

PARTE 2 – MÁQUINAS ASSÍNCRONAS

MÁQUINA ASSÍNCRONA OU DE INDUÇÃO → MODO MAIS COMUM DE UTILIZAÇÃO: MOTOR

PEQUENA PENETRAÇÃO DESSE TIPO DE MÁQUINA EM GERAÇÃO (ESPECIALMENTE EÓLICA E HIDRÁULICA DE PEQUENA POTÊNCIA) → AINDA INCIPIENTE COMPARADA ÀS MÁQUINAS SÍNCRONAS

MOTORES DE INDUÇÃO:

MÁQUINA MAIS INTENSIVAMENTE APLICADA NOS ACIONAMENTOS INDUSTRIAIS

MAIS DE 95 % DOS MOTORES PRODUZIDOS E APLICADOS NO MUNDO SÃO DE INDUÇÃO

RAZÕES PARA TANTO:

CONSTRUÇÃO SIMPLES (→ NA VERSÃO COM ROTOR DE GAIOLA)

MÁQUINA ROBUSTA E CONFIÁVEL (COMPARADA ÀS DEMAIS)

PEQUENA INCIDÊNCIA DE MANUTENÇÕES – BAIXO CUSTO OPERACIONAL

MÁQUINA PRODUZIDA EM LARGA ESCALA EM FABRICAÇÃO SERIADA (“COMMODITY” INDUSTRIAL)

BAIXO CUSTO DE AQUISIÇÃO E PRONTA DISPONIBILIDADE

“DESVANTAGENS” DO MOTOR DE INDUÇÃO:

1) MÁQUINA DE ROTAÇÃO ESSENCIALMENTE CONSTANTE QUANDO CONECTADA À REDE

→ **NO ENTANTO, GRANDE PARTE DAS CARGAS MECÂNICAS, COMO BOMBAS, VENTILADORES, COMPRESSORES, OPERAM TAMBÉM EM ROTAÇÃO CONSTANTE**

→ **A ASSOCIAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO COM INVERSORES ESTÁTICOS DE FREQUÊNCIA TORNA O CONJUNTO UM ACIONAMENTO DE ROTAÇÃO VARIÁVEL**

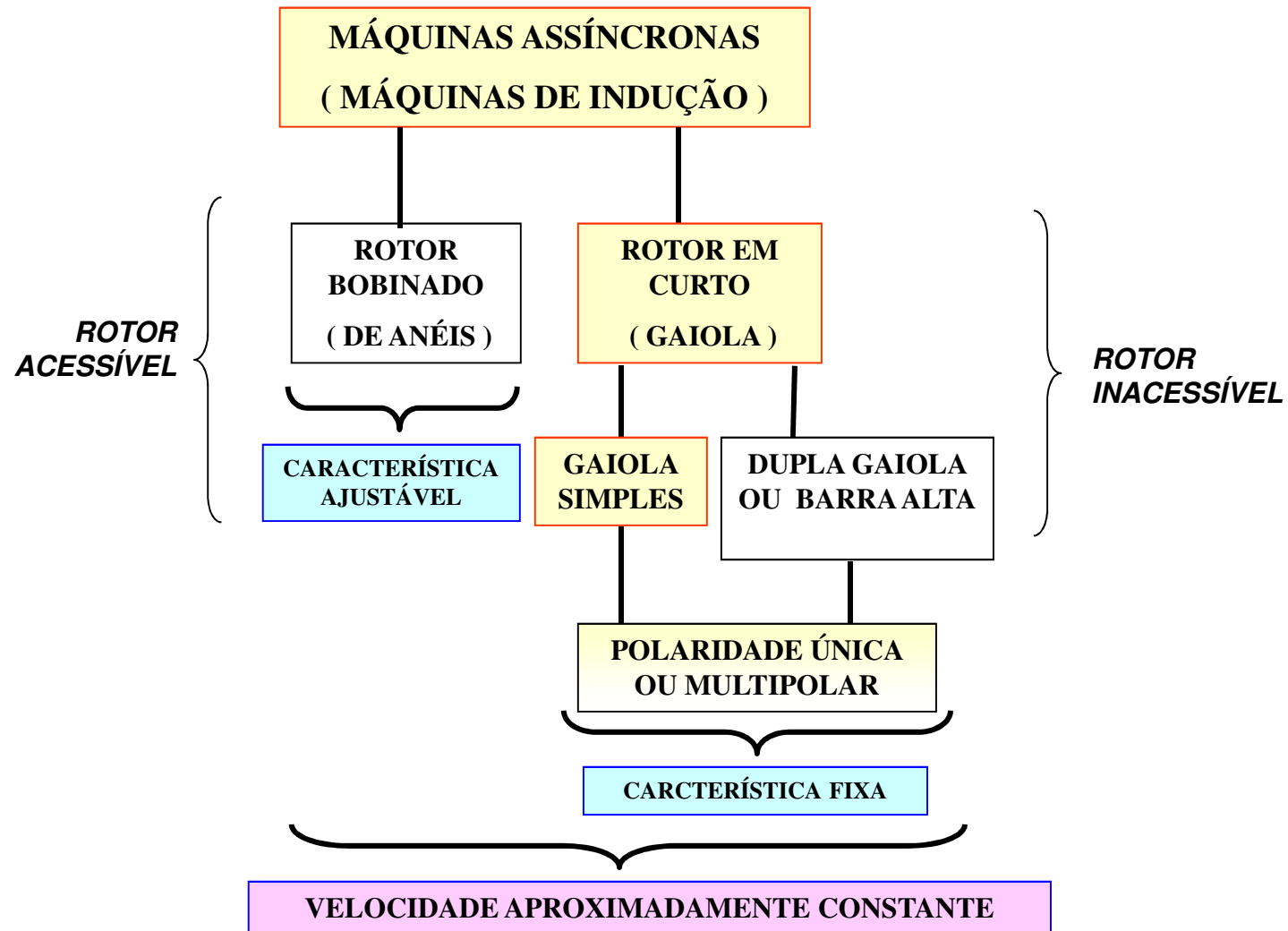
2) DIFICULDADES INERENTES DE PARTIDA QUANDO CONECTADAS DIRETAMENTE À REDE

→ **BAIXO TORQUE DE PARTIDA E ACELERAÇÃO**

→ **ELEVADA CORRENTE NO ARRANQUE, COM FORTE IMPACTO NA REDE DE ALIMENTAÇÃO**

→ **NO ENTANTO, GRANDE PARTE DAS CARGAS CITADAS OPERA POR PERÍODOS PROLONGADOS DE TEMPO, DE MODO QUE A INCIDÊNCIA DE PARTIDAS É PEQUENA COM IMPACTO ESPORÁDICO NA REDE DE ALIMENTAÇÃO**

→ **A ASSOCIAÇÃO COM INVERSORES DE FREQUÊNCIA ELIMINA O PROBLEMA DA DIFICULDADE DE PARTIDA E DO IMPACTO NA REDE DE ALIMENTAÇÃO**



VARIANTES CONSTRUTIVAS NO TOCANTE AO ROTOR DA MÁQUINA ASSÍNCRONA:**1) MÁQUINA ASSÍNCRONA COM ROTOR BOBINADO (OU ROTOR DE ANÉIS)**

→ **PERMITE ACESSO AO ROTOR**

→ **POSSIBILITA ALTERAÇÃO DE PARÂMETROS (ESPECIALMENTE A RESISTÊNCIA ROTÓRICA)**

→ **CARACTERÍSTICAS EXTERNAS SE TORNAM AJUSTÁVEIS - $C \times \omega$; $I \times \omega$**

→ **MOTOR MAIS VERSÁTIL – ADAPTAÇÃO MAIS FÁCIL ÀS CARGAS MECÂNICAS**

2) MÁQUINA ASSÍNCRONA COM ROTOR EM CURTO CIRCUITO (OU ROTOR EM GAIOLA)

→ **ROTOR INACESSÍVEL POR CONSTRUÇÃO**

→ **PARÂMETROS FIXOS, DEFINIDOS NO PROJETO**

→ **CARACTERÍSTICAS FIXAS**

→ **MOTOR MENOS VERSÁTIL QUANDO LIGADO DIRETAMENTE À REDE DE ALIMENTAÇÃO**

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DAS MÁQUINAS ASSÍNCRONAS

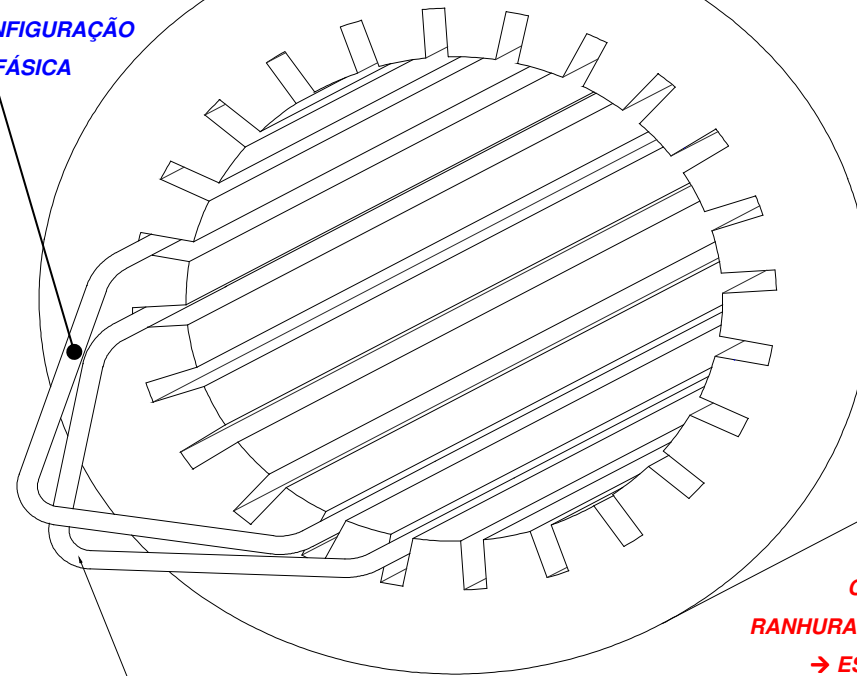
MÁQUINAS ASSÍNCRONAS: CONSTRUÇÃO

ESTATOR

NÚCLEO MAGNÉTICO CONSTITUÍDO DE LÂMINAS DE PEQUENA ESPESSURA (0,5 mm) DE AÇO SILICIOSO
→ LIMITA AS PERDAS NO FERRO DEVIDO À EXISTÊNCIA DE CAMPO MAGNÉTICO VARIÁVEL NO TEMPO ESTABELECIDO NESTA ESTRUTURA

NÚCLEO MAGNÉTICO DO ESTATOR

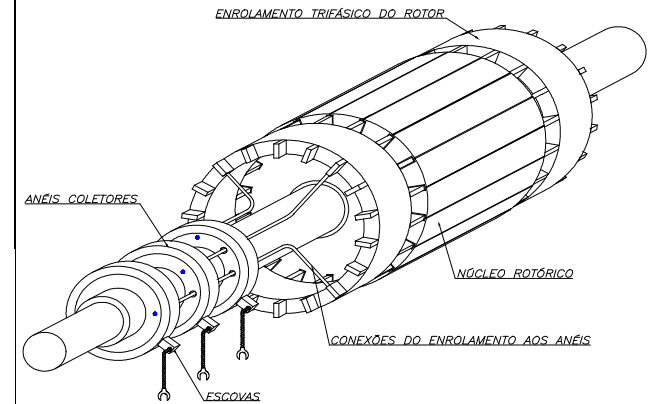
BOBINAS EM TODAS AS RANHURAS, FORMANDO UM ENROLAMENTO DE CONFIGURAÇÃO TRIFÁSICA



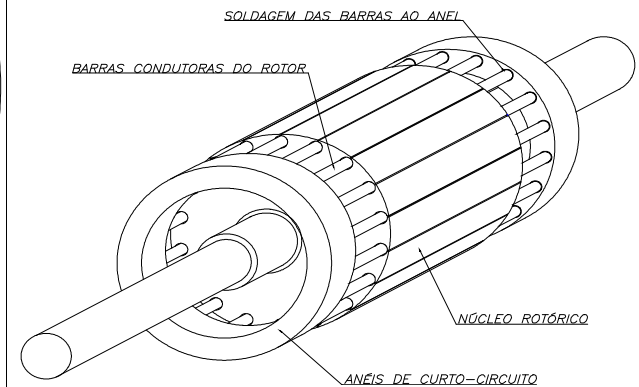
BOBINAS DO ENROLAMENTO ESTATORÍCO

FUNÇÃO DO ESTATOR:
FORMAR UM CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO NO ENTREFERRO, PROMOVENDO A SUA INTERAÇÃO COM OS CONDUTORES DO ROTOR

NÚCLEO MAGNÉTICO COM CONFIGURAÇÃO CILÍNDRICA, RANHURADA NA SUPERFÍCIE INTERNA
→ ESTRUTURA CARACTERIZADA COMO DE “POLOS LISOS”



ROTOR BOBINADO (OU DE ANÉIS)



ROTOR EM CURTO (OU DE GAIOLA)

VARIANTES CONSTRUTIVAS DO ROTOR DA MÁQUINA ASSÍNCRONA
(→ DETALHADAS À FRENTE)

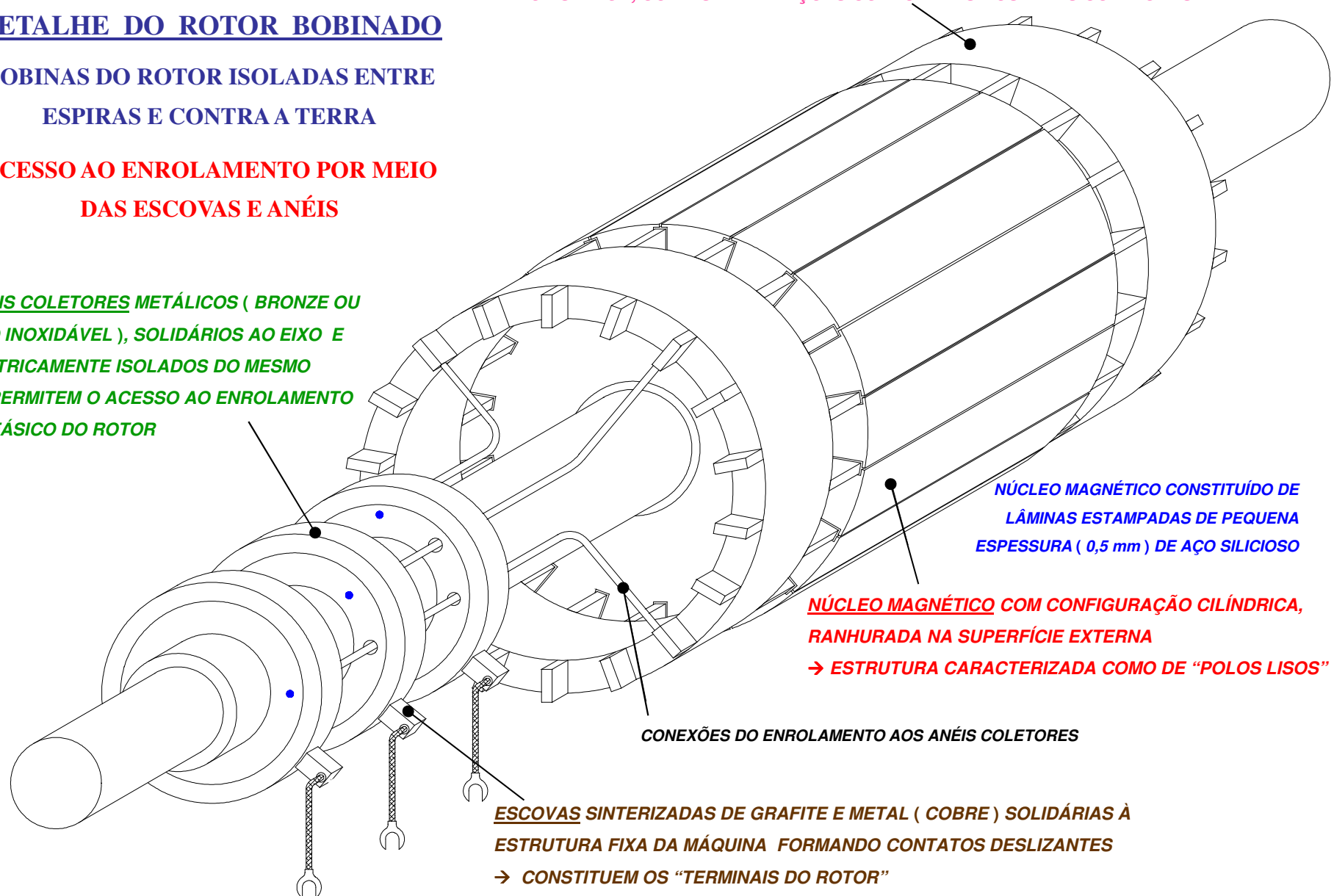
**MOTOR ASSÍNCRONO OU DE INDUÇÃO:
DETALHE DO ROTOR BOBINADO**

**BOBINAS DO ROTOR ISOLADAS ENTRE
ESPIRAS E CONTRA A TERRA**

**ACESSO AO ENROLAMENTO POR MEIO
DAS ESCOVAS E ANÉIS**

**ANÉIS COLETORES METÁLICOS (BRONZE OU
AÇO INOXIDÁVEL), SOLIDÁRIOS AO EIXO E
ELETRICAMENTE ISOLADOS DO MESMO
→ PERMITEM O ACESSO AO ENROLAMENTO
TRIFÁSICO DO ROTOR**

**ENROLAMENTO TRIFÁSICO CONVENCIONAL DO ROTOR, SIMILAR AO ENROLAMENTO
DO ESTATOR, COM AS TERMINAÇÕES CONECTADAS AOS ANÉIS COLETORES**



**NÚCLEO MAGNÉTICO CONSTITUÍDO DE
LÂMINAS ESTAMPADAS DE PEQUENA
ESPESSURA (0,5 mm) DE AÇO SILICIOSO**

**NÚCLEO MAGNÉTICO COM CONFIGURAÇÃO CILÍNDRICA,
RANHURADA NA SUPERFÍCIE EXTERNA
→ ESTRUTURA CARACTERIZADA COMO DE “POLOS LISOS”**

CONEXÕES DO ENROLAMENTO AOS ANÉIS COLETORES

**ESCOVAS SINTERIZADAS DE GRAFITE E METAL (COBRE) SOLIDÁRIAS À
ESTRUTURA FIXA DA MÁQUINA FORMANDO CONTATOS DESLIZANTES
→ CONSTITUEM OS “TERMINAIS DO ROTOR”**

MOTOR ASSÍNCRONO OU DE INDUÇÃO:**DETALHE DO ROTOR DE GAIOLA****BARRAS ALOJADAS NAS RANHURA SEM
ISOLAMENTO**

BARRAS CONDUTORAS DO ROTOR (LIGAS DE COBRE OU ALUMÍNIO)

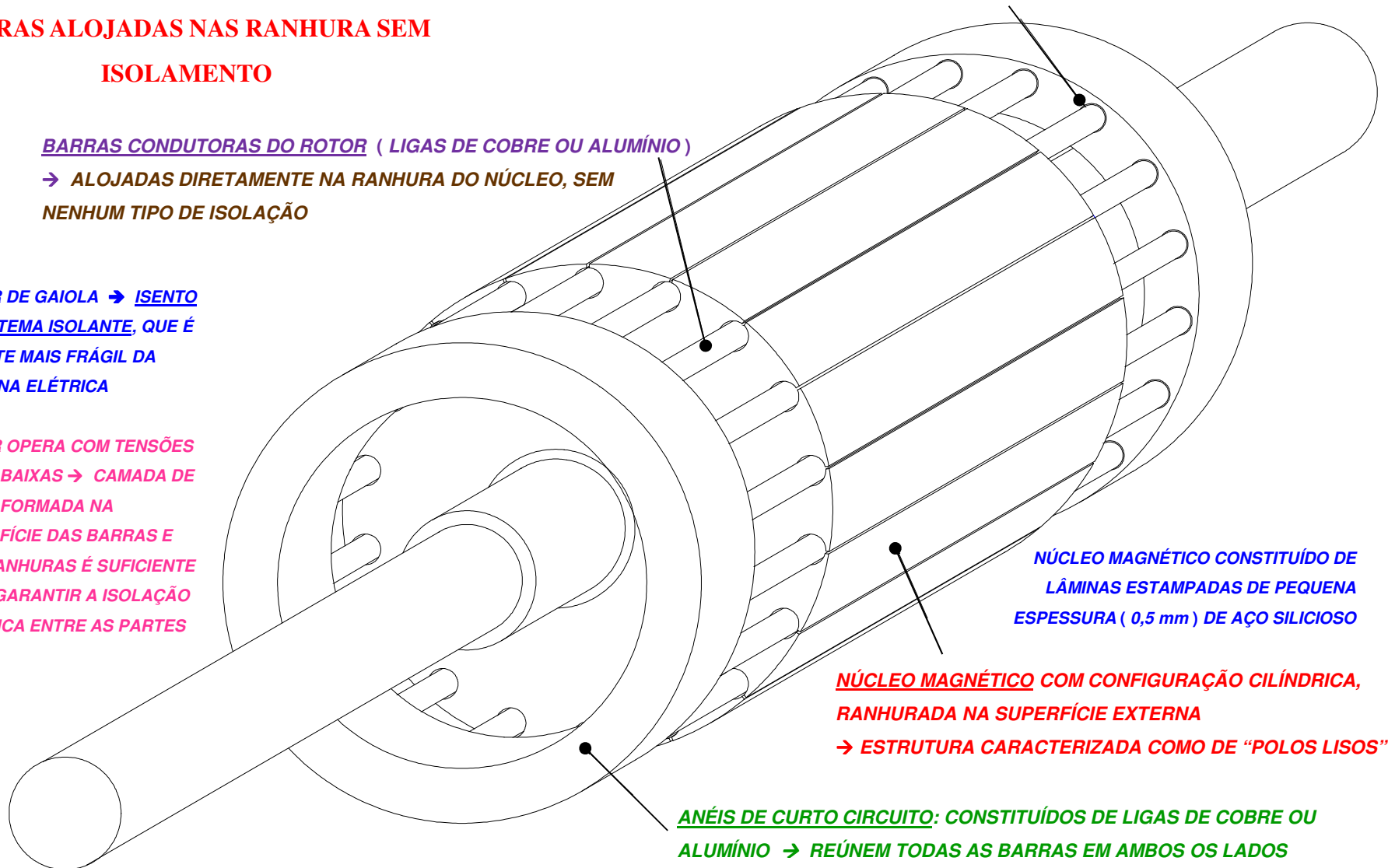
→ ALOJADAS DIRETAMENTE NA RANHURA DO NÚCLEO, SEM
NENHUM TIPO DE ISOLAÇÃO

ROTOR DE GAIOLA → ISENTO
DE SISTEMA ISOLANTE, QUE É
A PARTE MAIS FRÁGIL DA
MÁQUINA ELÉTRICA

ROTOR OPERA COM TENSÕES
MUITO BAIXAS → CAMADA DE
ÓXIDO FORMADA NA
SUPERFÍCIE DAS BARRAS E
DAS RANHURAS É SUFICIENTE
PARA GARANTIR A ISOLAÇÃO
ELÉTRICA ENTRE AS PARTES

LIGAÇÃO METALÚRGICA ENTRE BARRAS E ANÉIS DE CURTO (BRAZAGEM OU FUSÃO)

→ CONSOLIDAM ELÉTRICA E MECANICAMENTE AS BARRAS AOS ANÉIS

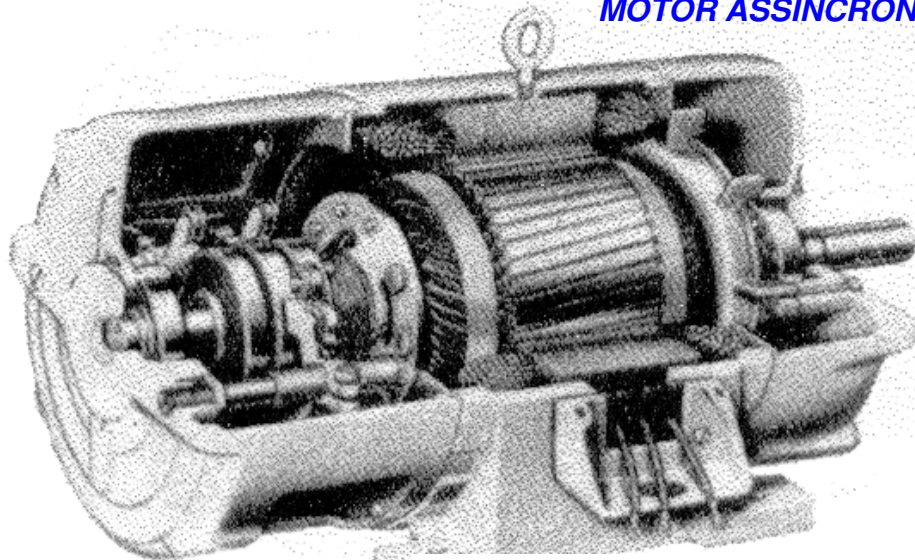


NÚCLEO MAGNÉTICO CONSTITUÍDO DE
LÂMINAS ESTAMPADAS DE PEQUENA
ESPESSURA (0,5 mm) DE AÇO SILICIOSO

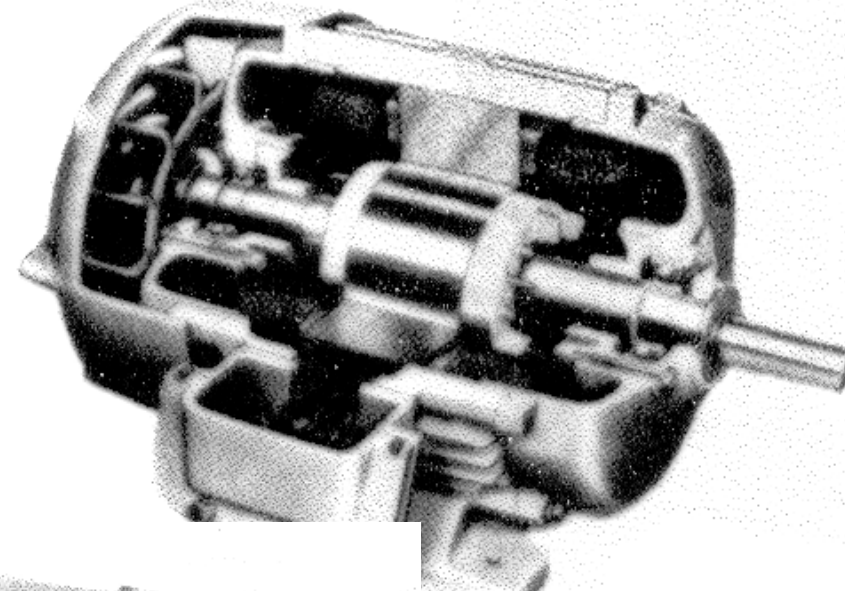
NÚCLEO MAGNÉTICO COM CONFIGURAÇÃO CILÍNDRICA,
RANHURADA NA SUPERFÍCIE EXTERNA
→ ESTRUTURA CARACTERIZADA COMO DE “POLOS LISOS”

ANÉIS DE CURTO CIRCUITO: CONSTITUÍDOS DE LIGAS DE COBRE OU
ALUMÍNIO → REÚNEM TODAS AS BARRAS EM AMBOS OS LADOS
DO ROTOR, FORMANDO UM CONJUNTO ÚNICO

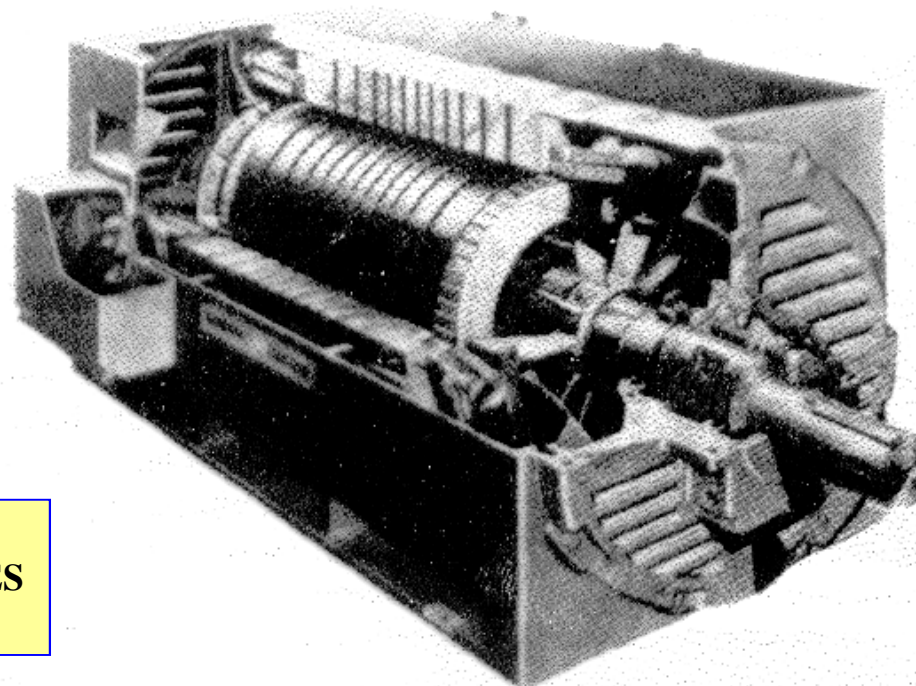
MOTOR ASSÍNCRONO OU DE INDUÇÃO:



**MOTOR DE ANÉIS DE
MÉDIO PORTE**
CONSTRUÇÃO ABERTA



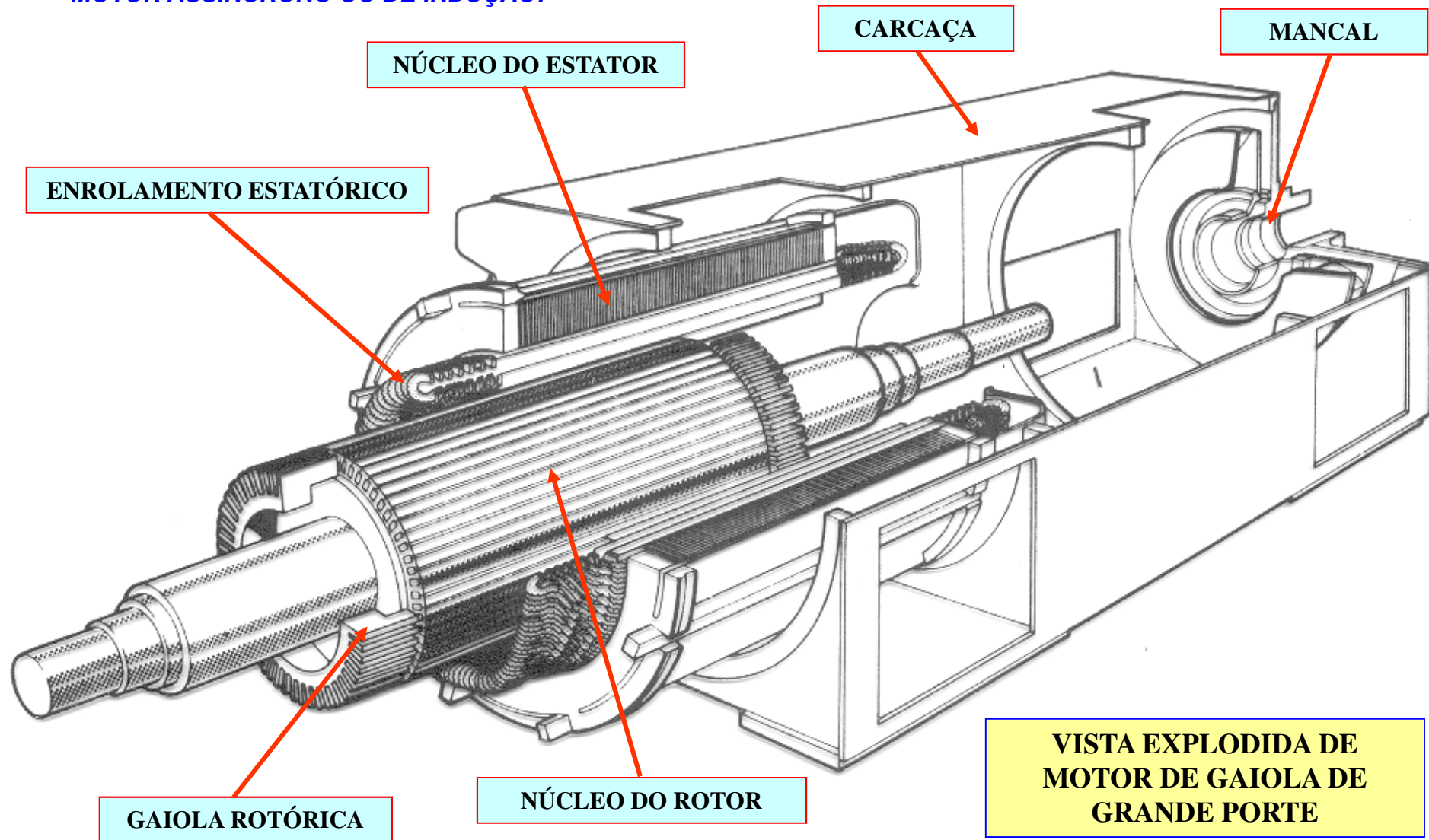
**MOTOR DE GAIOLA
DE PEQUENO PORTE**
GAIOLA INJETADA OU
FUNDIDA EM ALUMÍNIO
CONSTRUÇÃO FECHADA



**CONSTRUÇÕES
TÍPICAS DE MOTORES
ASSÍNCRONOS**

**MOTOR DE GAIOLA DE
MÉDIO PORTE**
GAIOLA COM BARRAS
INSERIDAS NAS RANHURAS E
SOLDADAS AOS ANÉIS DE CURTO
CONSTRUÇÃO ABERTA

MOTOR ASSÍNCRONO OU DE INDUÇÃO:



MOTORES ASSÍNCRONOS OU DE INDUÇÃO: CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO MÉTODO DE RESFRIAMENTO**ASPECTOS GERAIS DO RESFRIAMENTO E PROTEÇÃO DO INVÓLUCRO DOS MOTORES DE INDUÇÃO**

RESFRIAMENTO → **ASPECTO FUNDAMENTAL DE QUALQUER MÁQUINA ELÉTRICA** → **ASSOCIADO À CAPACIDADE DE DISSIPACÃO DAS PERDAS GERADAS** → **LIMITAÇÃO DA ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA DE OPERAÇÃO DOS MATERIAIS ISOLANTES EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO DO MOTOR** → **VIDA TÉRMICA**

MOTORES ELÉTRICOS EM GERAL, PARTICULARMENTE OS DE INDUÇÃO → **MEIO REFRIGERANTE É SEMPRE O AR** → **POSSIBILIDADE DE ENTRADA DO AR AMBIENTE NO INTERIOR DA MÁQUINA ESTÁ ASSOCIADO A ASPECTOS DE VULNERABILIDADE DOS ISOLANTES A AGENTES AGRESSIVOS DO MEIO**

→ MÁQUINAS ABERTAS

- AR AMBIENTE PENETRA NO INTERIOR DA MÁQUINA
- CALOR RETIRADO DIRETAMENTE DAS FONTES DE PERDAS
- MECANISMO DE CONVECÇÃO DO AR NO INTERIOR DO MOTOR
- **ELEVADA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO**
- **ELEVADA DENSIDADE DE POTÊNCIA DISPONÍVEL (kW / kg)**
- MEIO DEVE SER LIMPO – ISENTO DE AGENTES AGRESSIVOS COMO UMIDADE, PÓS ABRASIVOS E CORROSIVOS OU AINDA CONDUTIVOS

→ MÁQUINAS FECHADAS

- AR AMBIENTE NÃO PENETRA NO INTERIOR DA MÁQUINA – CIRCULA APENAS PELA SUPERFÍCIE EXTERNA DO INVÓLUCRO
- CALOR RETIRADO INDIRETAMENTE DAS FONTES DE PERDAS
- MECANISMO DE CONDUÇÃO DE CALOR INTERNO NO MOTOR, ATÉ A SUPERFÍCIE EXTERNA E CONVECÇÃO DO AR NO EXTERIOR DO MOTOR
- **REDUZIDA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO**
- **MENOR DENSIDADE DE POTÊNCIA DISPONÍVEL (kW / kg)**
- MEIO PODE CONTER AGENTES CONTAMINANTES

ASPECTOS GERAIS DA PROTEÇÃO DO INVÓLUCRO DOS MOTORES DE INDUÇÃO

PROTEÇÃO DO INVÓLUCRO EM RELAÇÃO AO MEIO :

→ **NOMENCLATURA E CARACTERÍSTICAS NORMALIZADAS PARA QUALQUER TIPO DE MOTOR (ABNT / IEC)**

ÍNDICE DE PROTEÇÃO DO INVÓLUCRO DESIGNADO POR SIGLA → IP – XY (FAZ PARTE DA ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR)

IP : “ÍNDICE DE PROTEÇÃO” XY : DOIS DÍGITOS INDICATIVOS DO GRAU DE PROTEÇÃO

PRIMEIRO DÍGITO: X → CARACTERIZA PROTEÇÃO DO INVÓLUCRO CONTRA PENETRAÇÃO DE CORPOS SÓLIDOS NO INTERIOR DO MOTOR → X: 0 A 6

SEGUNDO DÍGITO: Y → CARACTERIZA PROTEÇÃO DO INVÓLUCRO CONTRA PENETRAÇÃO DE ÁGUA NO INTERIOR DO MOTOR → Y: 0 A 8

QUANTO MAIORES OS DÍGITOS, MAIOR A PROTEÇÃO

EXEMPLOS:

IP-00 → SEM NENHUM TIPO DE PROTEÇÃO

IP-23 → PROTEÇÃO CONTRA CORPOS COM DIMENSÕES MAIORES QUE 10mm E GOTAS DE ÁGUA NA VERTICAL ATÉ ÂNGULO DE 30°

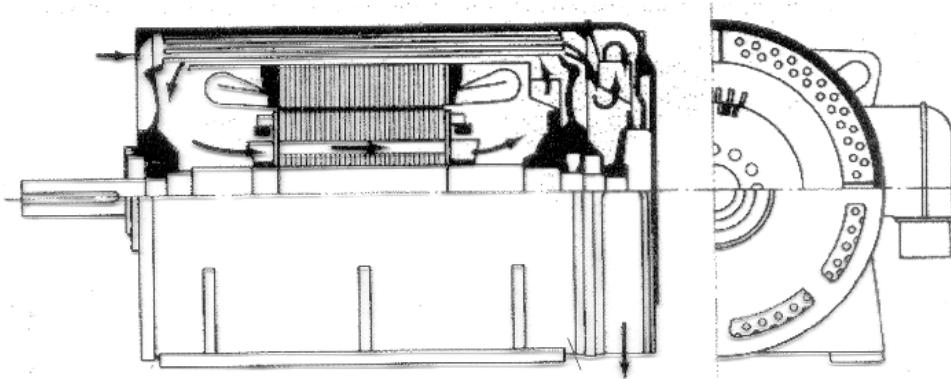
IP-44 → PROTEÇÃO CONTRA PENETRAÇÃO DE POEIRAS E PROJEÇÃO DE ÁGUA SEM PRESSÃO EM QUALQUER DIREÇÃO

IP-55 → PROTEÇÃO CONTRA PENETRAÇÃO DE PÓS FINOS E JATOS DE ÁGUA SEM PRESSÃO EM QUALQUER DIREÇÃO

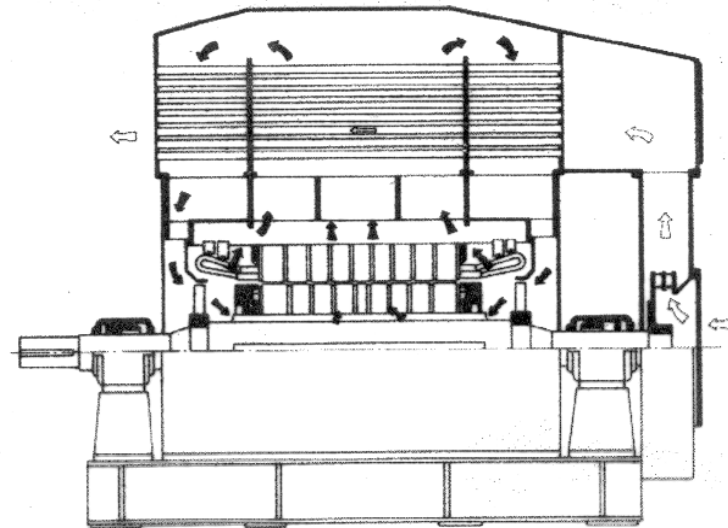
IP W – 56 → PROTEÇÃO CONTRA PÓS FINOS E JATOS DE ÁGUA COM PRESSÃO, ADEQUADO PARA USO AO TEMPO (“W” - WEATHER)

IP-68 → MOTOR ESTANQUE CONTRA PENETRAÇÃO DE PÓS E SUBMERSÍVEL ATÉ 1 mCA.

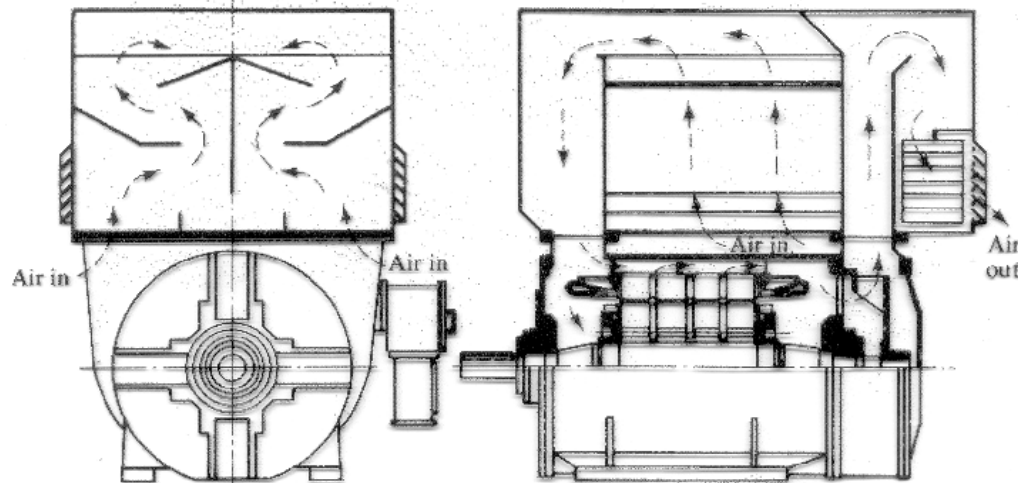
MÉTODOS USUAIS DE RESFRIAMENTO DE MOTORES



MÁQUINA FECHADA COM RESFRIAMENTO POR TUBOS



MÁQUINA FECHADA COM TROCADOR DE CALOR AR - AR



MÁQUINA ABERTA PARA USO AO TEMPO

EXEMPLOS DE MÉTODOS DE RESFRIAMENTO TÍPICOS

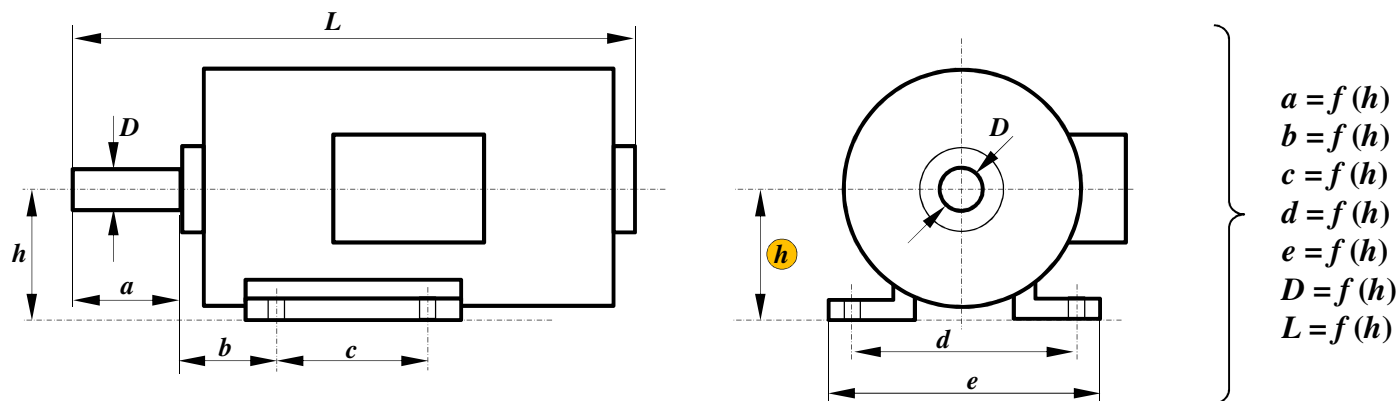
MOTORES ASSÍNCRONOS OU DE INDUÇÃO: CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CARÇAÇA

AS MÁQUINAS ELÉTRICAS, NOTADAMENTE AS DE INDUÇÃO, SÃO CLASSIFICADAS E NORMALIZADAS PELO TAMANHO DA CARÇAÇA

TODAS AS DIMENSÕES DE MONTAGEM, COMO COMPRIMENTO E DIÂMETRO DA PONTA DE EIXO, FURAÇÃO DA BASE PARA FIXAÇÃO, COMPRIMENTO TOTAL, ESTÃO ASSOCIADOS AO TAMANHO DA CARÇAÇA → POTÊNCIA DO MOTOR NÃO ENTRA NESSA CARACTERIZAÇÃO

→ TAMANHO DA CARÇAÇA É CARACTERIZADO PELA DIMENSÃO DA ALTURA DO CENTRO DA PONTA DE EIXO ATÉ A BASE DE FIXAÇÃO

DEFINIDA A ALTURA DA CARÇAÇA, QUALQUER MOTOR DE QUALQUER FABRICANTE SE TORNA INTERCAMBIÁVEL COM OUTROS DE MESMA ALTURA → BENEFÍCIO PARA FACILITAR A DISPONIBILIDADE DE REPOSIÇÃO, NOS MOTORES DE PRODUÇÃO SERIADA



CARACTERIZAÇÃO DO TAMANHO DA CARÇAÇA É DADO PELA DIMENSÃO “ h ” EXPRESSA EM MILÍMETROS

POR EXEMPLO: $h = 225 \text{ mm}$ → MOTOR DE CARÇAÇA PADRÃO: 225 ABNT

TAMANHOS NORMALIZADOS PELAS NORMAS ABNT e IEC:

$h : 56 ; 63 ; 71 ; 80 ; 90 ; 100 ; 112 ; 132 ; 160 ; 180 ; 200 ; 225 ; 250 ; 280 ; 315 ; 355 ; 400 ; 450 ; 500 ; 560 ; 630 ; 710 ; 800 ; 900 ; 1000$

TAMANHOS USUALMENTE PRODUZIDOS EM FABRICAÇÃO SERIADA

MOTORES ASSÍNCRONOS OU DE INDUÇÃO: TENSÕES NOMINAIS USUAIS

MOTORES ASSÍNCRONOS SÃO CONSTRUÍDOS EM BAIXA E MÉDIA TENSÃO

A TENSÃO DEPENDE DA POTÊNCIA NOMINAL DO MOTOR, E DEVE SER ESPECIFICADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO, E DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DISPONÍVEL NO LOCAL ONDE SERÁ INSTALADO

A ESCOLHA DA TENSÃO NOMINAL IMPACTA NO DIMENSIONAMENTO E CUSTO DOS CABOS DE ALIMENTAÇÃO, DOS DISPOSITIVOS DE CHAVEAMENTO E PROTEÇÃO COMO CONTACTORES, DISJUNTORES, RELÉS TÉRMICOS, ETC.

TENSÕES NOMINAIS USUAIS PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS:

