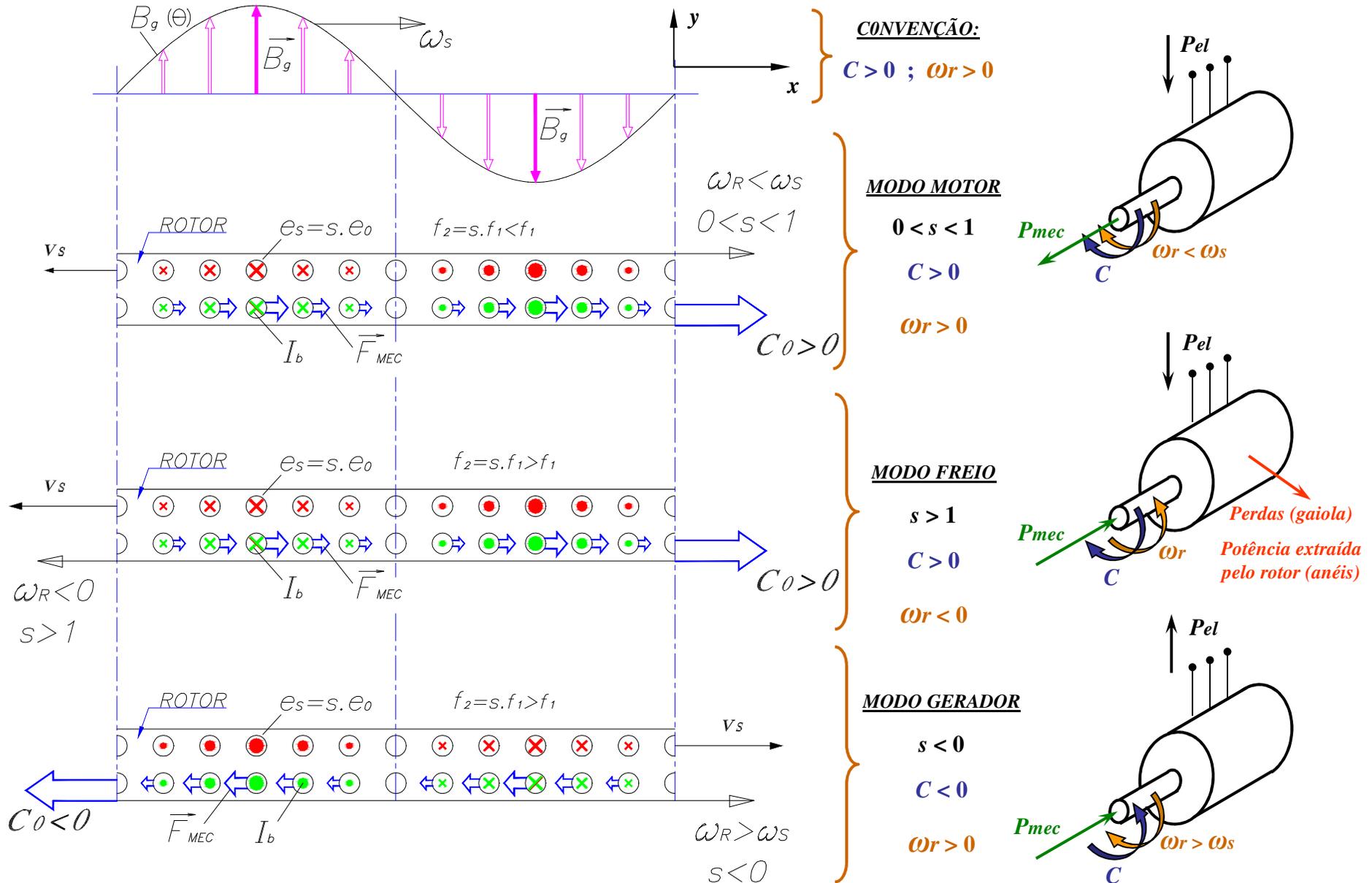
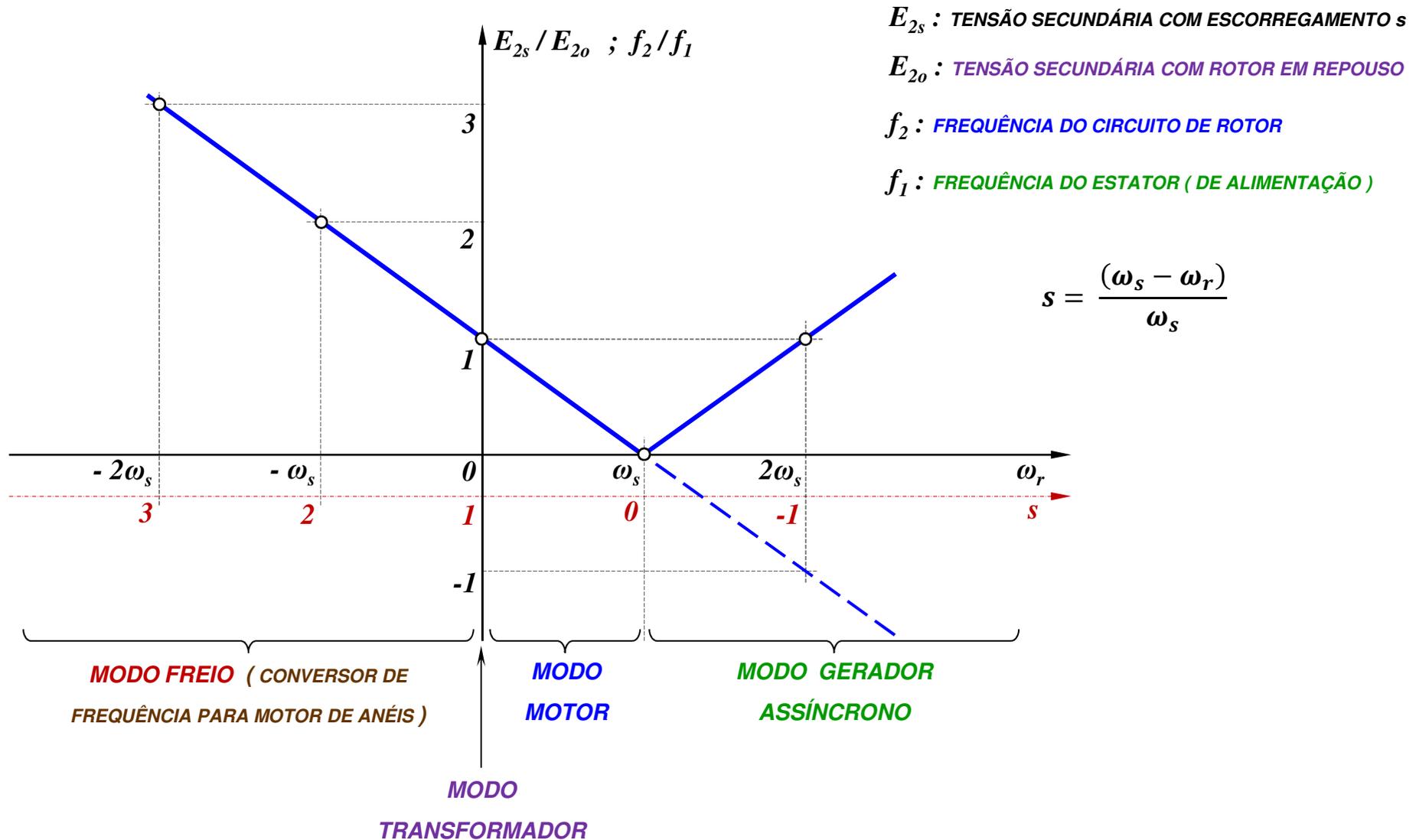


MODOS DE OPERAÇÃO DA MÁQUINA ASSÍNCRONA



MODOS DE OPERAÇÃO DA MÁQUINA ASSÍNCRONA



CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - CURVAS $C_x s$ E $I_x s$

COMPORTAMENTO DA CORRENTE NO ROTOR E DO CONJUGADO DESENVOLVIDO COM O ESCORREGAMENTO :

→ **CORRENTE NA BARRA DO ROTOR** : $I_{bs} = e_s / r_b = s \cdot e_0 / r_b = s \cdot B_g \cdot L \cdot V_0 / r_b = k \cdot B_g \cdot \omega_s \cdot l / r_b \cdot s \rightarrow I_{bs} = k_i \cdot s$

→ **FORÇA MECÂNICA E TORQUE** : $F_{MECs} = B_g \cdot L \cdot I_{bs} \rightarrow C_s = k \cdot B_g \cdot L \cdot s \cdot e_0 / r_b = k \cdot (B_g)^2 \cdot \omega_s \cdot l / r_b \cdot s \rightarrow C_s = k_c \cdot s$

SE $r_b = cte.$ → **CORRENTE E CONJUGADO PROPORCIONAIS AO ESCORREGAMENTO**

NAS MÁQUINAS REAIS → BARRAS ROTÓRICAS NÃO TEM APENAS RESISTÊNCIA, MAS TAMBÉM INDUTÂNCIA :

INDUTÂNCIA DO ROTOR MANIFESTA-SE COMO UMA REATÂNCIA INDUTIVA, NA FREQUÊNCIA DO ROTOR

CIRCUITO ELÉTRICO DO ROTOR → RESISTIVO + INDUTIVO → IMPEDÂNCIA COMPLEXA NO ROTOR

FREQUÊNCIA DO ROTOR VARIA COM O ESCORREGAMENTO → IMPEDÂNCIA : FUNÇÃO DO ESCORREGAMENTO

INDUTÂNCIA DA BARRA = L_b → REATÂNCIA DA BARRA = $x_s = 2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot L_b = 2 \cdot \pi \cdot s \cdot f_1 \cdot L_b = s \cdot x$

IMPEDÂNCIA DA BARRA

$$\dot{z}_b = r_b + j \cdot s \cdot x \left\{ \begin{array}{l} |\dot{z}_b| = \sqrt{r_b^2 + s^2 \cdot x^2} \rightarrow \text{MÓDULO DA IMPEDÂNCIA} \\ \varphi = \ar \cos\left(\frac{r_b}{z_b}\right) = \ar \cos\left(\frac{r_b}{\sqrt{r_b^2 + s^2 \cdot x^2}}\right) \rightarrow \text{FASE DA IMPEDÂNCIA} \end{array} \right.$$

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - CURVAS C_{xs} E I_{xs}

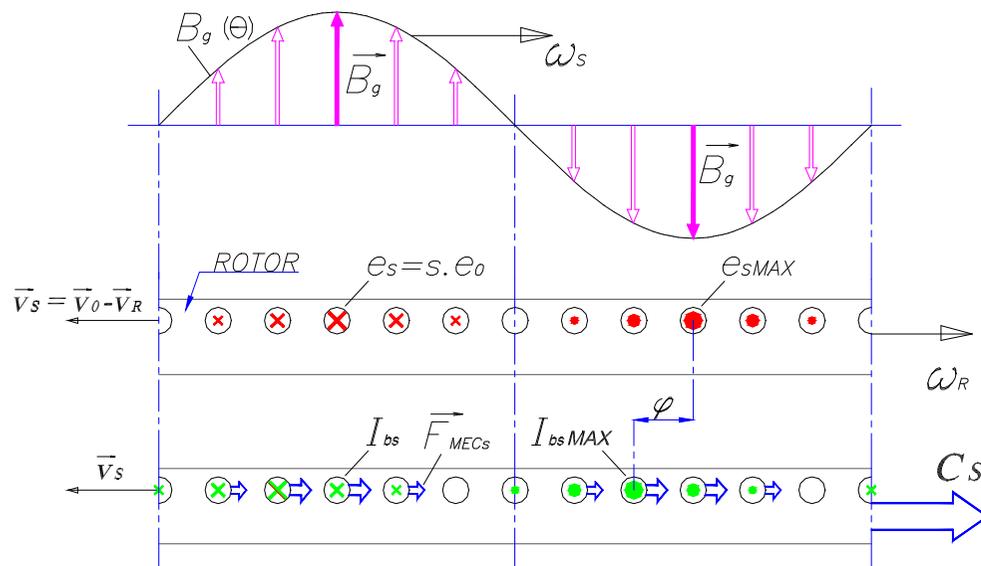
$$|\dot{z}_b| = \sqrt{r_b^2 + s^2 \cdot x^2}$$

$$\varphi = \arccos\left(\frac{r_b}{\sqrt{r_b^2 + s^2 \cdot x^2}}\right)$$

NATUREZA DO CIRCUITO ELÉTRICO DO ROTOR VARIA C/ O ESCORREGAMENTO :
 $s \rightarrow 0$: CIRCUITO PREDOMINANTEMENTE RESISTIVO (REGIÃO DE OPERAÇÃO NORMAL)
 $s \rightarrow 1$: CIRCUITO PREDOMINANTEMENTE REATIVO (REGIÃO DA PARTIDA)

$$I_{bs} = \frac{s \cdot e_0}{\sqrt{r_b^2 + s^2 \cdot x^2}} \Rightarrow I_{bs}(\theta) = \frac{s \cdot e_0(\theta)}{r_b + j \cdot s \cdot x}$$

MANIFESTAÇÃO DA REATÂNCIA \rightarrow ATRASO NA CORRENTE DA BARRA, EM RELAÇÃO À TENSÃO INDUZIDA PELO CAMPO ROTATIVO \rightarrow CORRENTE EM CADA BARRA NÃO ESTÁ MAIS EM FASE COM O CAMPO QUE AGE SOBRE A MESMA



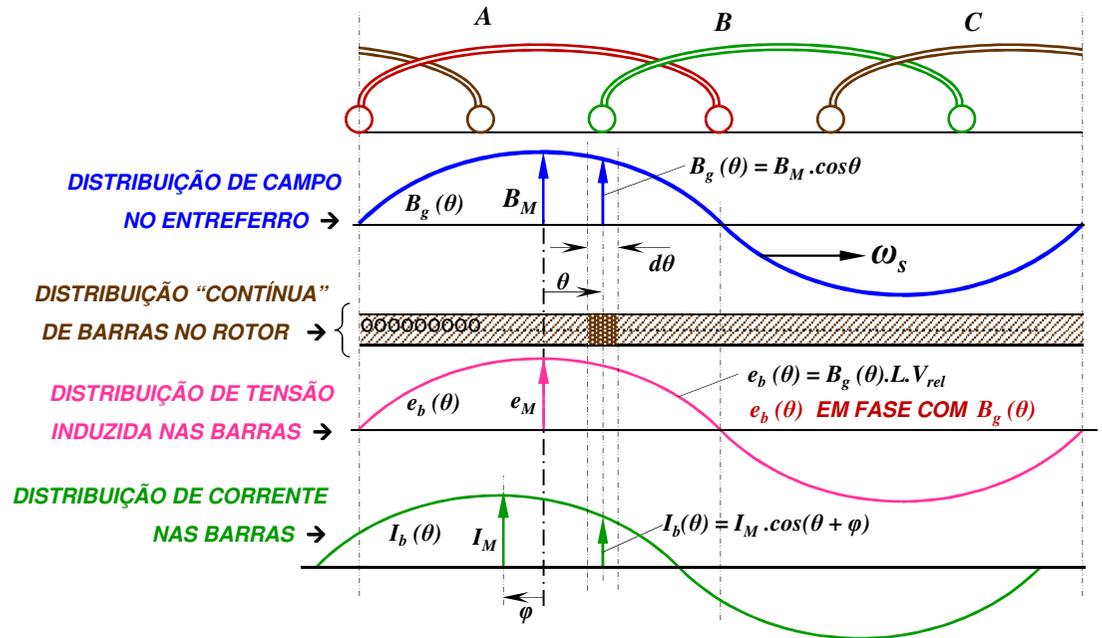
INTERAÇÃO ELETROMAGNÉTICA :

$$C_S = \int_0^{2\pi} B_M \cdot \cos(\theta) \cdot L \cdot I_M \cdot \cos(\theta - \varphi) \cdot \frac{Q_b}{2\pi} \cdot R \cdot d\theta$$

$$C_S = \frac{1}{2} \cdot B_M \cdot I_M \cdot \cos \varphi \cdot L \cdot R \cdot Q_b$$

COMPONENTE ATIVA DA CORRENTE NA BARRA

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - CURVAS C_{xs} E I_{xs} - EXPRESSÃO GERAL DO CONJUGADO



PARA ELEVADA QUANTIDADE DE BARRAS NO ROTOR (N° TOTAL DE BARRAS = Q_b):

→ DISTRIBUIÇÃO “CONTÍNUA” DE BARRAS OU “DENSIDADE ANGULAR” DE BARRAS NO ROTOR : $q_b = Q_b / 2.\pi.p$

→ BARRAS CONTIDAS EM $d\theta$: $\frac{Q_b}{2.\pi.p} . d\theta$

→ DEFASAGEM TEMPORAL DA CORRENTE EM RELAÇÃO À TENSÃO : φ → CORRESPONDE AO DESLOCAMENTO ESPACIAL ANGULAR ENTRE AS DISTRIBUIÇÕES DE CORRENTE E TENSÃO NAS BARRAS

FORÇA MECÂNICA DESENVOLVIDA PELA INTERAÇÃO DO CAMPO COM AS BARRAS CONTIDAS EM $d\theta$: $dF_{mec} = B_g(\theta).L.I_b(\theta).q_b . d\theta$

CONJUGADO DESENVOLVIDO PELAS BARRAS CONTIDAS EM $d\theta$: $dC = R. dF_{mec}$ → R: RAI DO ROTOR

$$dC = B_M . \cos\theta . I_M . \cos(\theta + \varphi) . L . R . \frac{Q_b}{2 . \pi . p} . d\theta \rightarrow C = \int_0^{2.\pi.p} B_M . I_M . L . R . \frac{Q_b}{2 . \pi . p} . \cos\theta . \cos(\theta + \varphi) . d\theta$$

$$C = B_M . I_M . L . R . \frac{Q_b}{2 . \pi . p} \int_0^{2.\pi.p} \cos\theta . (\cos\theta . \cos\varphi - \text{sen}\theta . \text{sen}\varphi) . d\theta$$

$$C = B_M . I_M . L . R . \frac{Q_b}{2 . \pi . p} \left[\int_0^{2.\pi.p} \cos^2\theta . \cos\varphi . d\theta - \int_0^{2.\pi.p} \cos\theta . \text{sen}\theta . \text{sen}\varphi . d\theta \right]$$

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - CURVAS C_{xs} E I_{xs} - EXPRESSÃO GERAL DO CONJUGADO

$$C = B_M \cdot I_M \cdot L \cdot R \cdot \frac{Q_b}{2 \cdot \pi \cdot p} \left[\underbrace{\int_0^{2\pi \cdot p} \cos^2 \theta \cdot \cos \varphi \cdot d\theta}_{\text{}} - \underbrace{\int_0^{2\pi \cdot p} \cos \theta \cdot \text{sen} \theta \cdot \text{sen} \varphi \cdot d\theta}_{\text{}} \right]$$

$$\cos \varphi \cdot \int_0^{2\pi \cdot p} \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \cdot d\theta = \frac{\cos \varphi}{2} \cdot \left[(d\theta)_0^{2\pi \cdot p} + \left(\frac{\text{sen} 2\theta}{2} \right)_0^{2\pi \cdot p} \right] = p \cdot \pi \cdot \cos \varphi$$

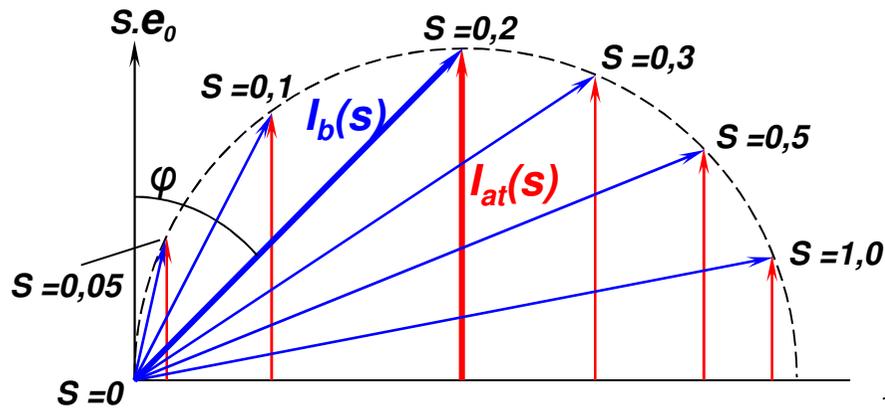
$$\text{sen} \varphi \int_0^{2\pi \cdot p} \cos \theta \cdot \text{sen} \theta \cdot d\theta = \text{sen} \varphi \int_0^{2\pi \cdot p} \frac{\text{sen} 2\theta}{2} \cdot d\theta = 0$$

$$C = B_M \cdot I_M \cdot L \cdot R \cdot \frac{Q_b}{2 \cdot \pi \cdot p} \cdot \pi \cdot p \cdot \cos \varphi \rightarrow \boxed{C = \frac{1}{2} B_M \cdot I_M \cdot \cos \varphi \cdot L \cdot R \cdot Q_b}$$

→ EXPRESSÃO GERAL DO CONJUGADO VALE PARA QUALQUER NÚMERO DE POLOS DO MOTOR

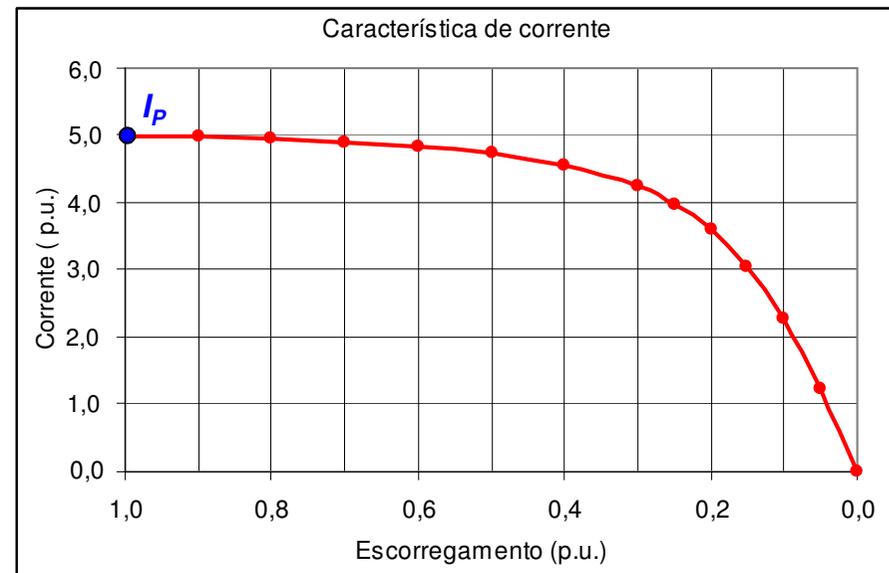
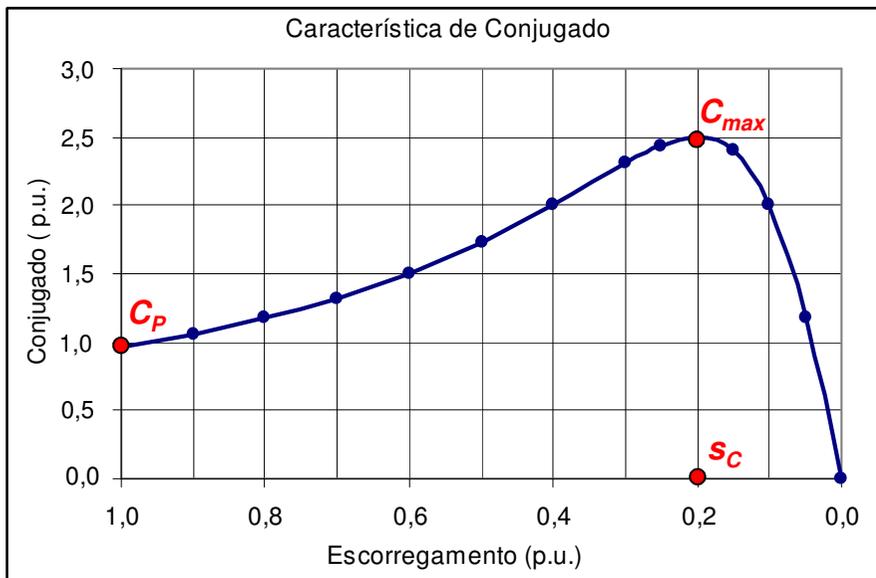
→ CONJUGADO DESENVOLVIDO DEPENDE DA COMPONENTE ATIVA DA CORRENTE NAS BARRAS

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - CURVAS $C \times s$ E $I \times s$



COMPORTAMENTO DA COMPONENTE ATIVA DA CORRENTE COM O ESCORREGAMENTO NO ROTOR DO MOTOR DE INDUÇÃO : $I_{at}(s) = I_b(s) \cdot \cos \varphi$

- **CORRENTE TOTAL SEMPRE CRESCENTE COM “s”**
- **CORRENTE ATIVA TEM UM MÁXIMO PARA $0 < s < 1$**
- **CONJUGADO DESENVOLVIDO PASSA POR UM MÁXIMO PARA $0 < s < 1$**

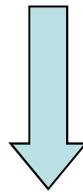


CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - MODELO DE CIRCUITO EQUIVALENTE

MOTOR ASSÍNCRONO REAL → APRESENTA AINDA RESISTÊNCIA E REATÂNCIA DE DISPERSÃO NOS ENROLAMENTOS DAS FASES DO ESTATOR

CONSEQÜÊNCIAS:

MAGNITUDE DO CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO NÃO É RIGOROSAMENTE CONSTANTE → ATENUA-SE SENSIVELMENTE COM A CARGA (CIRCULAÇÃO DE CORRENTE NAS FASES DO ESTATOR) DEVIDO À QUEDA DE TENSÃO NA IMPEDÂNCIA PRIMÁRIA → INFLUÊNCIA SOBRE A TENSÃO E CORRENTE INDUZIDAS NO ROTOR E CONSEQÜENTEMENTE NO TORQUE DESENVOLVIDO.



COMPORTAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO DO PONTO DE VISTA ELÉTRICO → SIMILAR AO COMPORTAMENTO DO TRANSFORMADOR → MODELO QUANTITATIVO QUE REPRESENTA O MOTOR PODE SER O MESMO MODELO QUE REPRESENTA O TRANSFORMADOR → CIRCUITO EQUIVALENTE POR FASE