

**FACULDADE METROPOLITANA DE RIO DO SUL - FAMESUL**

**EFEITOS DO MAL DIMENSIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS NO  
ÂMBITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**RIO DO SUL  
2020**

**FACULDADE METROPOLITANA DE RIO DO SUL - FAMESUL**

**RICHARD BENNERT FELIPE**

**EFEITOS DO MAL DIMENSIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS NO  
ÂMBITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Departamento de Serviço Social Faculdade Metropolitana de Rio do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Orientador: Marcelo da Silva

**RIO DO SUL  
2020**

## RESUMO

Os motores elétricos são a grande maioria dos consumidores de energia elétrica na indústria e por isso deve se dar atenção ao dimensionamento correto dessas máquinas. É comum encontrarmos motores elétricos mal dimensionados operando com baixo rendimento e consumindo energia elétrica que poderia ser economizada. Desta forma o presente trabalho busca destacar a importância do dimensionamento correto dos motores elétricos para operarem de acordo com a sua faixa de operação recomendada. Podendo além de economizar energia elétrica, melhorar o fator de potência, diminuindo a utilização dos capacitores para corrigi-la.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Mal dimensionamento. Motores Elétricos.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidades Síncronas.....	23
---------------------------------------	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo Anual de Energia Elétrica por Classe em 2018.....	8
Gráfico 2 – Distribuição do consumo de Energia Elétrica na Indústria por Processos .....	9
Gráfico 3 – Gráfico de Rendimento de um Motor Elétrico .....	26

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Motor de Indução de Dobrowolski .....	10
Figura 2 – Evolução do Motor Elétrico (Relação Peso/Potência).....	11
Figura 3 – Motor de Corrente Contínua .....	13
Figura 4 – Diferenças dos Motores de Corrente Contínua .....	13
Figura 5 – Motor Monofásico.....	14
Figura 6 – Os Tipos de Motores Elétricos.....	16
Figura 7 – Motor de Indução Trifásico.....	17
Figura 8 – Placa de Identificação de um Motor Assíncrono Trifásico com Rotor de Gaiola	18
Figura 9 – Ligação Série-Paralelo Estrela e Série-Paralelo Triângulo.....	19
Figura 10 – Ligação Estrela Triângulo .....	20
Figura 11 – Curva Conjugado x Rotação .....	22
Figura 12 – Perdas no Motor de Indução .....	25

## SUMÁRIO

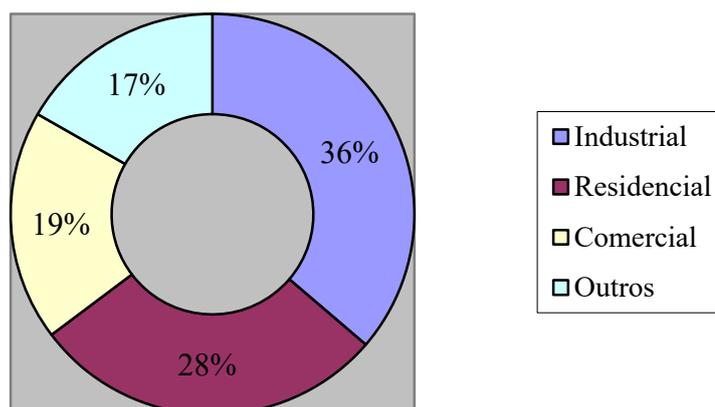
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. PRINCÍPIOS E PARTICULARIDADES DOS MOTORES ELÉTRICOS.....</b>	<b>9</b>
2.1 O SURGIMENTO DA MÁQUINA ELÉTRICA E OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS .....	9
2.2 OS TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS.....	12
2.3 O MOTOR DE INDUÇÃO DE GAIOLA E SUAS CARACTERÍSTICAS .....	16
2.3.1 Tensão Nominal.....	18
2.3.2 Potência Nominal .....	20
2.3.3 Corrente Nominal .....	20
2.3.4 Frequência Nominal .....	21
2.3.5 Fator de Potência .....	21
2.3.6 Fator de Serviço.....	21
2.3.7 Conjugado.....	21
2.3.8 Rendimento.....	23
2.3.9 Classes de Isolamento.....	23
2.3.10 Velocidade Síncrona.....	23
2.3.11 Escorregamento .....	23
2.3.12 Velocidade Nominal.....	23
<b>3. PERDAS ÔHMICAS DOS MOTORES DE INDUÇÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>4. SOBREDIMENSIONAMENTO DOS MOTORES ELÉTRICOS.....</b>	<b>25</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Crise do Apagão que aconteceu em 2001, evidenciou a necessidade de rever a forma como a Energia Elétrica era consumida. Com cada vez mais novas tecnologias aparecendo, e o crescimento da capacidade das pessoas de adquirir estes bens, tais como eletrodomésticos, ar-condicionados e eletroeletrônicos, a demanda de energia elétrica cresceu vertiginosamente, ultrapassando a capacidade de geração de energia elétrica. Embora o grande problema naquela época era a falta de planejamento e de investimento na geração e distribuição, existe também até hoje a necessidade de fazer com que a forma que consumimos a energia elétrica seja mais eficiente, poupando assim, recursos naturais utilizados na geração de energia elétrica.

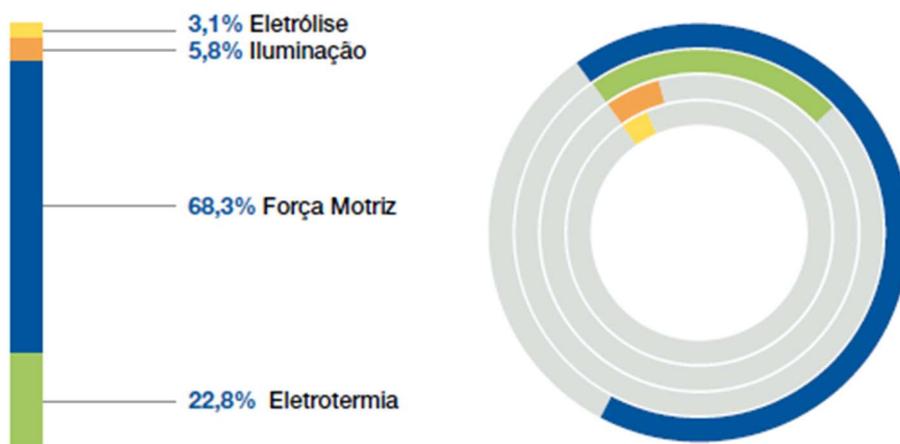
Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2018, a Indústria teve um consumo de aproximadamente 170 GWh, cerca de 36% da energia gerada pelo Brasil, sendo a classe que mais consumiu nesse período, tendo também um crescimento de 1,4% em relação ao ano anterior. E de acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o processo que mais consome energia elétrica, cerca de 68,3% da energia consumida nas indústrias, é feita por motores elétricos.

GRÁFICO 1 – CONSUMO ANUAL DE ENERGIA ELÉTRICA POR CLASSE EM 2018



FONTE: EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS. **Consumo Anual de Energia Elétrica por Classe (Nacional).** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 09 jun. 2020.

## GRÁFICO 2 – DISTRUBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA POR PROCESSOS



FONTE: WEG. **Cartilha sobre Eficiência Energética**. Disponível em: <<https://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/energy-efficiency>>. Acesso em: 09 jun. 2020.

O amplo consumo de energia elétrica das forças motrizes, fazem dos motores elétricos a principal atuação dos programas de eficiência energética nas indústrias. Diante disso, este trabalho tem como objetivo principal:

- Apresentar os problemas do mal dimensionamento de motores elétricos.

Tendo como objetivos específicos:

- Conhecer as principais características, particularidades e princípios dos motores elétricos;
- Descrever as perdas ôhmicas que ocorrem no motor de indução trifásico;
- Compreender a importância do dimensionamento correto de motores elétricos de acordo com a sua faixa de rendimento, evitando motores mal dimensionados.

## 2 PRÍNCIPIOS E PARTICULARIDADES DOS MOTORES ELÉTRICOS

### 2.1 O SURGIMENTO DA MÁQUINA ELÉTRICA E OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS

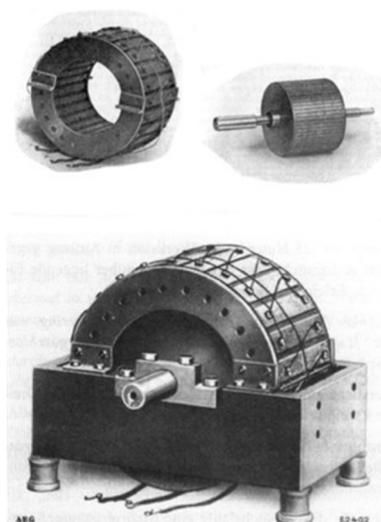
Em 1600, foi publicada a obra “Da Magnete”, escrita por William Gilbert, a obra descrevia os princípios da força de atração magnética. Em 1799, Alessandro Volta descobriu que se fosse inserido em um líquido condutor, dois metais diferentes, surgiria uma pequena

tensão elétrica, com isso ele desenvolveu a “Coluna de Volta”, uma fonte de corrente elétrica. Em 1820, Hans Christian Oersted descobriu que se uma bússola estivesse perto de um condutor de corrente elétrica, a sua agulha magnética afastava de posição (1). Com base nesses estudos, em 1825, William Sturgeon desenvolveu o primeiro eletroímã, dispositivo que utiliza da corrente elétrica para criar um campo magnético. William dobrou uma barra de ferro comum, de modo que ficasse parecido com o formato de uma ferradura, envernizou-a e depois a enrolou com um fio de cobre, depois disso ele aplicou uma corrente elétrica na “ferradura” que se tornou um ímã, surgindo assim o eletroímã, fundamental para várias invenções como o telefone, telégrafo, e principalmente o motor elétrico (2).

Em 1832, Salvatore Dal Negro elaborou a primeira máquina de corrente alternada com movimento oscilante. No ano de 1866, Werner Siemens, construindo o primeiro gerador sem ímã. permanente, mostrando que a tensão necessária podia ser retirada do próprio enrolamento do motor. Em 1885, Galileu Ferraris desenvolveu o primeiro motor de corrente alternada de duas fases. Em 1887, Nikola Tesla desenvolveu o motor de corrente alternada bifásico, porém, com rotor em curto-circuito (1).

Contudo, foi em 1889, que Mikhail Dolivo-Dobrowolsky, da AEG, que desenvolveu o primeiro motor trifásico com rotor de gaiola. O motor de Dobrowolsky possuía um bom conjugado de partida, uma potência de 80 watts, e um rendimento de aproximadamente 80% em relação à potência consumida. A vantagem do motor assíncrono de gaiola em relação aos de corrente contínua era ampla, os motores de rotor de gaiola são mais silenciosos, mais simples, portanto, necessitava de menos manutenções (3).

FIGURA 1 – MOTOR DE INDUÇÃO DE DOBROWOLSKI



FONTE: Electric Transformer Story. **Dolivo Dobrowolsky Induction Motor**. Disponível em: <[http://pireh-dev.univ-paris1.fr/TPTI/groupe1\\_tpti/items/show/166](http://pireh-dev.univ-paris1.fr/TPTI/groupe1_tpti/items/show/166)>. Acesso em: 09 jun. 2020

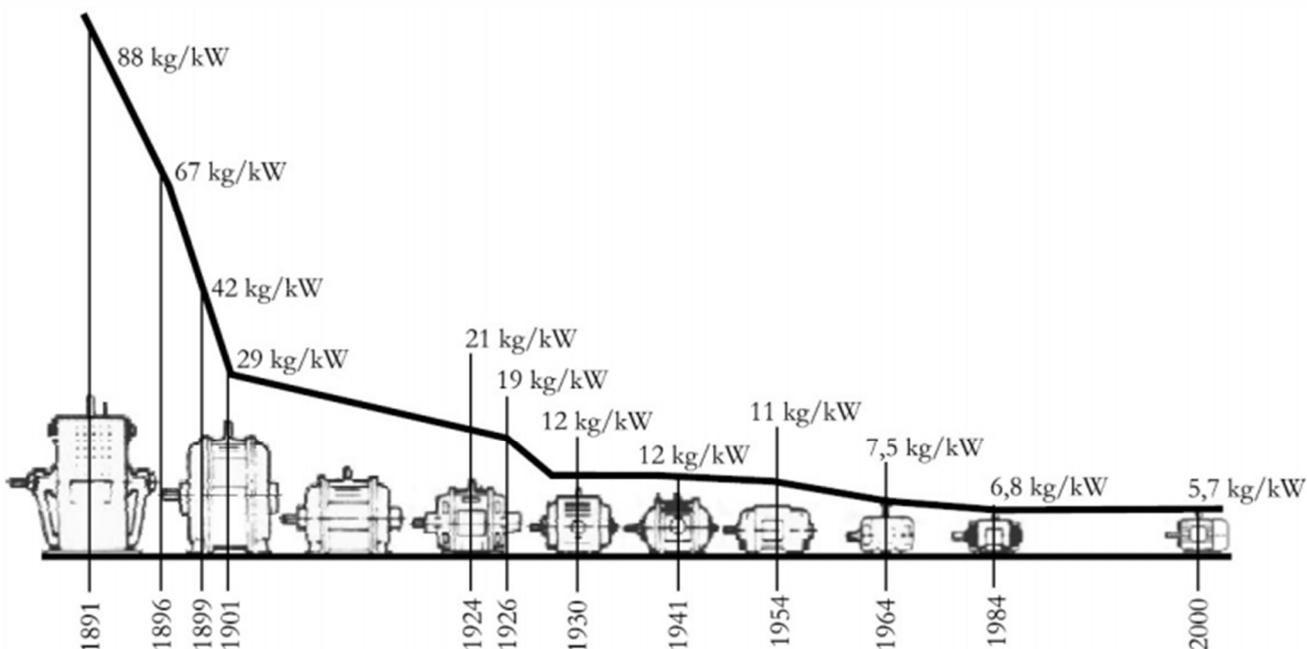
Os motores elétricos assíncronos da atualidade se baseiam nos mesmos princípios do motor construído por Dobrowolsky em 1889, e os desenvolvimentos e pesquisas se baseiam no aperfeiçoamento dos materiais condutores, magnéticos e isolantes dos motores (3).

O aperfeiçoamento dos materiais isolantes foram os que mais contribuíram para o avanço da tecnologia dos motores elétricos. Antigamente, o motor só poderia atuar em baixas temperaturas por causa da isolação dos fios de cobre que eram com dupla camada de algodão, e que não possuíam capacidade de aguentar grandes temperaturas (4). Hoje em dia, os fios de cobre são esmaltados com vernizes e possuem uma camada mais fina, possuem rigidez dielétrica elevada, e também a capacidade de suportar grandes temperaturas. A camada de esmalte dos fios de cobre por estarem mais finas, ocasionou também na diminuição das ranhuras, pois os fios ocupam menos espaço nelas (3).

Outra boa melhoria foi a redução e o peso dos motores ocasionada pela evolução das chapas de aço, dos fios condutores, e dos filmes isolantes. Outro fator de avanço foi a implementação dos imãs de neodímio, também conhecidos como imãs de terras raras, no motor elétrico. Antigamente era utilizado imãs de ferro, que tinham uma densidade de energia muito pequena, já os imãs permanentes de terras raras têm grande densidade de energia, fazendo com que reduza as perdas do rotor, aumentando o rendimento da máquina (3).

O crescimento do rendimento dos motores elétricos está relacionado ao processo de fabricação e o aprimoramento do projeto eletromagnético, necessitando de grandes quantidades de materiais, e de matérias cada vez melhores, porém, a limitação das propriedades magnéticas dos materiais eletromagnéticos amplamente utilizados na fabricação dos motores e demais máquinas elétricas, como o alumínio, cobre e chapas de aço, já foi alcançada, fazendo com que a descoberta de novos materiais seja importante para dar mais um salto tecnológico em relação ao rendimento das máquinas elétricas, sendo hoje limitado apenas pela dimensão e pelo custo do motor (3).

FIGURA 2 – EVOLUÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO (RELAÇÃO PESO/POTÊNCIA)



FONTE: Motorelétrico.net. **Avanço Tecnológico dos Motores Elétricos.** Disponível em: <<http://www.motoreletrico.net/index.asp?InCdSecao=3&InCdEditoria=1&InCdMateria=39&>>. Acesso em: 09 jun. 2020

## 2.2 OS TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS

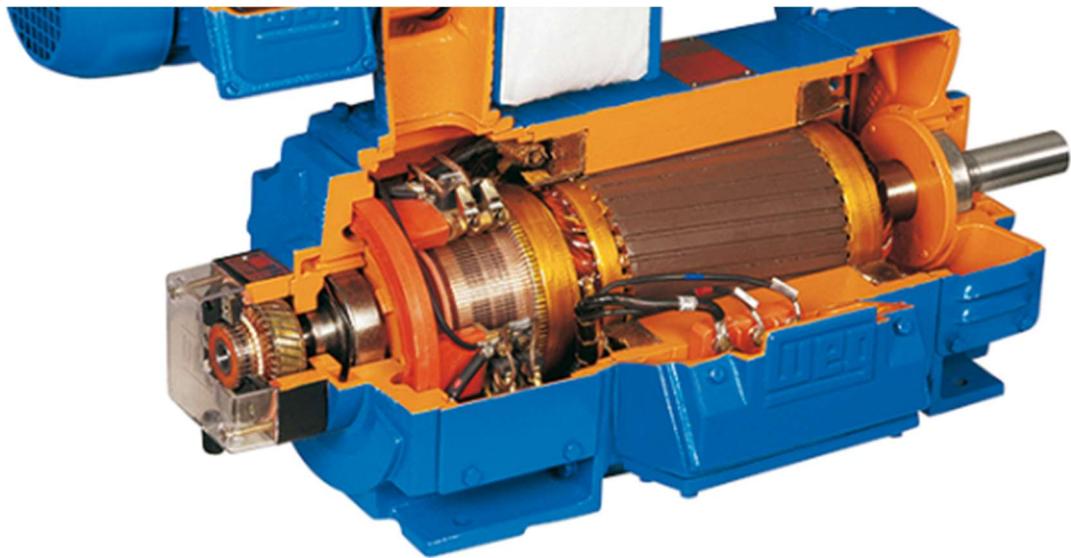
O motor elétrico é essencialmente uma máquina que utiliza energia elétrica em energia mecânica de utilização (5).

Podemos dividir os motores elétricos em dois grupos: motores elétricos de corrente contínua e motores elétricos de corrente alternada.

Os motores de corrente contínua são aqueles que necessitam de uma fonte de corrente contínua para serem acionados. Os motores de corrente contínua são úteis quando é preciso ter um controle tênue de velocidade em um procedimento de fabricação. Eles podem ser produzidos em três tipos distintos: motores série, motores compostos e motores em derivação (5). Motores série, são os que aproveitam da corrente de carga para utilizá-la como corrente de excitação, nestes motores as bobinas de campo são ligadas em série com as bobinas do induzido. Os motores série não podem trabalhar a vazio, porque a sua velocidade teria a propensão de aumentar a sua velocidade consideravelmente, podendo assim, avariar a máquina. Já os motores em derivação, são aqueles que o campo está diretamente ligado a fonte de alimentação e em paralelo com o induzido. Eles apresentam uma velocidade

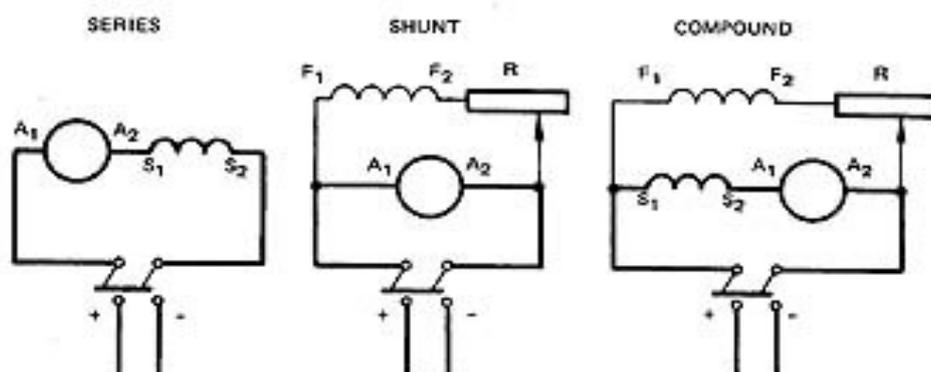
constante e um conjugado variável conforme a carga se permanecerem perante uma tensão constante. Os motores compostos unem as características dos motores série e em derivação. Eles possuem duas bobinas, sendo uma ligada em série e uma em paralela com o induzido. Os motores de corrente contínua composto têm um alto conjugado de partida e velocidade quase constante no acionamento de cargas variáveis (5).

FIGURA 3 – MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA



FONTE: WEG. **Catálogo de Motores de Corrente Contínua**. Disponível em: <[https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Corrente-Cont%C3%AAdnua/Linha-D/Motores-de-Corrente-Cont%C3%AAdnua/p/MKT\\_WEN\\_DLINE](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Corrente-Cont%C3%AAdnua/Linha-D/Motores-de-Corrente-Cont%C3%AAdnua/p/MKT_WEN_DLINE)> Acesso em: 09 jun. 2020

FIGURA 4 – DIFERENÇAS DOS MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA



FONTE: Industrial Electronics. **The DC Shunt Motor**. Disponível em: <[https://www.industrial-electronics.com/elec4\\_1.html](https://www.industrial-electronics.com/elec4_1.html)> Acesso em: 09 jun. 2020

Os motores de corrente alternada são aqueles que precisam de uma fonte de corrente alternada para operar, e são a vasta maioria nas aplicações industriais (5). Dos motores de corrente alternada, os motores síncronos são os menos utilizados em comparação com os assíncronos no ramo industrial. Os motores síncronos atuam aplicando tensão alternada nos terminais do estator, excitando o campo rotórico através de uma fonte de corrente contínua. A excitação de campo é realizada utilizando anéis coletores ligados ao eixo do motor. A corrente formada pelo circuito estatórico é função da corrente de excitação para uma certa carga acionada pelo motor. Quando o motor está a vazio, a corrente do estator é na prática igual a corrente de magnetização. Caso uma carga mecânica seja ligada ao motor, a corrente absorvida pelo estator aumentará, criando um conjugado motor capaz de vencer o conjugado resistente (5).

Os motores monofásicos de indução são geralmente construídos para baixas potências, e são de pouco utilizados industrialmente se comparados com os motores trifásicos. Existe um segundo enrolamento nos motores monofásicos, com a tarefa de realizar a partida do motor. O torque de partida é criado pela defasagem de  $90^\circ$  do circuito principal e do circuito de partida, que é ligado junto a um condensador. O sentido da rotação do motor é direcionado pelo campo rotativo. Um dispositivo acionado por força centrífuga, permite com que o circuito de partida fique ligado em vão depois que o motor é ligado, desligando o enrolamento de partida. A bobina que aciona o circuito de partida é desenergizada pela redução da corrente no circuito principal depois que o motor entrar no regime normal de funcionamento. O condensador de partida é do tipo eletrolítico, capaz de funcionar somente quando a tensão estiver em uma certa polaridade. É montado em cima da carcaça do estator, com um suporte que o protege mecanicamente (5).

FIGURA 5 – MOTOR MONOFÁSICO



FONTE: WEG. **Catálogo de Motores Monofásicos.** Disponível em: <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%3%A9tricos/Monof%3%A1sico/Usos-Gerais/Motor-de-Chapa-Aberto-%28IP21%29/Geral-1-cv-4P-D56-1F-127-220-V-60-Hz-IC411---TFVE---Com-p%3%A9s/p/12026549>> Acesso em: 10 jun. 2020

Os motores do tipo universal são aqueles que tem a capacidade de funcionar tanto em corrente alternada quanto em corrente contínua, e são bastante utilizados em eletrodomésticos. São formados basicamente por uma bobina de campo em série com a bobina de armadura, e de uma bobina de compensação que pode estar ligada em série (condutiva) ou em paralelo (indutiva) com a bobina de campo (5).

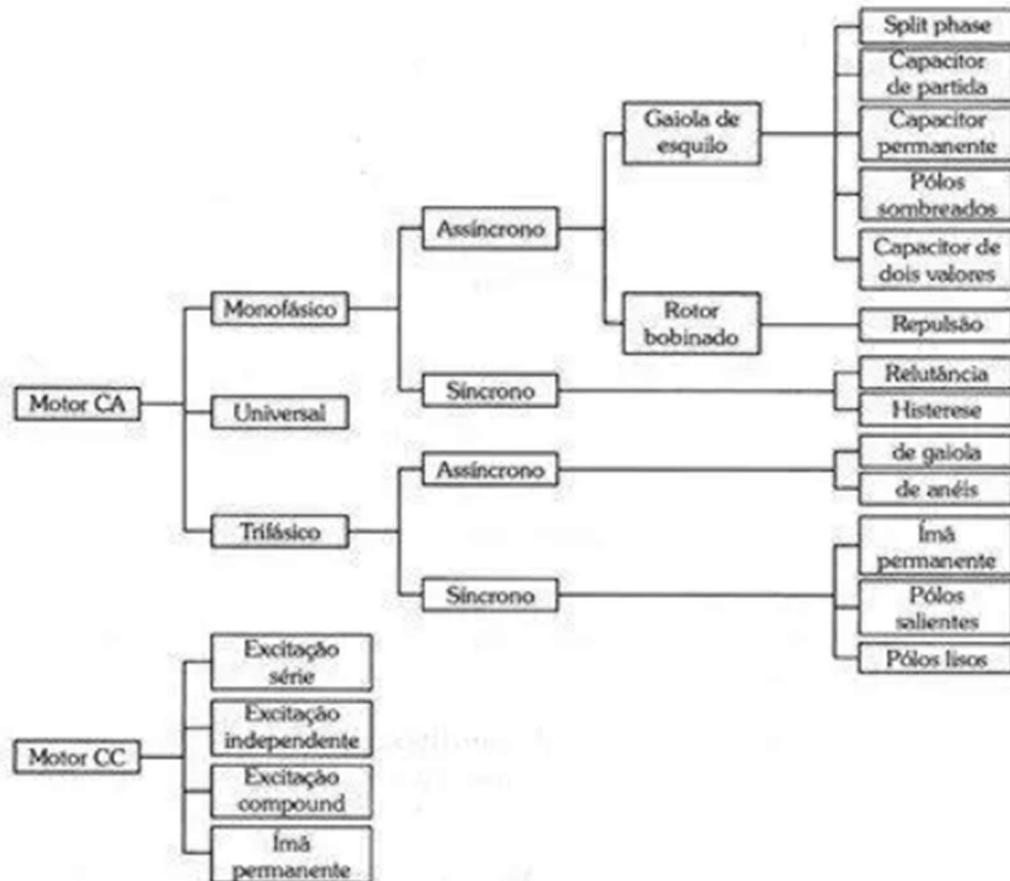
O motor universal age como um motor DC série, caso estiver sendo usado tensão contínua, porém se estiver sendo usado tensão alternada, o sentido do campo magnético inverte no estator e o sentido da corrente muda no rotor, no entanto, o torque continua no mesmo sentido por causa da regra da mão esquerda. Uma das razões de não se usar um motor DC série para atuar em corrente alternada é devido a alta reatância no enrolamento e na armadura que faz com que exista uma alta queda de tensão. Outro fator é a enorme perda por correntes parasitas, por isso o motor universal possui núcleos laminados (6).

Os motores trifásicos são os que são constituídos por um sistema trifásicos de três fios, nas quais as tensões estão defasadas em  $120^\circ$  elétricos. Eles formam a maior parte dos motores utilizados nas indústrias. Eles podem ser classificados em motores síncronos e assíncronos (5).

Os motores de rotor bobinado, ou de anéis, são mais utilizados quando se necessita de um controle apropriado à movimentação da carga, ou quando se é necessário acionar uma carga utilizando um reostato de partida. O motor de indução trifásico de rotor bobinado é composto por bobinas nas quais os seus terminais são conectados em anéis coletores fixados e isolados no eixo do motor e ligados com o uso escovas condutoras a uma resistência trifásica com cursor rotativo. As resistências são aplicadas em série com o circuito do enrolamento do rotor, e a quantidade irá depender do número de estágio de partida usados, na qual irá ser dimensionado de acordo com o valor da máxima corrente aceitável para o acionamento da carga. Estes motores também são utilizados na frenagem elétrica, contendo apropriadamente cargas verticais em pequenas velocidades, para esse fim, é utilizado um sistema composto de frenagem subsíncrona com inversão das fases de alimentação. No levantamento, o motor é acionado normalmente, sendo que o ajuste dos resistores do circuito irá determinar a força e a velocidade. No abaixamento da carga, ocorre a troca das fases de alimentação, fazendo o

motor se comportar como um gerador em regime subsíncrono, rotacionando no sentido contrário ao regime anterior, fornecendo energia à rede (5).

FIGURA 6 – OS TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS



FONTE: Mundo da Elétrica. **Os tipos de motores elétricos, quais são?** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/tipos-de-motores-eletricos-quais-sao/>> Acesso em: 10 jun. 2020

### 2.3 O MOTOR DE INDUÇÃO COM ROTOR EM GAIOLA E AS SUAS CARACTERÍSTICAS

Os motores de indução, também chamados de motores assíncronos, são os mais utilizados nas indústrias devido a sua robustez, simplicidade de construção, vida útil elevada, e baixo custo de aquisição e manutenção. Os motores de indução são basicamente compostos por estator e rotor (5).

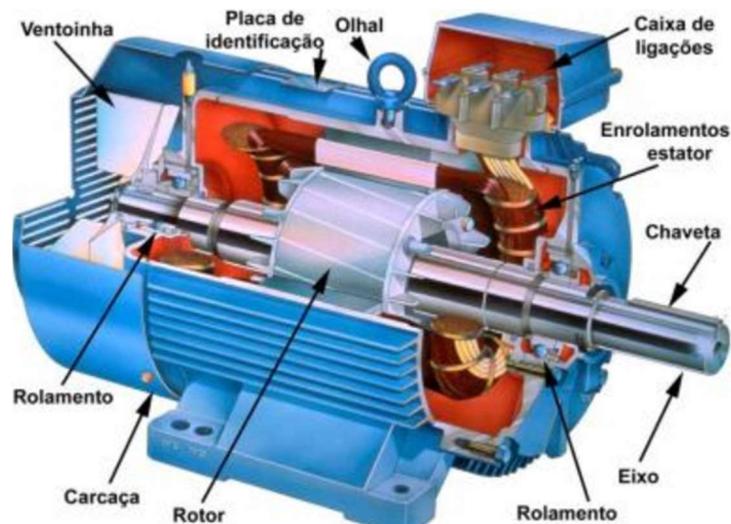
O estator é formado por carcaça, núcleo de chapas e enrolamentos. A carcaça é formada por uma construção resistente, geralmente fabricada em ferro fundido, podendo ser também fabricada em alumínio injetado ou aço. A carcaça é resistente à corrosão e possui

superfície aletada, e tem como objetivo proteger as partes físicas e móveis do motor. O estator também possui fixada em sua estrutura chapas magnéticas, e possui enrolamentos feitos de material condutor isolado, alinhados sobre o núcleo e conectados à rede de alimentação (5).

O rotor é formado pelo eixo, cuja função é transmitir a potência mecânica produzida pelo motor elétrico. O rotor também possui chapas magnéticas fixadas sobre o eixo, e barras e anéis de curto-circuito feitos com alumínio injetado sobre pressão (5).

O motor de indução também possui ventilador, que remove o calor reunido na carcaça; tampa defletora; caixa de ligação e terminais, onde se é feita a conexão dos condutores de alimentação do motor; rolamentos fixados sobre o eixo; e a tampa lateral (5).

FIGURA 7 – MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

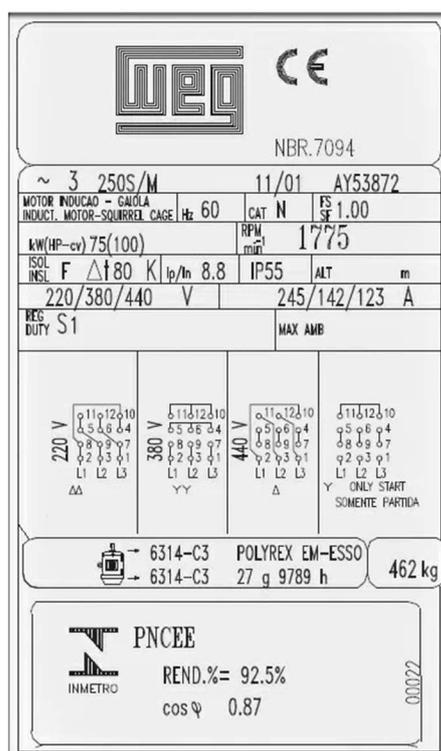


FONTE: Portal Eletricista. **Motor de Indução** Disponível em: <  
<https://www.portaleletricista.com.br/motor-de-inducao-funcionalidade-significado-dicas-passo-a-passo/>>  
Acesso em: 12 jun. 2020

As correntes rotóricas são criadas eletromagneticamente pelo estator, que é o único elemento conectado à alimentação. A atuação de um motor elétrico assíncrono relativo ao rotor é comparada ao secundário de um transformador. O funcionamento de um motor assíncrono consiste no princípio de criação de campo magnético rotativo formado pelo caminho da corrente elétrica nas bobinas, do qual o fluxo, se transporta no rotor, criando correntes induzidas que se opõe ao campo rotativo. O rotor, portanto, nunca alcançará a velocidade do campo rotativo, porque senão este não irá criar as correntes induzidas, responsáveis pelo trabalho mecânico do rotor. Quando o motor está a vazio, o rotor irá ter uma velocidade angular praticamente igual a velocidade síncrona do campo girante do estator.

Conforme for adicionada carga no eixo, o rotor diminuirá velocidade. A diferença entre as velocidades síncronas e a velocidade do rotor é chamada de escorregamento. Os motores assíncronos trifásicos com rotor em gaiola são utilizados sobretudo em máquinas aonde não se tem oscilações de velocidade (5).

FIGURA 8 – PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DE UM MOTOR ASSÍNCRONO TRIFÁSICO COM ROTOR DE GAIOLA



FONTE: RDT RAGEMG. **Placa de Identificação Motor Gaiola de Esquilo.** Disponível em: <<https://www.robertdicastecnologia.com.br/2014/08/placa-de-identificacao-de-motores/>> Acesso em: 12 jun. 2020

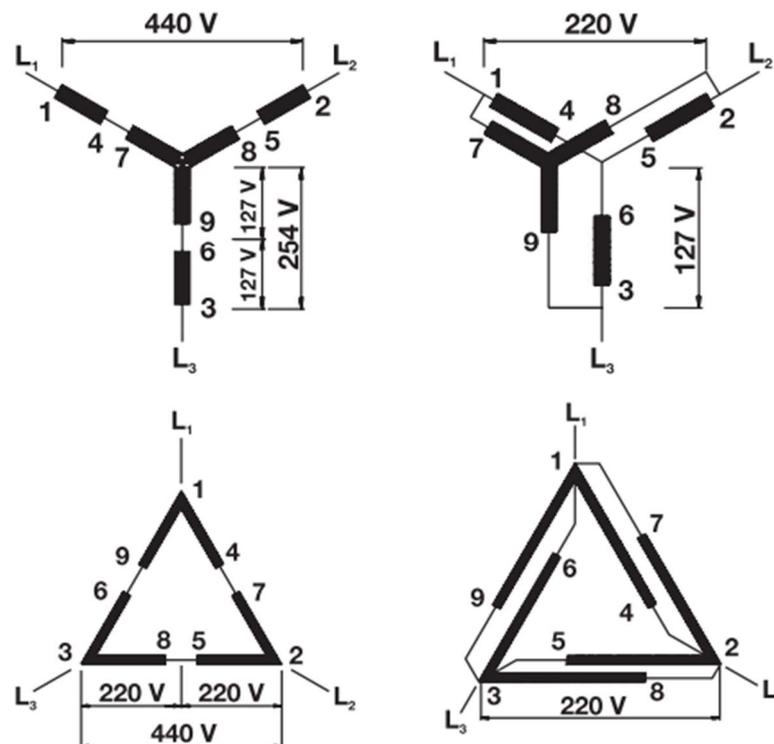
### 2.3.1 Tensão Nominal

Tensão Nominal é a tensão na qual o motor foi projetado. As tensões mais utilizadas na indústria são 220V, 380V e 440V. A ligação de um motor elétrico irá depender das tensões nominais múltiplas na qual o motor foi projetado (7).

Na ligação série-paralela, o enrolamento de cada fase é separado em duas metades. Conectando as duas partes em série, cada uma terá metade da tensão de fase nominal do motor, caso forem conectadas em paralelo, o motor poderá ser ligado com uma tensão equivalente à metade se caso os enrolamentos fossem ligados em série, sem que isso

modifique a tensão colocada em cada bobina. Este tipo de ligação necessita com que o motor tenha nove terminais e a tensão nominal mais comum é 220/440V, sendo que quando os terminais do motor estão ligados em paralelo, apresentam 220V e em série, 440V (7).

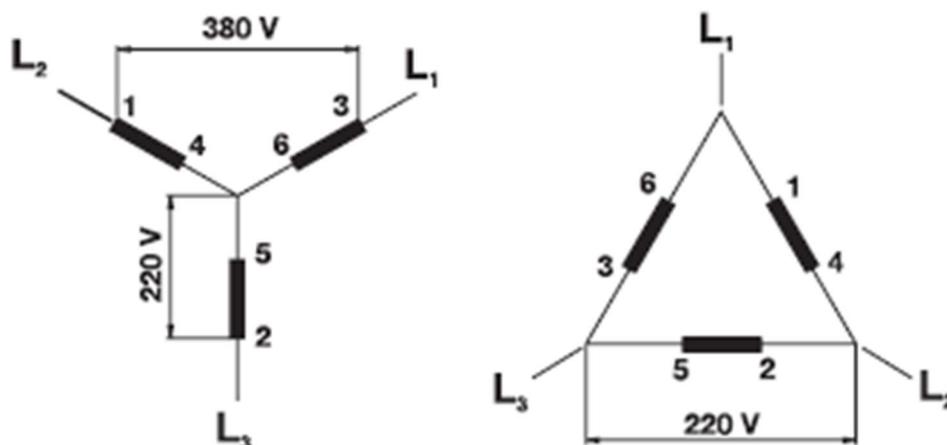
FIGURA 9 – LIGAÇÃO SÉRIE-PARALELO ESTRELA E SÉRIE-PARALELO TRIÂNGULO



FONTE: WEG. **Guia de Especificação de Motores Elétricos**. Disponível em: < <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>> Acesso em: 12 jun. 2020

Na ligação estrela-triângulo, as pontas dos enrolamentos de cada fase são levadas para fora do motor. Se for realizada a ligação em triângulo, cada fase terá a tensão de linha, caso for ligada em estrela a tensão será equivalente a tensão de linha multiplicada por raiz quadrada de três. Para ser realizado esses tipos de ligação, o motor necessita ter seis terminais (7).

FIGURA 10 – LIGAÇÃO ESTRELA-TRIÂNGULO



FONTE: WEG. **Guia de Especificação de Motores Elétricos.** Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>> Acesso em: 12 jun. 2020

### 2.3.2 Potência Nominal

Potência Nominal é a potência em que o motor, quando em regime contínuo, pode prover sobre o eixo, desde que os limites de temperatura dos enrolamentos não superem os valores máximos permitidos por norma dentro de sua classe de isolamento. Quando um motor estiver trabalhando com uma carga maior da qual ele foi projetado, os enrolamentos do motor acabam aquecendo drasticamente, causando a diminuição da vida útil do motor, podendo até com o tempo causar a queima do motor. A potência criada por um motor equivale a velocidade com que a energia é utilizada para movimentar uma carga. A potência nominal decorrerá do aumento de temperatura dos enrolamentos durante o ciclo de cargas, podendo assim, fazer com que o motor elétrico opere com uma carga com potência maior do que a nominal, até alcançar um conjugado próximo do máximo, porém, a temperatura dos enrolamentos não deverá superar o seu valor máximo, caso contrário, irá causar a redução de vida útil. A potência nominal de um motor elétrico é dada em cv (Cavalo à vapor) (5).

### 2.3.3 Corrente Nominal

Corrente Nominal é a corrente gerada pelo motor operando na sua potência nominal e com a sua frequência e tensão nominais (5).

#### 2.3.4 Frequência Nominal

Frequência Nominal é a frequência provida da rede de alimentação e aquela a qual o motor foi projetado. O motor elétrico opera apropriadamente bem se a frequência oscilar entre mais ou menos cinco por cento da frequência nominal a partir que a tensão nominal não varie. Caso um motor assíncrono de frequência nominal de 60Hz estiver operando à 50Hz, ele terá a sua potência mecânica aumentada em vinte por cento caso o motor for de quatro, seis ou oito polos; a relação entre conjugado de partida e a nominal, e relação entre conjugado máximo e o nominal aumentam; porém, a sua velocidade nominal irá diminuir conforme a diminuição de frequência. Caso um motor de 50Hz estiver em uma rede de 60Hz, a sua velocidade irá aumentar em vinte por cento, de acordo com o aumento da frequência, porém a corrente de partida e as relações entre os conjugados diminuirá dezessete por cento (5).

#### 2.3.5 Fator de Potência

O fator de potência é a relação entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S). Ele é estabelecido medindo a potência de entrada, e a tensão e corrente de carga nominal. Ele é representado por  $\cos\phi$ , sendo que o  $\phi$  é a relação entre o ângulo da defasagem da tensão em relação à corrente. O motor utiliza potência ativa que é convertida em trabalho mecânico e calor, e também utiliza potência relativa, necessária para a magnetização, mas que não possui trabalho. A energia reativa acaba limitando a qualidade de deslocamento de energia útil nas linhas de distribuição e transmissão. Por isso é necessário o bom dimensionamento dos motores elétricos, porque o fator de potência oscila de acordo com a carga (7).

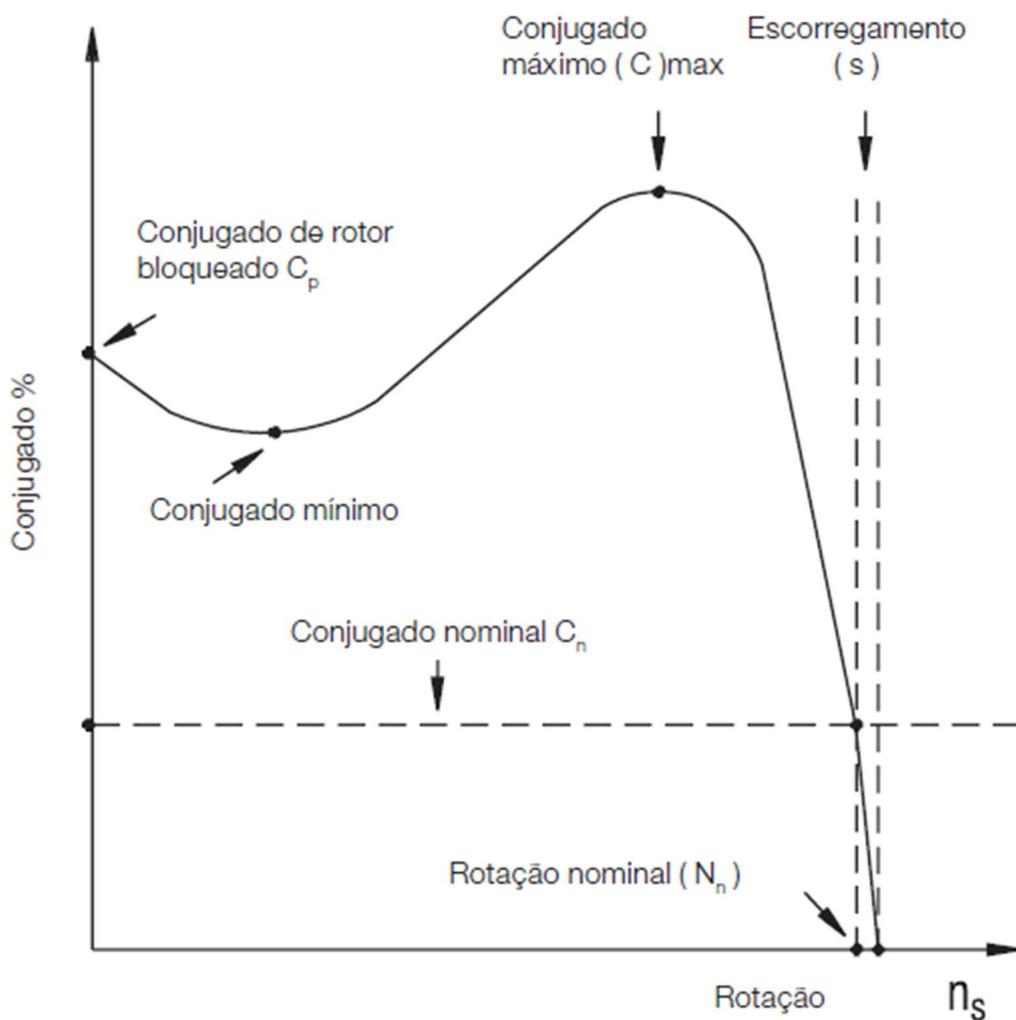
#### 2.3.6 Fator de Serviço

O fator de serviço é o fator que aplicado a potência nominal, representa a carga tolerável que pode ser posta continuamente sobre o motor, sobre certas condições. Um fator de serviço 1.0 indica que o motor não foi construído para operar continuamente além de sua potência nominal (7).

#### 2.3.7 Conjugado

O conjugado, também chamado de torque, é a força necessária para rotacionar o eixo. O motor assíncrono tem conjugado nulo na velocidade síncrona, conforme for adicionando carga, a rotação do motor irá reduzir gradualmente, até o conjugado atingir o seu pico máximo que o motor consegue formar em rotação normal. Caso o conjugado da carga subir além disso, a capacidade de rotação de motor irá reduzir subitamente, podendo até travar o rotor. Se as informações de variação de conjugado com a velocidade para o motor forem atribuídas a um gráfico, obteremos a curva conjugado x rotação (7).

FIGURA 11 – CURVA CONJUGADO X ROTAÇÃO



FONTE: WEG – Guia de Especificação de Motores Elétricos. Disponível em <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>> Acesso em: 12 jun. 2020

O conjugado básico é aquele calculado em função da potência e velocidade síncrona. O conjugado nominal, também chamado de conjugado de plena carga, é o conjugado do motor de acordo com a potência nominal com a tensão e frequência nominais. O conjugado de partida, também conhecido como conjugado de rotor bloqueado, é o conjugado mínimo formado pelo motor bloqueado, sob frequência e tensão nominais, e para todas as disposições angulares do rotor. O conjugado de partida necessita ser alto, para que a inércia seja vencida facilmente pelo rotor (7).

### 2.3.8 Rendimento

O rendimento ( $\eta$ ) indica a eficiência em que o motor converte a energia elétrica retirada da rede para a energia mecânica no eixo do motor (7).

### 2.3.9 Classes de Isolamento

Devido a normalização, os materiais de isolamento são distribuídos em classe de isolamento, com cada classe definida pela sua temperatura máxima que pode atingir sem afetar a sua vida útil. As classes podem ser: A (105°C), E (120°C), B (130°C), F (155°C) e H (180°C) (5).

### 2.3.10 Velocidade Síncrona

A velocidade síncrona é a velocidade determinada pela velocidade de rotação do campo girante que é estabelecido de acordo com a frequência da rede e o número de polos do motor (7).

### 2.3.11 Escorregamento

O escorregamento do motor, geralmente fornecido em porcentagem, é a razão entre a velocidade do campo girante magnético do motor e a velocidade do eixo do motor (8).

### 2.3.12 Velocidade Nominal

Velocidade nominal (dada em rotações por minuto) é a velocidade do motor operando na potência nominal, com tensão e frequência nominais, e depende da velocidade síncrona e do escorregamento (7).

TABELA 1 – VELOCIDADES SÍNCRONAS

Nº de polos	Rotação síncrona por minuto (rpm)	
	60 Hertz	50 Hertz
II	3.600	3.000
IV	1.800	1.500
VI	1.200	1.000
VIII	900	750
X	720	600

FONTE: WEG. **Guia de Especificação de Motores Elétricos**. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>> Acesso em: 16 jun. 2020

### 3 PERDAS ÔHMICAS DOS MOTORES DE INDUÇÃO

Os motores elétricos têm como função converter energia elétrica em energia mecânica e nesse processo acabam acontecendo várias perdas. A potência mecânica do eixo do motor será sempre maior que a potência elétrica absorvida para operar, devido as perdas internas relacionadas ao aquecimento das bobinas dos enrolamentos entre outras perdas (5).

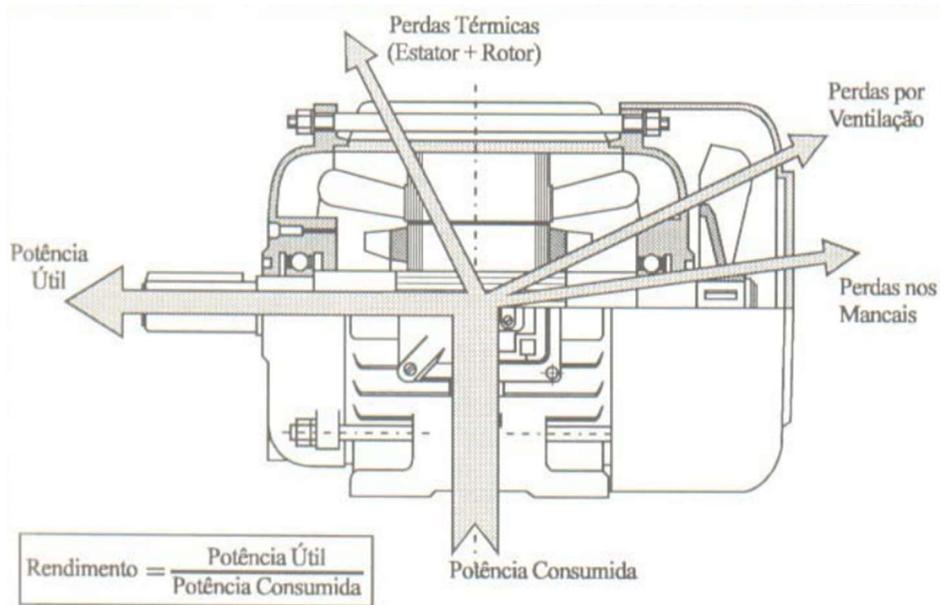
As perdas encontradas em um motor são:

- Perdas por efeito Joule nas bobinas estatóricas (perdas no cobre);
- Perdas por efeito Joule nas bobinas rotóricas (perdas no cobre);
- Perdas magnéticas estatóricas (perdas no ferro);
- Perdas magnéticas rotóricas (perdas no ferro);
- Perdas por ventilação;
- Perdas mecânicas por atrito nos rolamentos;

O calor criado dentro do motor deve ser liberado com a ajuda da superfície externa da carcaça e de um ventilador acoplado no eixo do motor elétrico. Os motores elétricos trifásicos

alimentados por fontes desequilibradas são afetados por aquecimento, ocasionando o aumento das perdas, assim diminuindo o rendimento do motor (5).

FIGURA 12 – PERDAS NO MOTOR DE INDUÇÃO



FONTE: UFRN. **Manutenção em Motores Elétricas.** Disponível em: <<http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/10%20-%20Cap%EDtulo%208.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2020

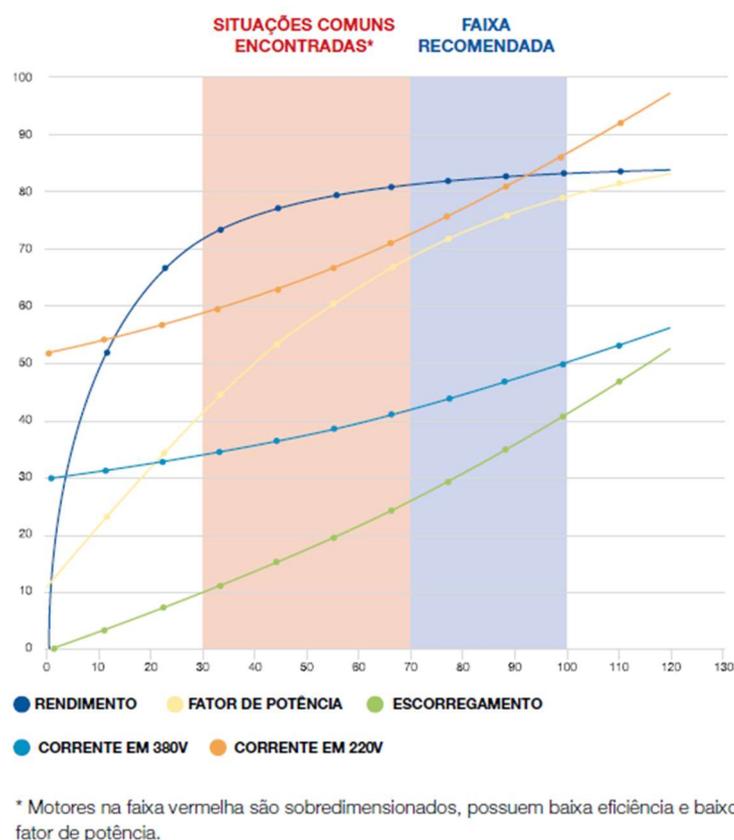
#### 4 MAL DIMENSIONAMENTO DOS MOTORES ELÉTRICOS

Um dos principais causadores do aumento do consumo de energia elétrica, é o mal dimensionamento dos motores elétricos. É um erro pensar em adquirir motores elétricos mais potentes que o adequado para a sua função, pois além de ser mais caro, o motor não terá um bom rendimento, aumentando o consumo de energia (9).

Encontrar motores sobredimensionados é frequente nas indústrias. Existe uma estimativa de que quarenta por cento dos motores elétricos atuam abaixo de cinquenta por cento da sua capacidade nominal (10). O efeito que isso gera é um aumento do consumo de energia, em decorrência do baixo fator de potência, também há um aumento do aquecimento nos enrolamentos por causa das altas correntes exigidas, além da diminuição do rendimento da ventilação do motor devido ao aumento do calor nos enrolamentos, tudo isso ocasionado um aumento das perdas ôhmicas, levando o motor a ter um baixo rendimento, além de diminuir a vida útil do motor elétrico. É também possível encontrarmos motores

subdimensionados. No caso do subdimensionamento, o conjugado da carga estará maior que o conjugado nominal e para realizar o movimento o motor necessitará de mais energia elétrica, que resulta em consumo maior de energia baixa eficiência do motor, maior aquecimento e redução drástica da vida útil (11).

GRÁFICO 3 – CURVA DE RENDIMENTO DE UM MOTOR ELÉTRICO



FONTE: WEG. **Cartilha sobre Eficiência Energética.** Disponível em: <<https://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/energy-efficiency>>. Acesso em: 19 jun. 2020.

Observando a curva do gráfico, podemos notar que quanto mais baixa for a carga aplicada no motor elétrico, menor vai ser o fator de potência e o seu rendimento, e quanto mais baixo o seu rendimento, maiores serão as perdas ôhmicas, e em consequência, o aumento do consumo de energia. O rendimento do motor elétrico também é reduzido quando o motor opera acima da sua carga nominal (10).

De acordo com a WEG, a faixa indicada de atuação está entre 75% a 100%, porque mostra uma extensão mais estável de rendimento ainda que exista oscilações da carga

aplicada no motor. Portanto, o conceito de redimensionamento de motores elétricos tem como ideia em dimensionar os motores elétricos para operarem nessa faixa de atuação (10).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivos conhecer as principais características, particularidades e princípios dos motores elétricos, descrever as perdas ôhmicas que ocorrem no motor de indução trifásico, e compreender a importância do dimensionamento correto de motores elétricos de acordo com a sua função, evitando sobredimensionamentos.

Os motores elétricos são a grande maioria dos consumidores de energia elétrica na indústria e por isso deve se dar atenção ao dimensionamento correto dessas máquinas na indústria. É comum encontrarmos motores elétricos mal dimensionados operando com baixo rendimento e consumindo energia elétrica que poderia ser economizada.

Por isso é importante o dimensionamento correto dos motores elétricos para operarem de acordo com a sua faixa de operação recomendada. Podendo além de economizar energia elétrica, melhorar o fator de potência, diminuindo a utilização dos capacitores para corrigi-la.

## REFERÊNCIAS

- (1) Blog com Ciência - Museu WEG de Ciência e Tecnologia. **A história do motor elétrico que você precisa conhecer.** Disponível em < <https://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>>.  
Acesso em: 09 jun. 2020.
- (2) Blog com Ciência - Museu WEG de Ciência e Tecnologia. **William Sturgeon: O pai do eletroímã.** Disponível em < <https://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>>.  
Acesso em: 09 jun. 2020.
- (3) Apostila Técnica. **Centro de Treinamento de Clientes WEG – Módulo 6 – Eficiência Energética em Aplicações de Motores Elétricos.**
- (4) Motoreletrico.net. **Avanços Tecnológicos dos motores elétricos.** Disponível em <<http://www.motoreletrico.net/index.asp?InCdSecao=3&InCdEditoria=1&InCdMateria=39>>.  
>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- (5) MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais.** 7. Ed. LTC Editora. cap. 6.
- (6) ElectricalLibrary.com. **Como funciona o motor universal.** Disponível em <<https://www.electricalibrary.com/2018/05/25/como-funciona-o-motor-universal/>>.  
Acesso em: 09 jun. 2020.

(7) Apostila Técnica. **WEG – Guia de Especificação de Motores Elétricos**. Disponível em <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>> Acesso em: 12 jun. 2020

(8) Mundo da Elétrica. **Escorregamento do motor. O que é e como calcular**. Disponível em <<https://www.mundodaeletrica.com.br/escorregamento-de-motor-o-que-e-e-como-calculiar/>> Acesso em: 16 jun. 2020

(9) WEG. **Cartilha sobre Eficiência Energética**. Disponível em: <<https://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/energy-efficiency>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

(10) WEG. **Artigo Técnico – Considerações sobre o redimensionamento de motores elétricos de indução**. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h94/hb9/WEG-consideracoes-sobre-redimensionamento-de-motores-eletricos-de-inducao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

(11) LIMA, Gilson Ferreira. **Motores Elétricos e Eficiência Energética**. Uma abordagem conceitual. Revista Politécnica. Salvador. Bahia. 2018.