faixa, de maneira que o fio esmaltado da bobina conduza energia somente quando em contacto com a parte raspada;*

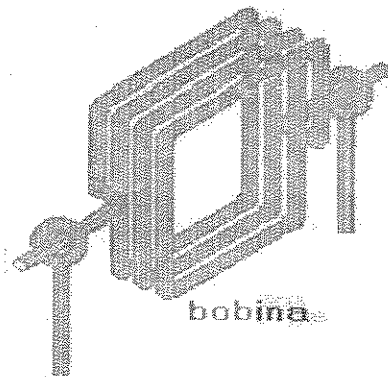


Fig.7: *Pormenor da bobina com fio esmaltado*

- Fixa-se a bobina sob a parte aérea do suporte e observe que começará a rodar. Caso não inicie sozinho o movimento pode-se dar um impulso inicial, e se mesmo assim não rodar pode ser que a faixa semi-raspada da extremidade da bobina não esteja posicionada correctamente, pega-se o alicate e rotaciona-se levemente;
- Deste modo, o motor está pronto;
- *Observe que a faixa crítica deste experimento é somente a extremidade semi-raspada da bobina, se ela for feita correctamente certamente o motor funcionará dessa maneira:*

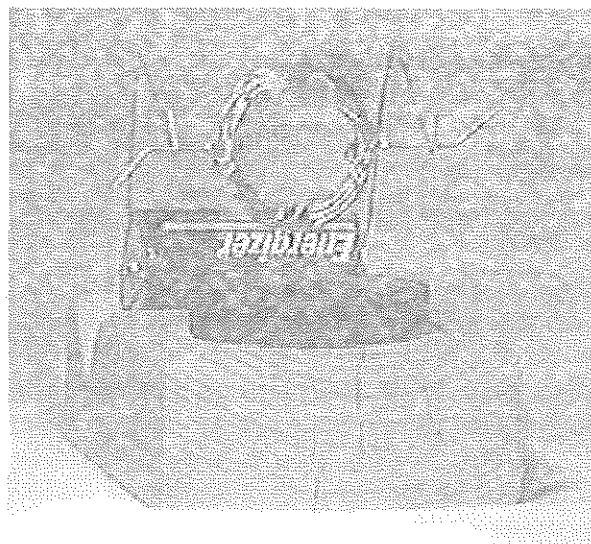


Fig.8: *Montagem experimental em funcionamento*

#### 5.4. DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO DA EXPERIÊNCIA

- Para fazer o rotor, deve-se enrolar cuidadosamente o fio de cobre esmaltado numa forma (caixinha de fósforo), conforme a configuração geométrica que se pretender, podendo esta, ser rectangular ou circular;
- Cuidar para que as pontas do enrolamento formem um eixo equilibrado, para garantir um bom movimento do rotor;
- Raspar as pontas do eixo do rotor com uma lâmina ou lixa, para garantir um bom contacto eléctrico com os mancais;
- Cortar o fio de cobre encapado de 3 mm em dois pedaços e dobrar cada uma de suas extremidades em forma de  $u$ , e fixar na base plástica construindo-se assim os mancais do motor. Dividir o fio de ligação ao meio e ligar as extremidades inferiores dos mancais à fonte (pode-se fazer associação em série das 2 pilhas de 1,5 V), podendo fixar os fios à base com ajuda de pequenas tachas. As pilhas são fixadas na base plástica, fazendo uma pequena porta pilhas, a partir de pequenas tiras do mesmo material plástico;
- Recortar a chapa de latão em pequenas tiras de (1x1) cm para fazer os bornes dos fios de ligação a conectar nas pilhas;
- O estator é formado pelo íman permanente, que pode ser colocado por baixo ou por cima do rotor, podendo-se usar calços para que o íman fique a altura correcta, próximo do rotor.

#### 5.5. DESCRIÇÃO DA REALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Após a montagem do circuito acima descrito, basta apenas colocar o rotor nos mancais para fechar o circuito e o motor entra em funcionamento.

## 6. CONCLUSÕES

No motor, existem dois campos magnéticos diferentes, um produzido pelo íman (estator) e outro produzido pela corrente eléctrica que circula pelo fio enrolado (rotor) e por conseguinte um par de forças (torque). É este torque, resultante da interacção entre os dois campos que faz com que o rotor gire. Portanto, sem essa interacção o motor não funciona, daí que ao se afastar gradualmente o íman em relação ao rotor, sua velocidade de rotação vai também diminuindo até cessar, quando não mais se fizer sentir o efeito do campo magnético do íman. O mesmo acontecerá se por ventura não fluir corrente através do circuito.

A prática mostra que a inversão da polaridade do íman resulta na inversão do sentido de rotação (inversão de marcha) do rotor pois o sentido das linhas de indução magnética actua em sentido inverso. O mesmo resultado se verifica ao se inverter a polarização das pilhas, pois o sentido de circulação da corrente é inverso.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. FÍSICA – vols. 2. Halliday, David; Resnick, Robert; Krane, Kenneth S.; 5ª ed., 2002, Editora LTC;
2. FÍSICA PARA CIENTISTAS E ENGENHEIROS-VOL. 2. Tipler, Paul A.; Mosca, Gene, 2006, LTC Editora;
3. Laboratório didático virtual da USP: <http://www.labvirt.futuro.usp.br/>;
4. Biblioteca de Ciências Físicas do site "Como as Coisas Funcionam": <http://science.howstuffworks.com/channel.htm?ch=sciencesub=sub-physical-science>;
5. Louis A. Bloomfield, *How Things Works: The Physics of Everyday Life* (John Wiley and Sons, USA, 1997);
6. Erivaldo Montarroyos e Wictor C. Magno, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **23**, 57 (2001);
7. Wictor C. Magno e Erivaldo Montarroyos, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **24**, 497 (2002);
8. W.C. Magno, A.E.P. de Araujo, M.A. Lucena and E. Montarroyos, *Rev. Brasi. Ens. Fis.* **26**, 117 (2004);