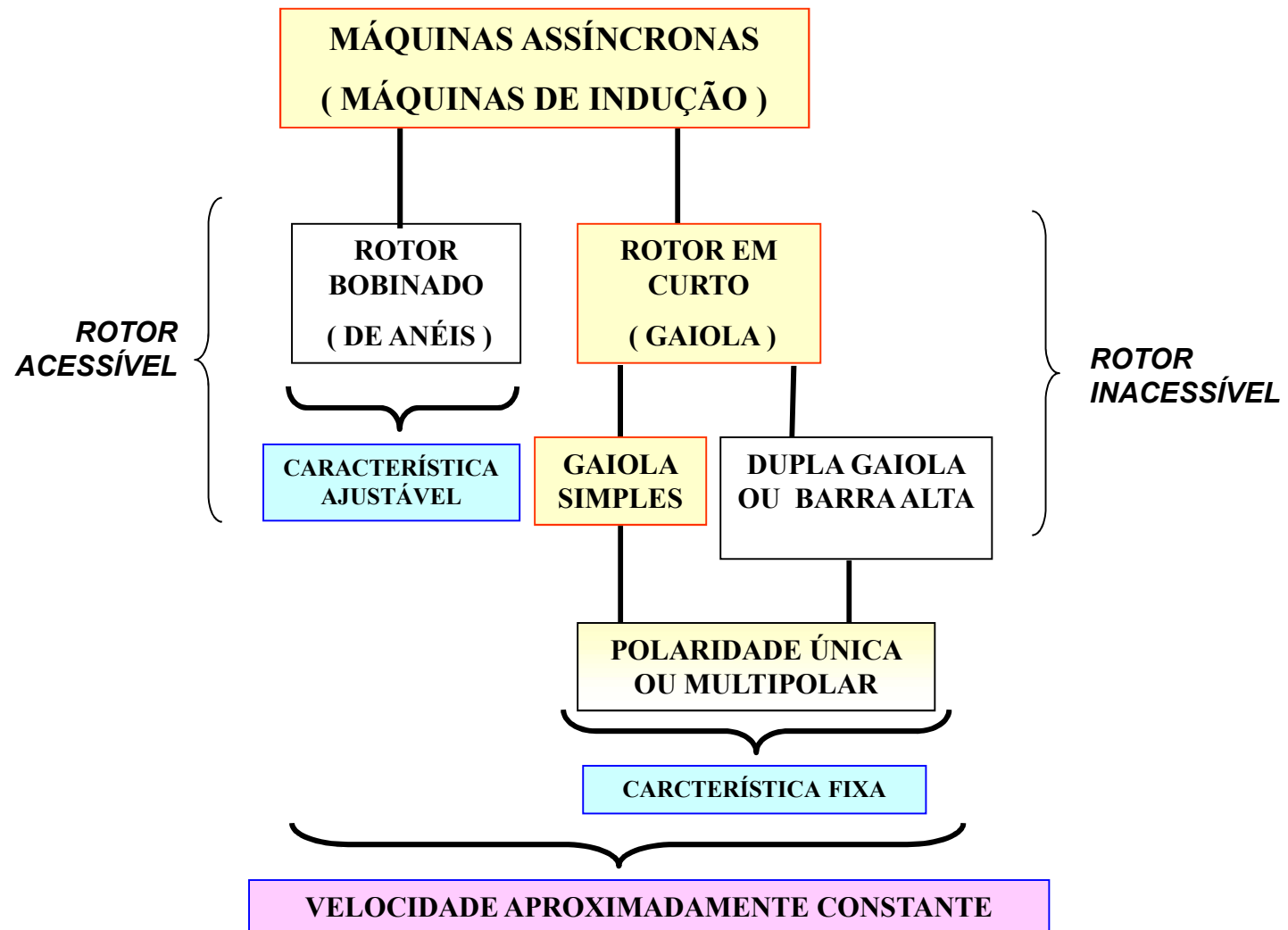


PARTE 2 – MÁQUINAS ASSÍNCRONAS

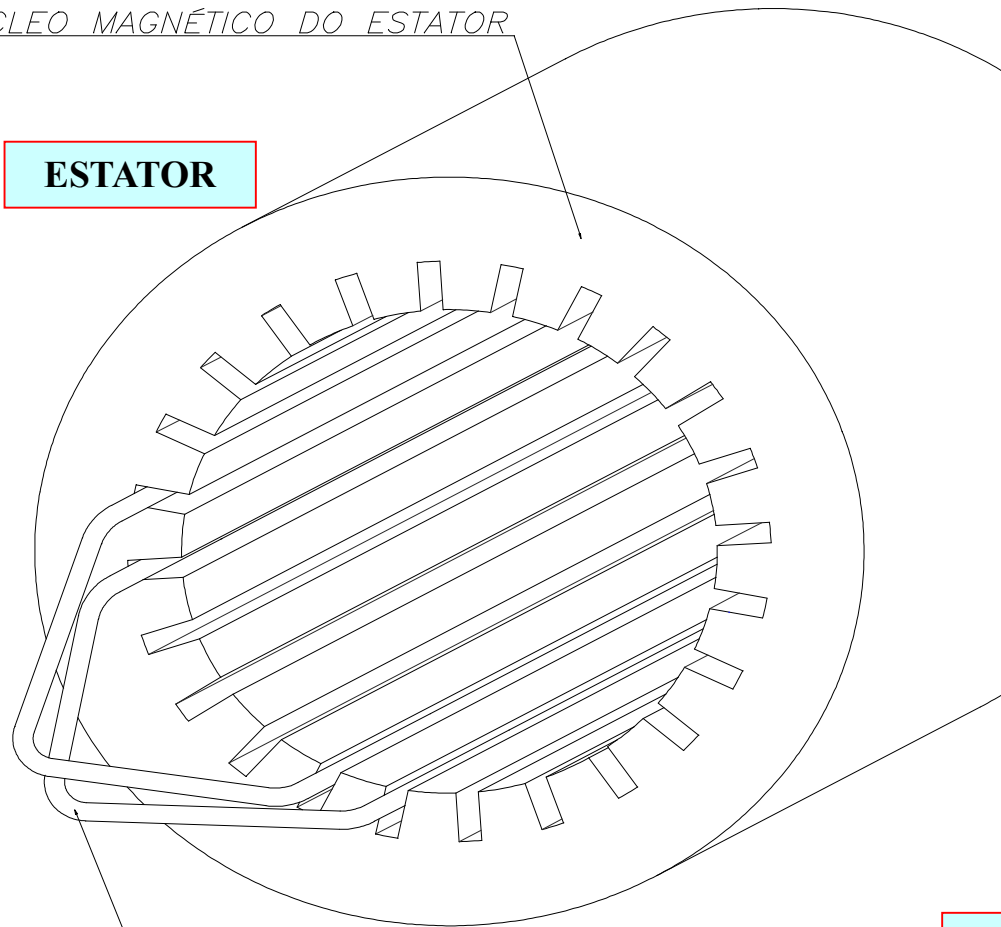


MOTORES ASSÍNCRONOS: CONSTRUÇÃO

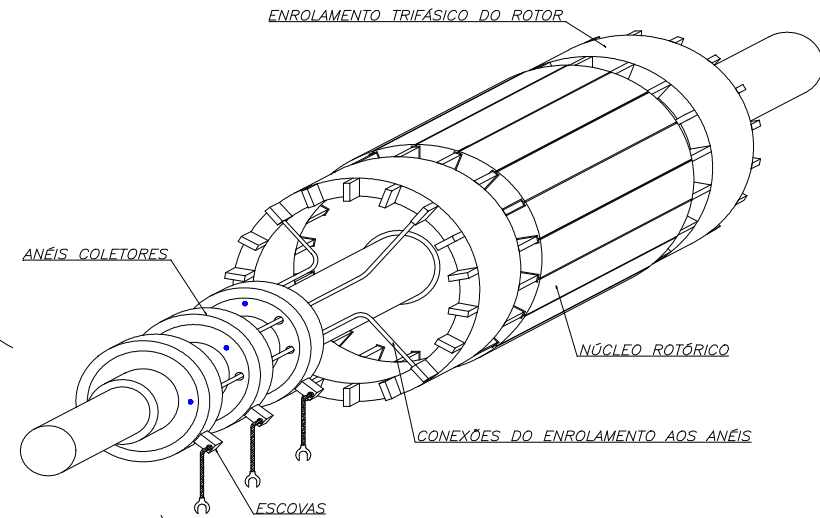
ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA (OU DE INDUÇÃO)

NÚCLEO MAGNÉTICO DO ESTATOR

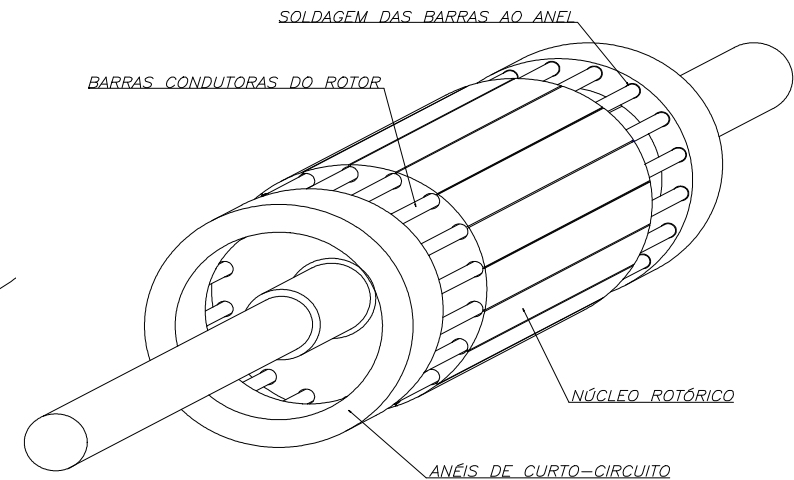
ESTATOR



BOBINAS DO ENROLAMENTO ESTATÓRICO



ROTOR BOBINADO (OU DE ANÉIS)

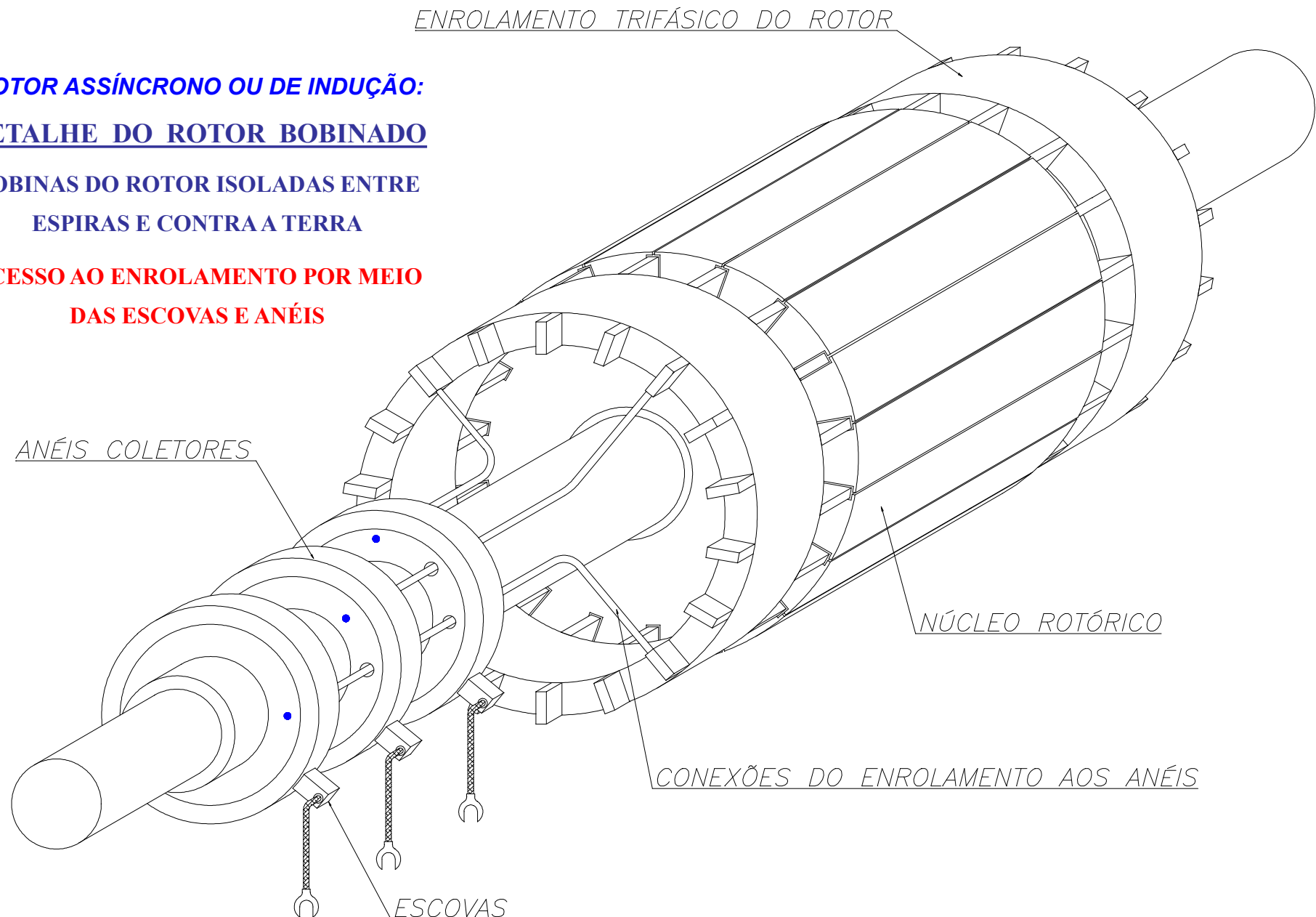


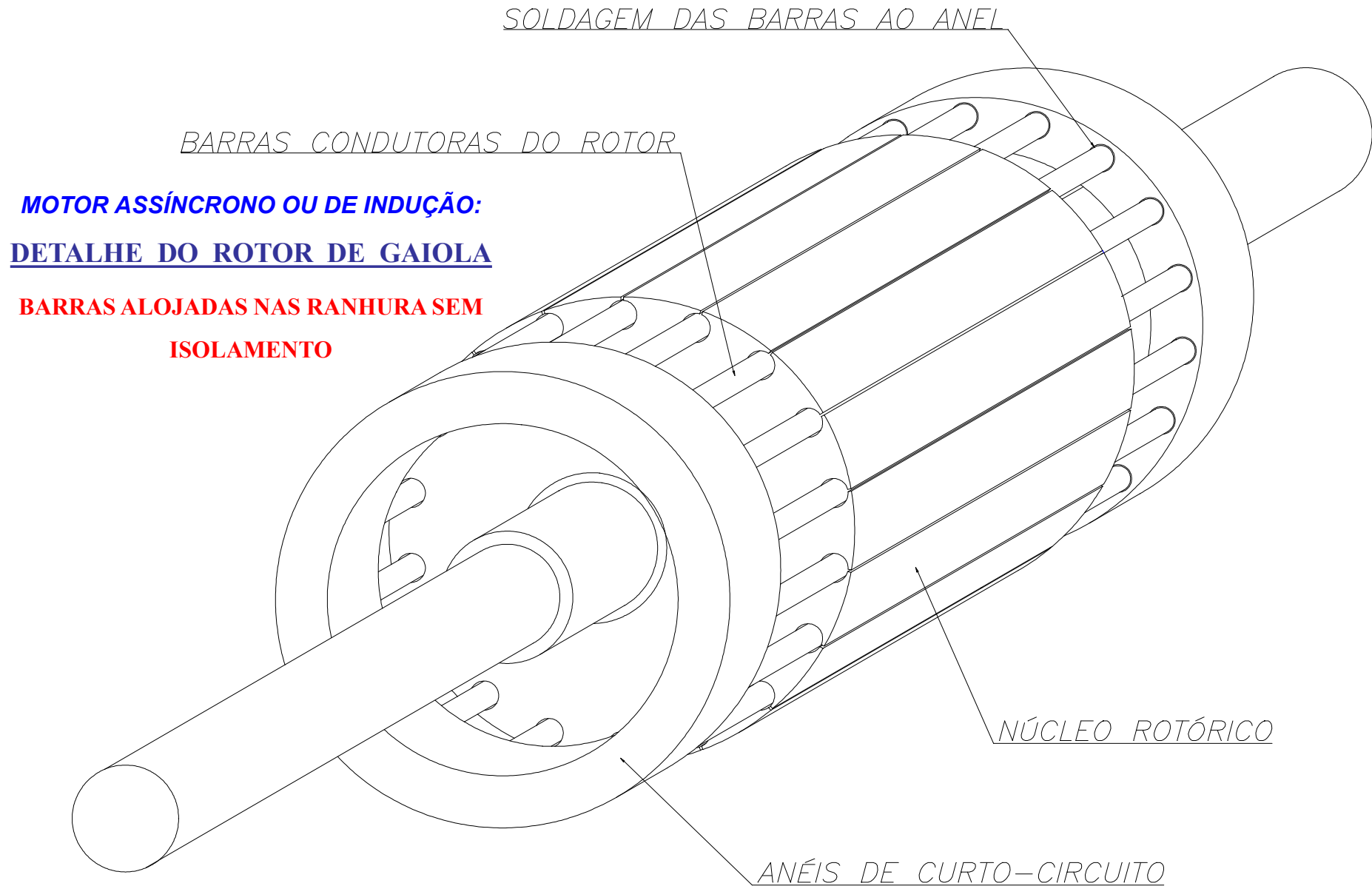
ROTOR EM CURTO (OU DE GAIOLA)

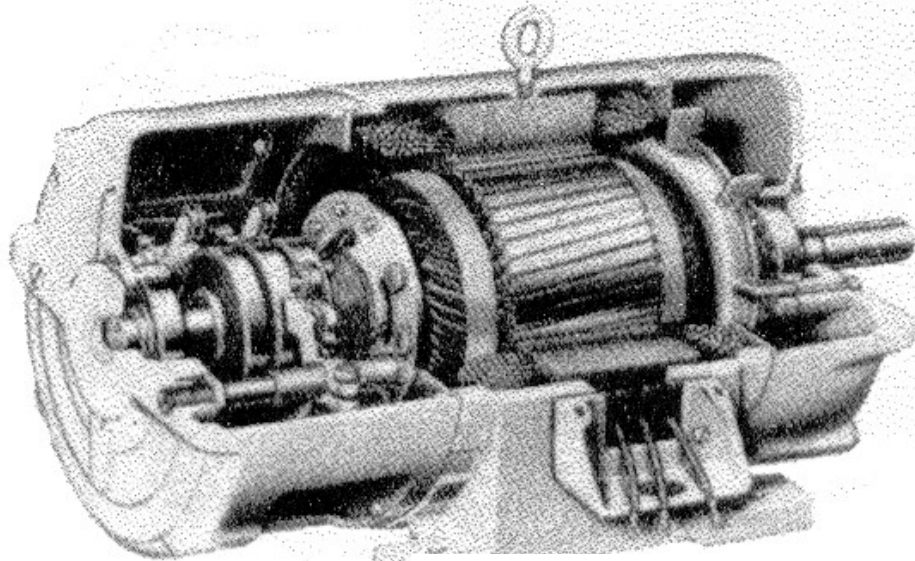
**MOTOR ASSÍNCRONO OU DE INDUÇÃO:
DETALHE DO ROTOR BOBINADO**

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

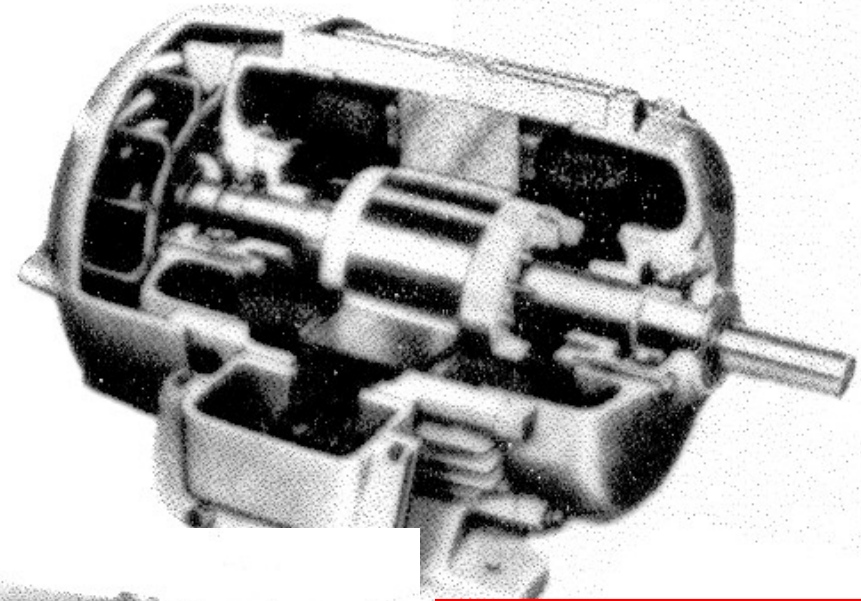
**ACESSO AO ENROLAMENTO POR MEIO
DAS ESCOVAS E ANÉIS**



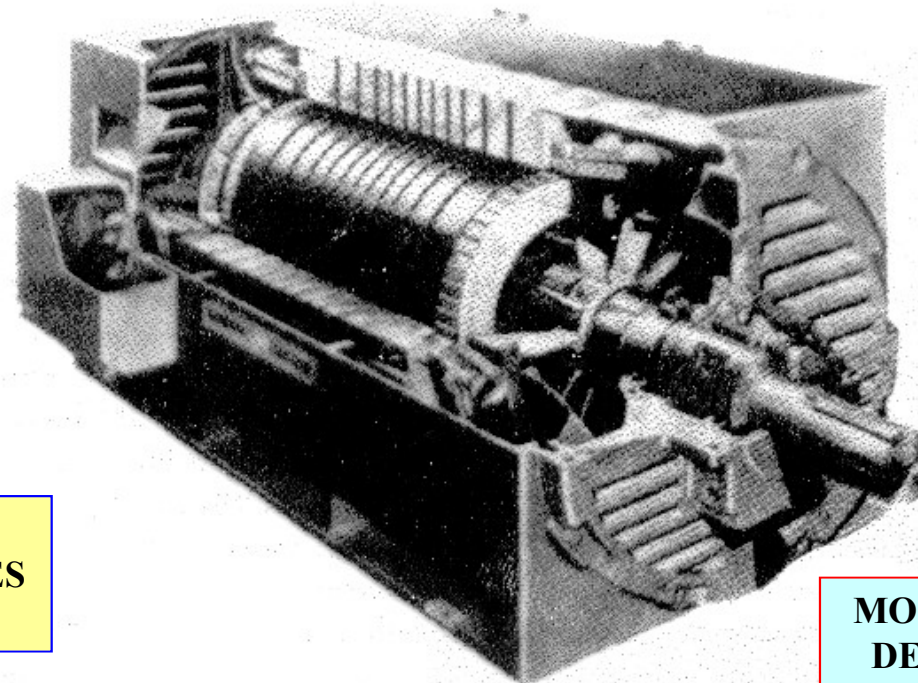




**MOTOR DE ANÉIS DE
MÉDIO PORTE**

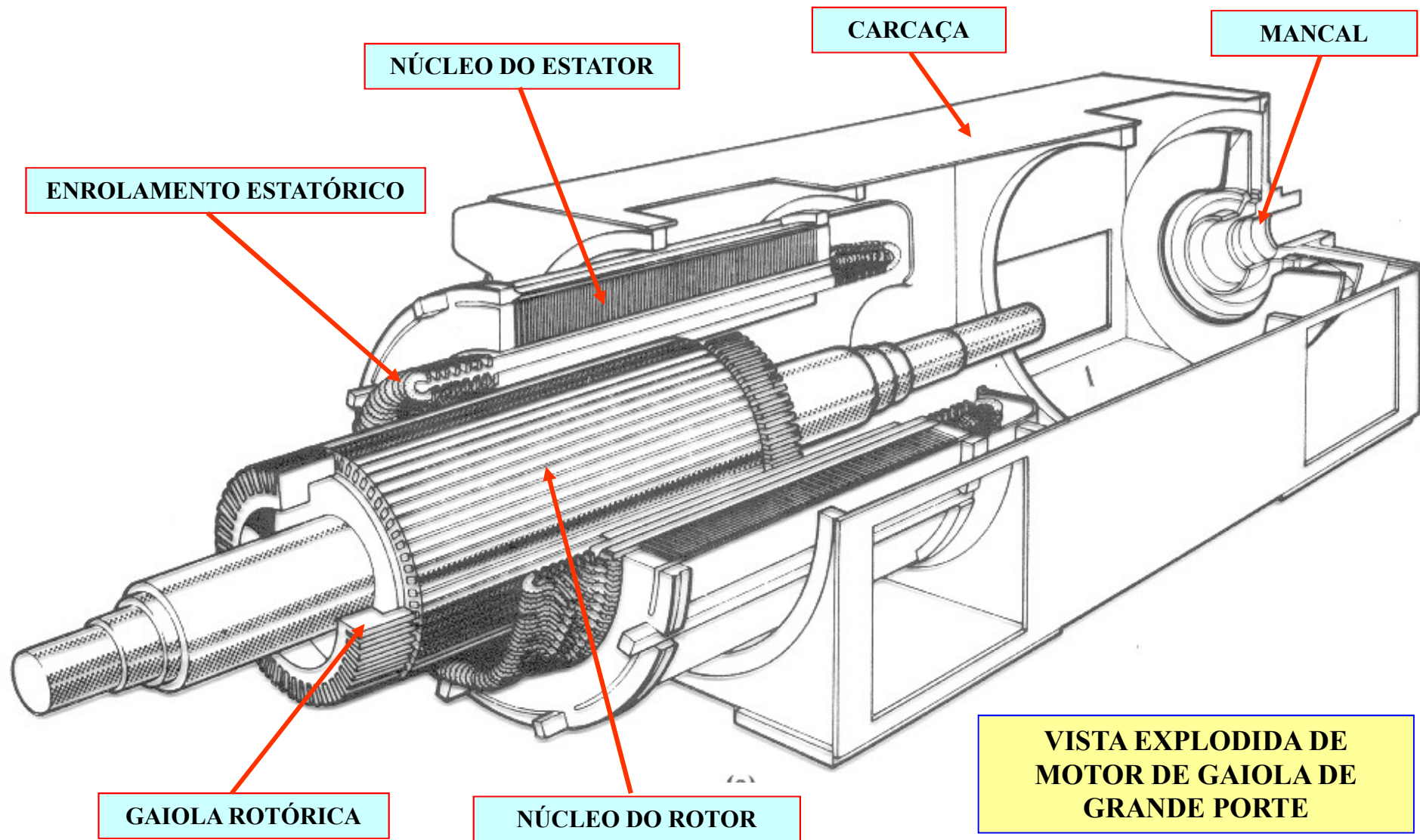


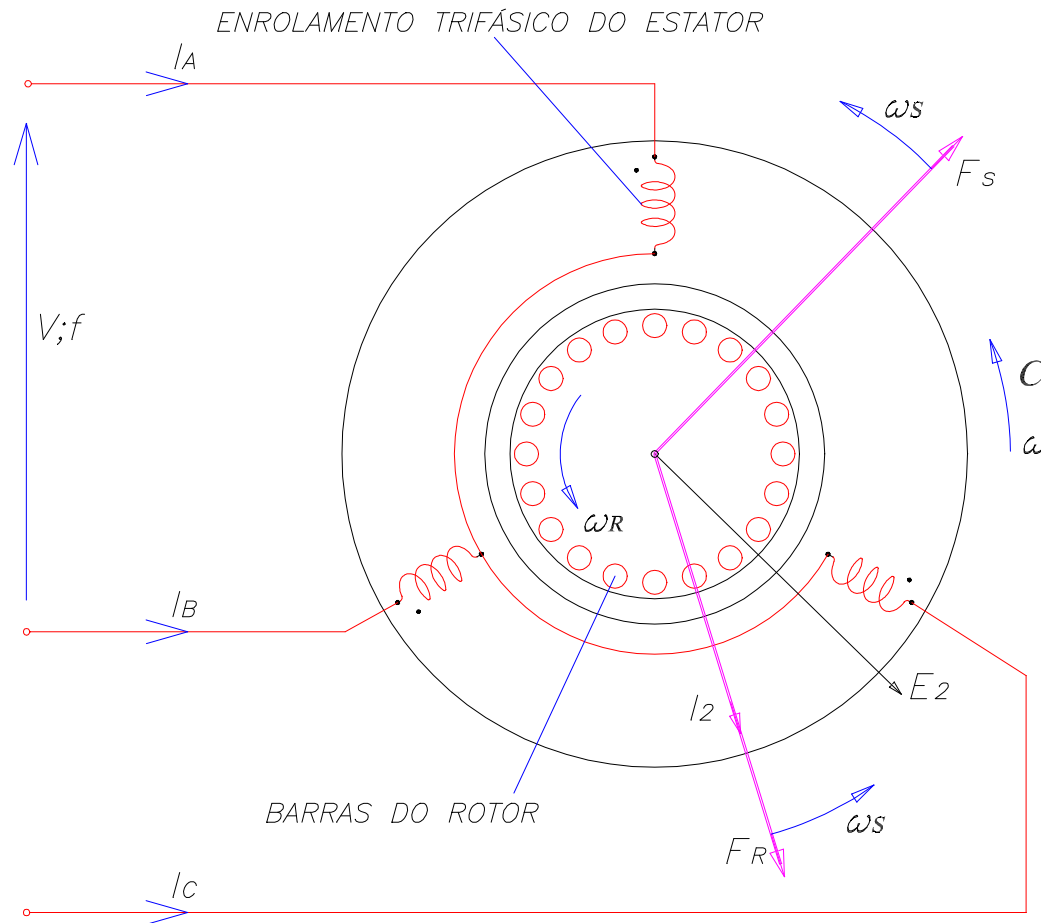
**MOTOR DE GAIOLA
DE PEQUENO PORTE**



**MOTOR DE GAIOLA
DE MÉDIO PORTE**

**CONSTRUÇÕES
TÍPICAS DE MOTORES
ASSÍNCRONOS**



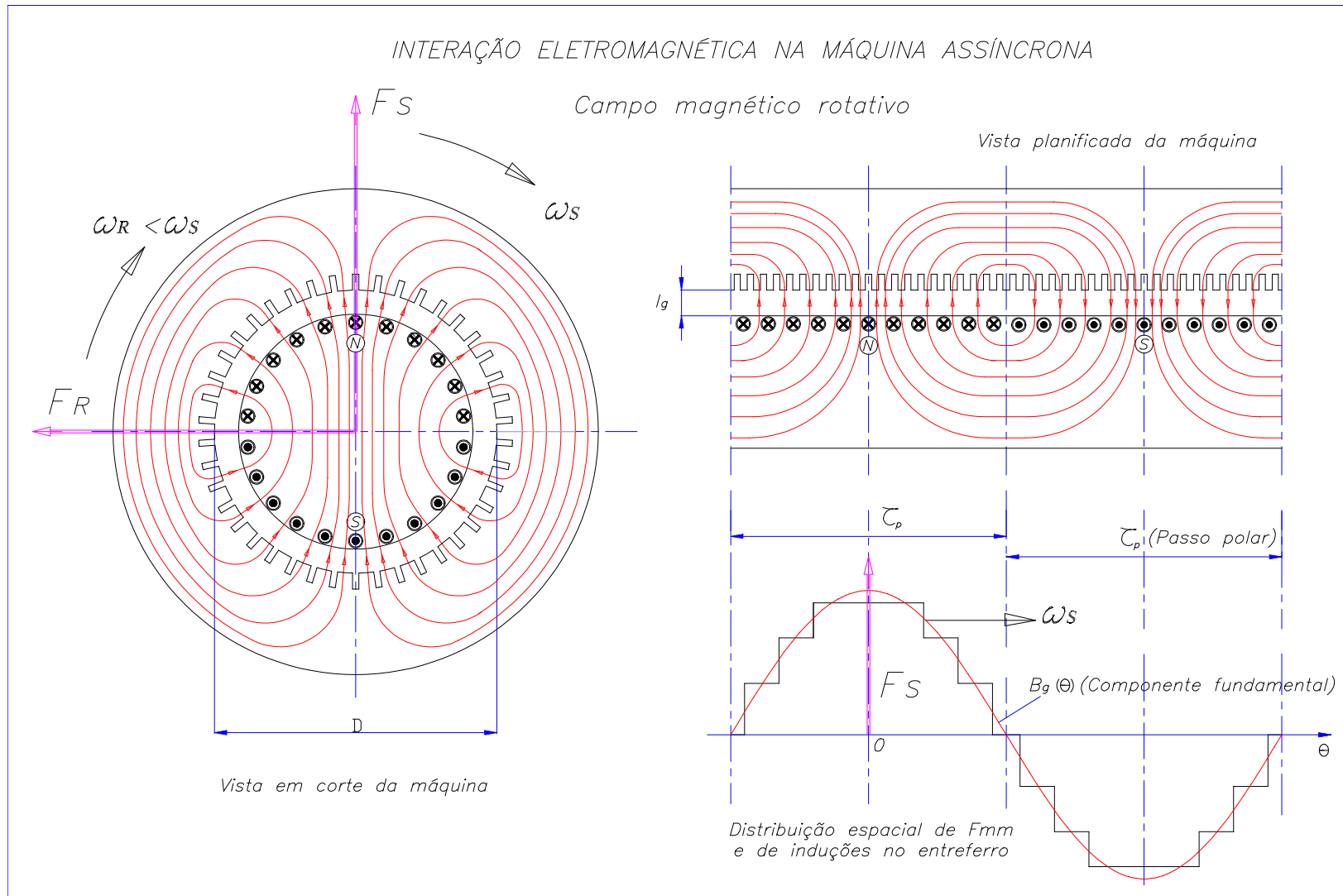
CONCEITO DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR ASSÍNCRONO (DE INDUÇÃO)


CAMPO ROTÓRICO F_R → PRODUZIDO POR CORRENTES INDUZIDAS A PARTIR DO CAMPO DO ESTATOR

$$\rightarrow \omega_R < \omega_S$$

BASE DE OPERAÇÃO: CAMPO ROTATIVO NO ENTREFERRO, PRODUZIDO PELO ESTATOR

MOTORES DE INDUÇÃO: FUNCIONAMENTO



BASE DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA ASSÍNCRONA

FORMAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO NO ENTREFERRO

CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO → ESSENCIAL NO FUNCIONAMENTO DOS MOTORES ASSÍNCRONOS E SÍNCRONOS

FORMAÇÃO DO CAMPO ROTATIVO SÓ É POSSÍVEL COM ENROLAMENTOS POLIFÁSICOS (TRIFÁSICO MAIS COMUMENTE)

CONDIÇÕES PARA FORMAÇÃO DO CAMPO GIRANTE COM ENROLAMENTO POLIFÁSICO:

→ NECESSÁRIO NO ESTATOR UM SISTEMA DE “ m ” CONJUNTOS DE BOBINAS, CHAMADOS FASES, ESPAÇADOS DE FORMA EQUIDISTANTE AO LONGO DA SUPERFÍCIE DO ENTREFERRO → DESLOCAMENTO ESPACIAL ENTRE FASES DE $2\pi / m$ (ÂNGULO ELÉTRICO)

→ NECESSÁRIA A ALIMENTAÇÃO DE CADA FASE COM CORRENTE ALTERNADA PERIÓDICA, SENDO O CONJUNTO DE CORRENTES FORMANDO UM SISTEMA POLIFÁSICO → DEFASAGEM TEMPORAL DAS CORRENTES ENTRE FASES TAMBÉM DE $2\pi / m$ (ÂNGULO ELÉTRICO)

NO CASO TRIFÁSICO: 3 CONJUNTOS DE BOBINAS EQUIDISTANTES NO ESTATOR – DESLOCADAS ESPACIALMENTE DE 120° - PERCORRIDAS POR CORRENTES ALTERNADAS - DEFASADAS ENTRE SI DE 120°



“SISTEMA TRIFÁSICO DE CORRENTES” APLICADO A UM “ENROLAMENTO TRIFÁSICO”

PRINCÍPIO DO ENROLAMENTO TRIFÁSICO → CAMPO MAGNÉTICO FORMADO NO ENTREFERRO

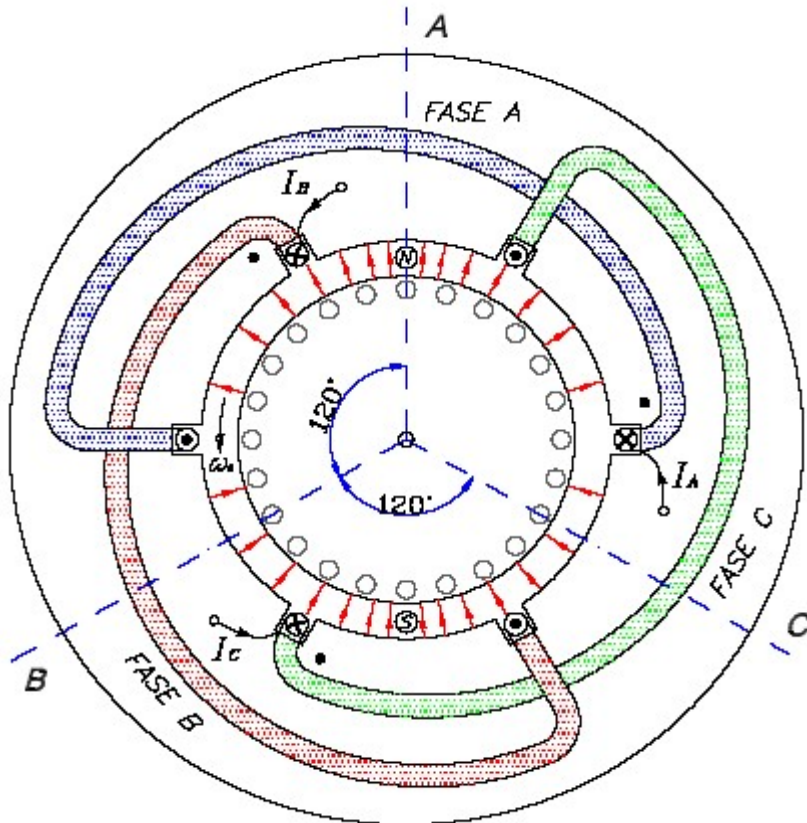
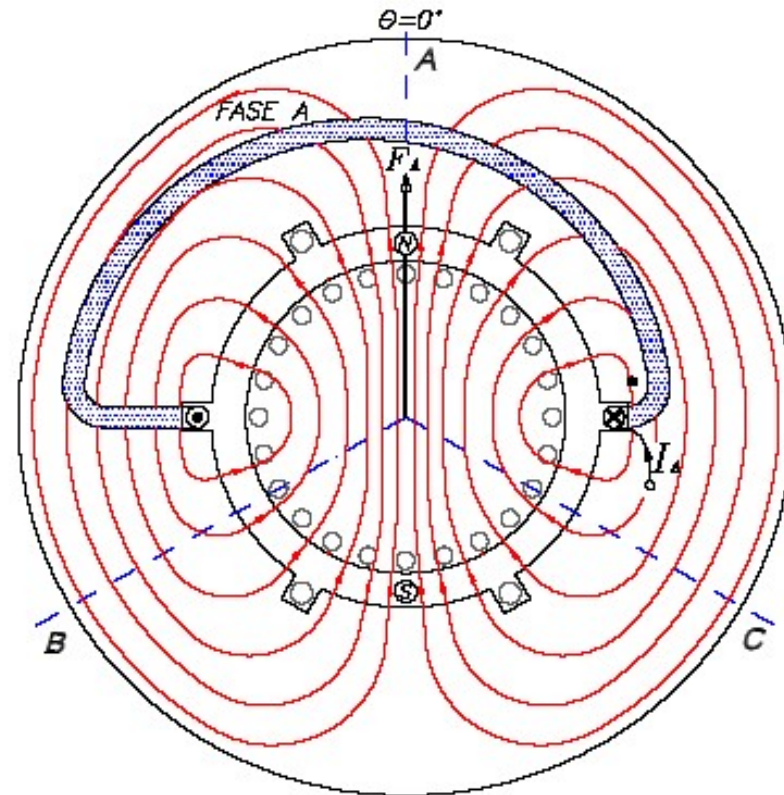


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE ENROLAMENTO TRIFÁSICO ELEMENTAR

→ ENROLAMENTO DE 2 PÓLOS

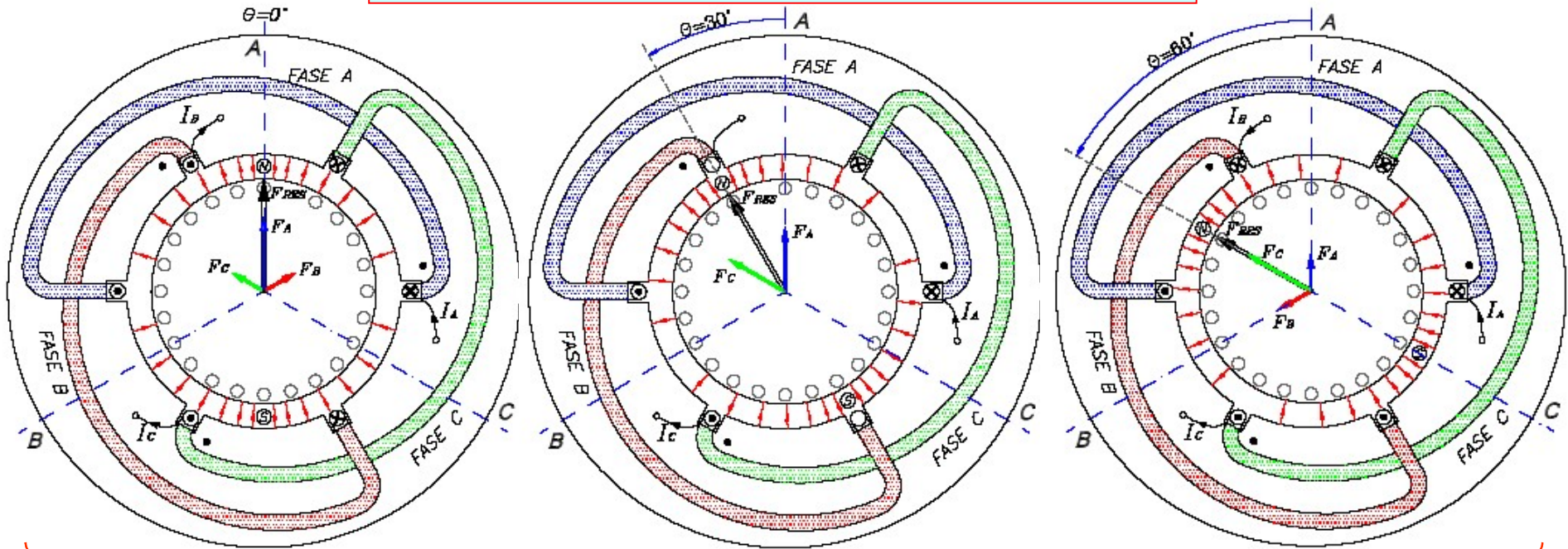


DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO NO CIRCUITO MAGNÉTICO, PRODUZIDO EXCLUSIVAMENTE PELA FASE "A"

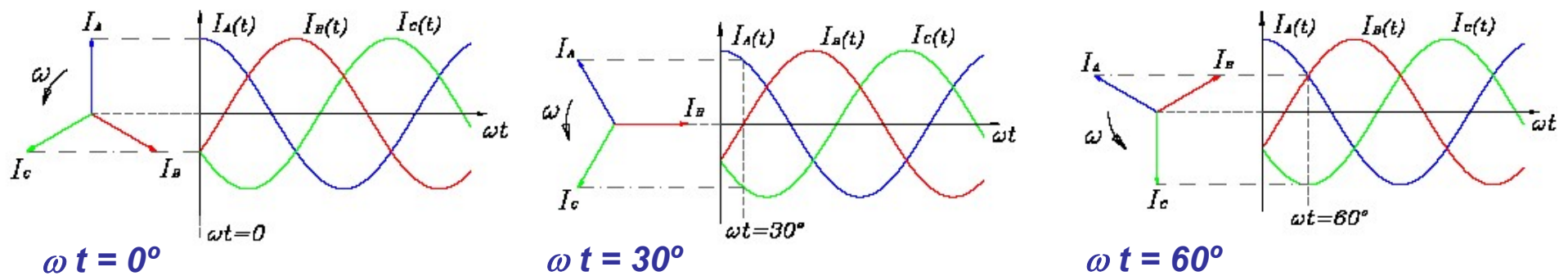
→ DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CAMPO AO LONGO DO ENTREFERRO É CO-SENOIDAL (NO CASO IDEAL), REPRESENTADA PELO VETOR F_A

$$\rightarrow F_A = N_f \cdot I_A = N_f \cdot I_M \cdot \cos(\omega.t) = F_M \cdot \cos(\omega.t)$$

FORMAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO



EVOLUÇÃO NO TEMPO E NO ESPAÇO DO CAMPO RESULTANTE, $F_{RES} \rightarrow$ (AÇÃO CONJUNTA DAS 3 FASES)



DIAGRAMAS FASORIAIS DAS CORRENTES

PROPRIEDADES DO CAMPO MAGNÉTICO FORMADO NO ENTREFERRO:

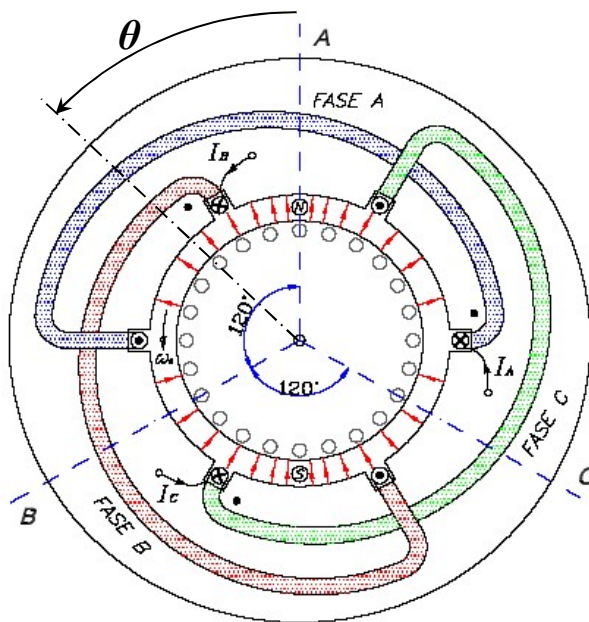
→ CAMPO RESULTANTE COM DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL CO-SENOIDAL (CASO IDEAL), DE AMPLITUDE CONSTANTE

→ **AMPLITUDE DO CAMPO RESULTANTE** : $F_{RES} = 1,5 \cdot F_M$ (F_M : MAGNITUDE MÁXIMA DO CAMPO INDIVIDUAL DE CADA FASE)

→ CAMPO RESULTANTE É ROTATIVO NO ENTREFERRO (CAMPO GIRANTE)

→ PARA CONFIGURAÇÃO DE 2 PÓLOS: CAMPO GIRANTE PERFAZ UMA REVOLUÇÃO COMPLETA AO LONGO DO ENTREFERRO A CADA CICLO COMPLETO DA CORRENTE NAS FASES DO ENROLAMENTO

CORRENTES DE FASE COM FREQUÊNCIA ANGULAR : $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \rightarrow f$: FREQUÊNCIA DA REDE



$$\vec{F}_A = F_M \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos \theta$$

$$\vec{F}_B = F_M \cdot \cos(\omega t - 120^\circ) \cdot \cos(\theta + 120^\circ)$$

$$\vec{F}_C = F_M \cdot \cos(\omega t - 240^\circ) \cdot \cos(\theta + 240^\circ)$$

COMPONENTES
DE CAMPO
INDIVIDUAIS DE
CADA FASE

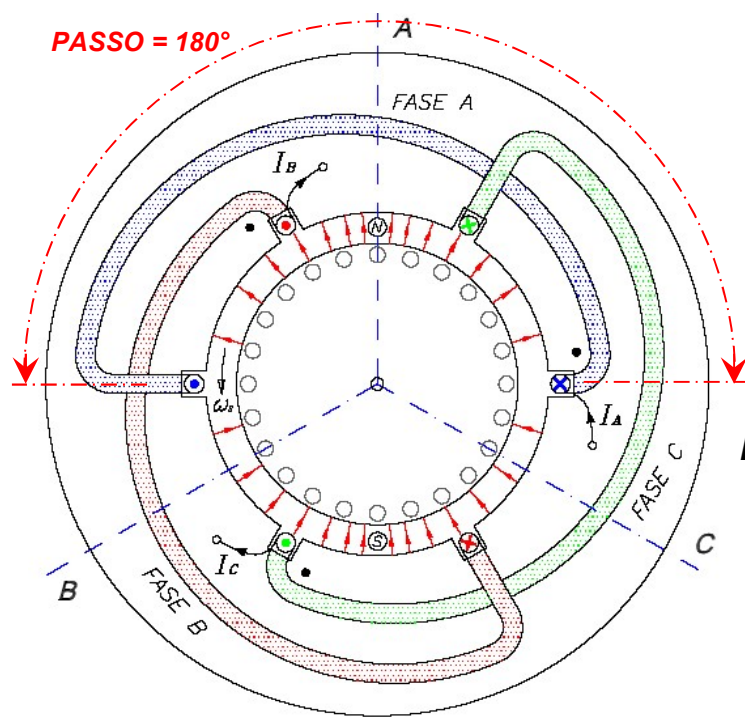
$$\vec{F}_{RES} = \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C$$

$$F_{RES} = \frac{3}{2} \cdot F_M \cdot \cos(\theta - \omega t)$$

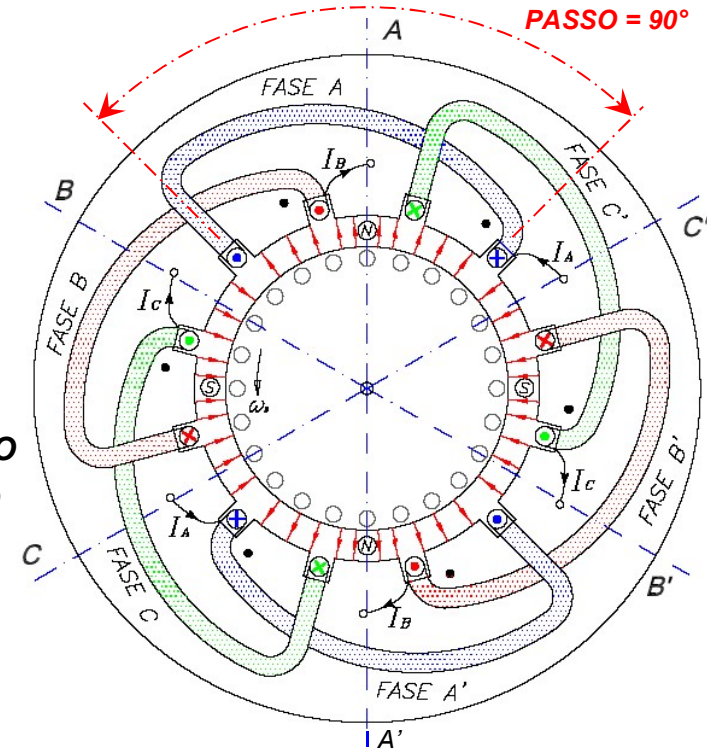
EQUAÇÃO DA ONDA
DE CAMPO ROTATIVO
NO ENTREFERRO

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA ONDA
→ VELOCIDADE SÍNCRONA DO CAMPO

DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE PÓLOS DO ENROLAMENTO TRIFÁSICO → VELOCIDADE SÍNCRONA DO CAMPO ROTATIVO



DUPLICAÇÃO DO PADRÃO
DE BOBINAS AO LONGO
DO ENTREFERRO



ENROLAMENTO DE 2 PÓLOS → $2.p = 2 \rightarrow p = 1$

CONFIGURAÇÃO MÍNIMA: 1 CONJUNTO DE BOBINAS
POR FASE → BOBINAS COM PASSO = $\pi \text{ rad.}$

VELOCIDADE SÍNCRONA: 1 ROTAÇÃO DO CAMPO A
CADA CICLO DA CORRENTE → $\omega_s = \omega = 2.\pi.f$

$f = 60 \text{ Hz} \rightarrow n_s = 60 \text{ rps} = 3600 \text{ RPM}$

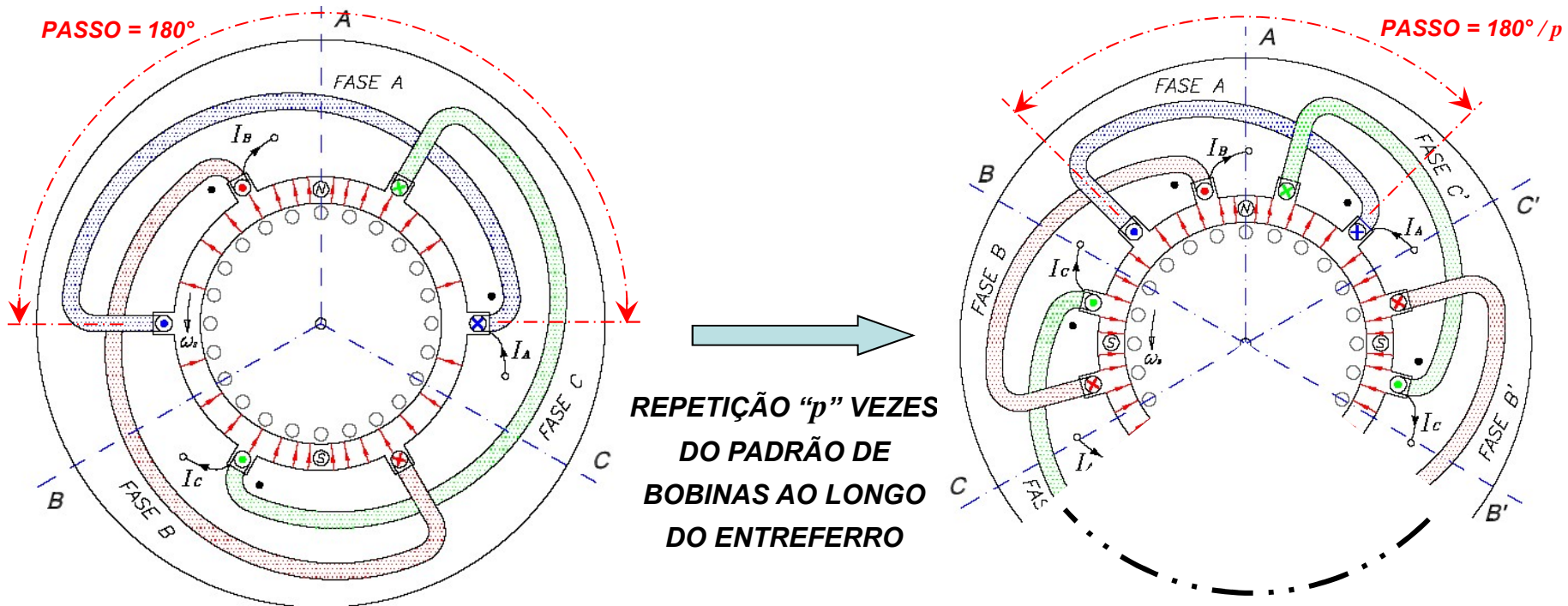
ENROLAMENTO DE 4 PÓLOS → $2.p = 4 \rightarrow p = 2$

CONFIGURAÇÃO MÍNIMA: 2 CONJUNTOS DE BOBINAS
POR FASE → BOBINAS COM PASSO = $\pi/2 \text{ rad.}$

VELOCIDADE SÍNCRONA: 1/2 ROTAÇÃO DO CAMPO A
CADA CICLO DA CORRENTE → $\omega_s = \omega/2 = 2.\pi.f/2$

$f = 60 \text{ Hz} \rightarrow n_s = 30 \text{ rps} = 1800 \text{ RPM}$

DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE PÓLOS DO ENROLAMENTO TRIFÁSICO → VELOCIDADE SÍNCRONA DO CAMPO ROTATIVO



ENROLAMENTO GENÉRICO DE $2.p$ PÓLOS → NÚMERO DE PARES DE PÓLOS: “ p ”

CONFIGURAÇÃO MÍNIMA: p CONJUNTO DE BOBINAS POR FASE → BOBINAS COM PASSO $2.\pi/2.p$ rad.

VELOCIDADE SÍNCRONA: $1/p$ ROTAÇÃO DO CAMPO A CADA CICLO DA CORRENTE OU 1 ROTAÇÃO A CADA p CICLOS DA CORRENTE → $\omega_s = \omega/p = 2.\pi.f/p$

$f = 60 \text{ Hz} \rightarrow n_s = f/p \text{ rps} = 60 . f/p \text{ RPM}$



- 2 PÓLOS → $p = 1 \rightarrow n_s = 3600 \text{ RPM}$
- 4 PÓLOS → $p = 2 \rightarrow n_s = 1800 \text{ RPM}$
- 6 PÓLOS → $p = 3 \rightarrow n_s = 1200 \text{ RPM}$
- 8 PÓLOS → $p = 4 \rightarrow n_s = 900 \text{ RPM}$