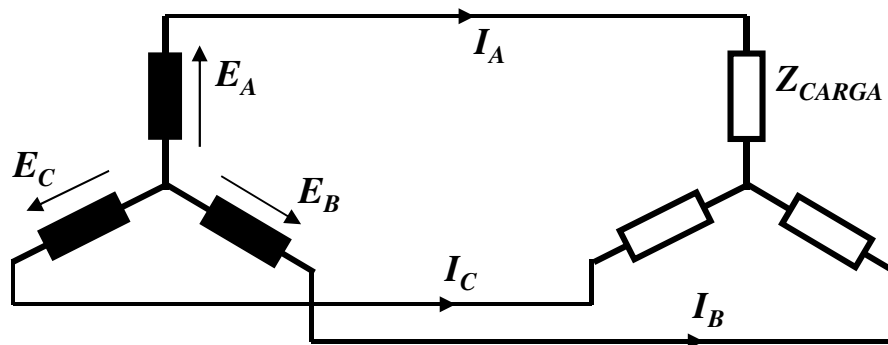


## MÁQUINA SÍNCRONA EM CARGA

## MÁQUINA SÍNCRONA EM CARGA - REAÇÃO DE ARMADURA

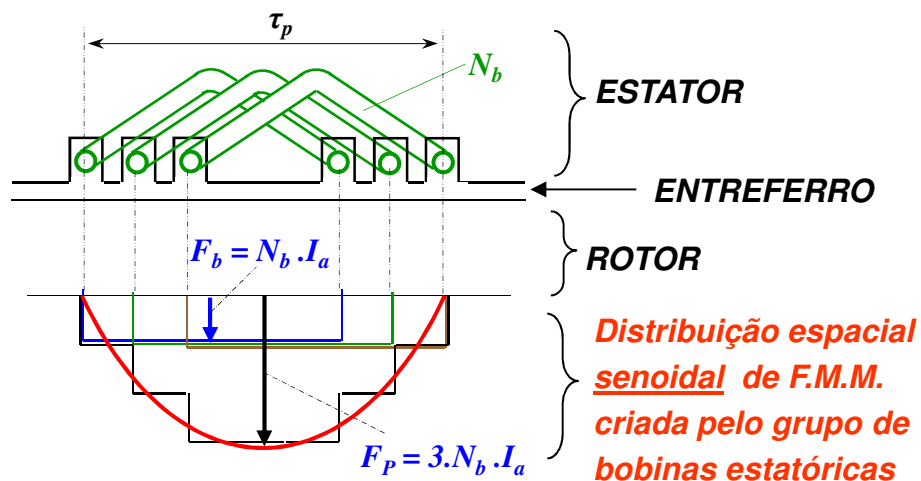


$$\begin{cases} E_A = E_M \cdot \cos \omega t \\ E_B = E_M \cdot \cos(\omega t - 120^\circ) \\ E_C = E_M \cdot \cos(\omega t - 240^\circ) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_A = I_M \cdot \cos(\omega t - \varphi) \\ I_B = I_M \cdot \cos(\omega t - 120^\circ - \varphi) \\ I_C = I_M \cdot \cos(\omega t - 240^\circ - \varphi) \end{cases}$$

$$I_M = E_M / Z_{CARGA}$$

→ TENSÕES GERADAS FORMAM SISTEMA TRIFÁSICO

→ TENSÕES APLICADAS A CARGAS EQUILIBRADAS PRODUZEM CIRCULAÇÃO DE CORRENTES TRIFÁSICAS



EFEITO DA CIRCULAÇÃO DE CORRENTE PELO ESTATOR DA MÁQUINA SÍNCRONA:

→ CADA FASE PRODUZ SUA PRÓPRIA DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO → “REAÇÃO DE ARMADURA”

→ DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO INDIVIDUAL DE CADA FASE ESTÁ CENTRADA COM O EIXO DA RESPECTIVA FASE

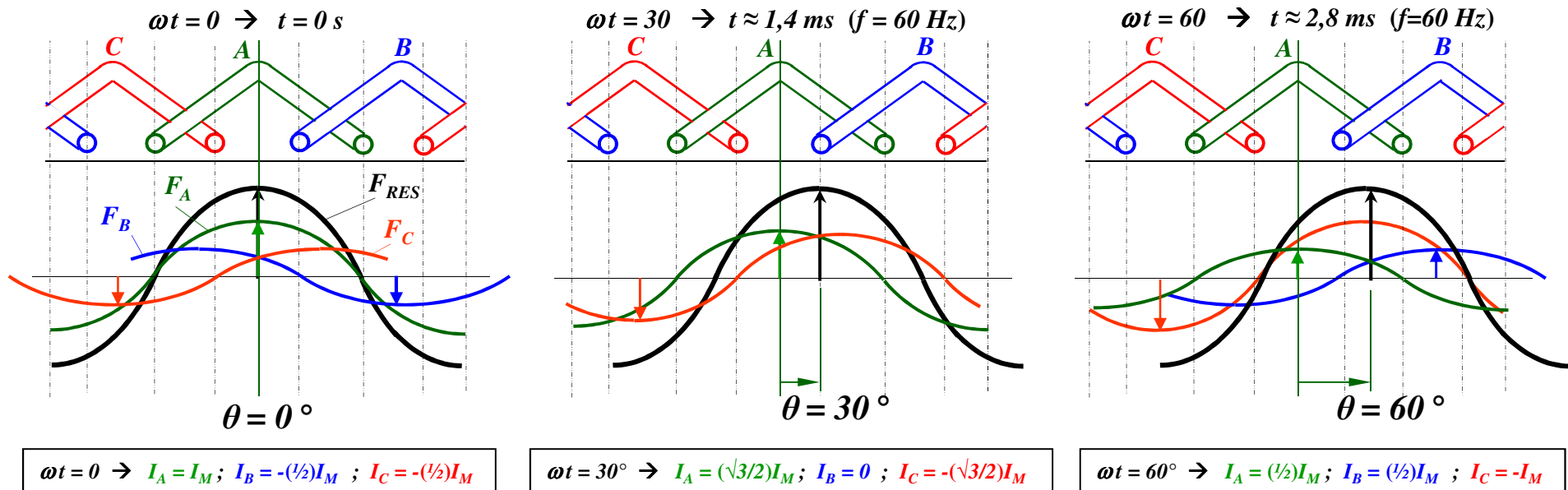
→ DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO INDIVIDUAL DE CADA FASE É FIXA NO ESPAÇO E VARIÁVEL NO TEMPO

EFEITO GLOBAL DA CIRCULAÇÃO DE CORRENTE PELO ESTATOR DA MÁQUINA SÍNCRONA:

SOMA PONTO A PONTO DOS CAMPOS INDIVIDUAIS DE CADA FASE → DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO RESULTANTE

$$\left\{ \begin{array}{l} F_A = F_A(t) \cdot \cos \theta \quad - \quad F_A(t) = N_b \cdot I_A = N_b \cdot I_M \cdot \cos \omega t = F_M \cdot \cos \omega t \\ F_B = F_B(t) \cdot \cos (\theta - 120^\circ) \quad - \quad F_B(t) = N_b \cdot I_B = N_b \cdot I_M \cdot \cos (\omega t - 120^\circ) = F_M \cdot \cos (\omega t - 120^\circ) \\ F_C = F_C(t) \cdot \cos (\theta - 240^\circ) \quad - \quad F_C(t) = N_b \cdot I_C = N_b \cdot I_M \cdot \cos (\omega t - 240^\circ) = F_M \cdot \cos (\omega t - 240^\circ) \\ F_{RES} = F_A + F_B + F_C = F_M \cdot \cos \theta \cdot \cos \omega t + F_M \cdot \cos (\theta - 120^\circ) \cdot \cos (\omega t - 120^\circ) + F_M \cdot \cos (\theta - 240^\circ) \cdot \cos (\omega t - 240^\circ) \end{array} \right.$$

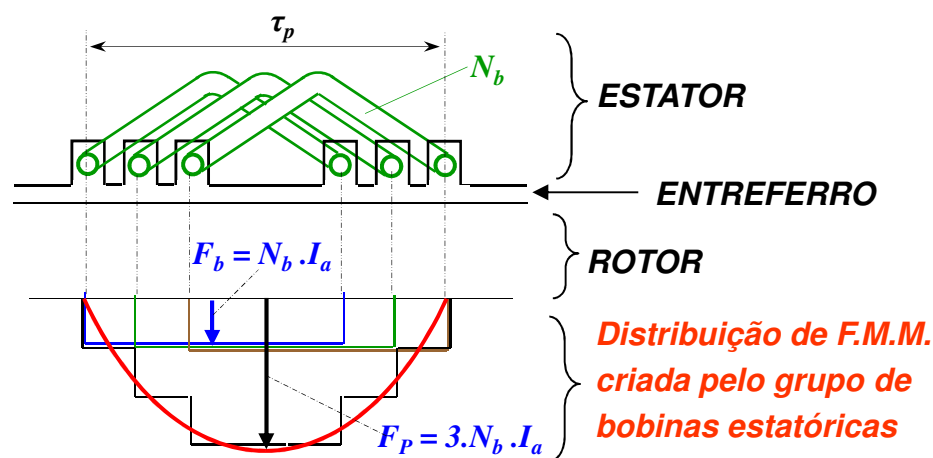
→  $F_{RES} = 1,5 \cdot F_M \cdot \cos (\theta - \omega t)$  → EQUAÇÃO DE ONDA DE CAMPO NO ENTREFERRO



→ CONTRIBUIÇÃO CONJUNTA DAS TRÊS FASES PRODUZ CAMPO MÓVEL NO ESPAÇO, COM AMPLITUDE CONSTANTE

→ REAÇÃO DE ARMADURA RESULTANTE É ROTATIVA NO ENTREFERRO

## MÁQUINA SÍNCRONA EM CARGA - REAÇÃO DE ARMADURA



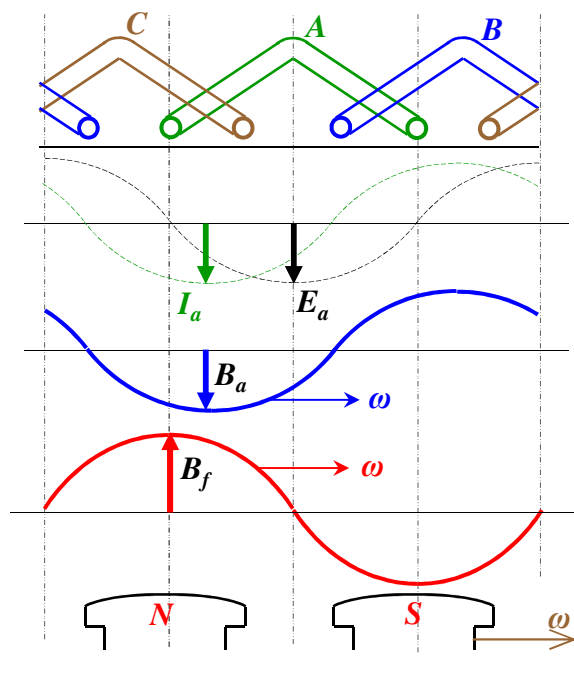
EFEITO DA CIRCULAÇÃO DE CORRENTE PELO ESTATOR DA MÁQUINA SÍNCRONA:

→ TENSÕES GERADAS FORMAM SISTEMA TRIFÁSICO

→ TENSÕES APLICADAS A CARGAS EQUILIBRADAS PRODUZEM CIRCULAÇÃO DE CORRENTES TRIFÁSICAS

→ CADA FASE PRODUZ SUA PRÓPRIA DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO

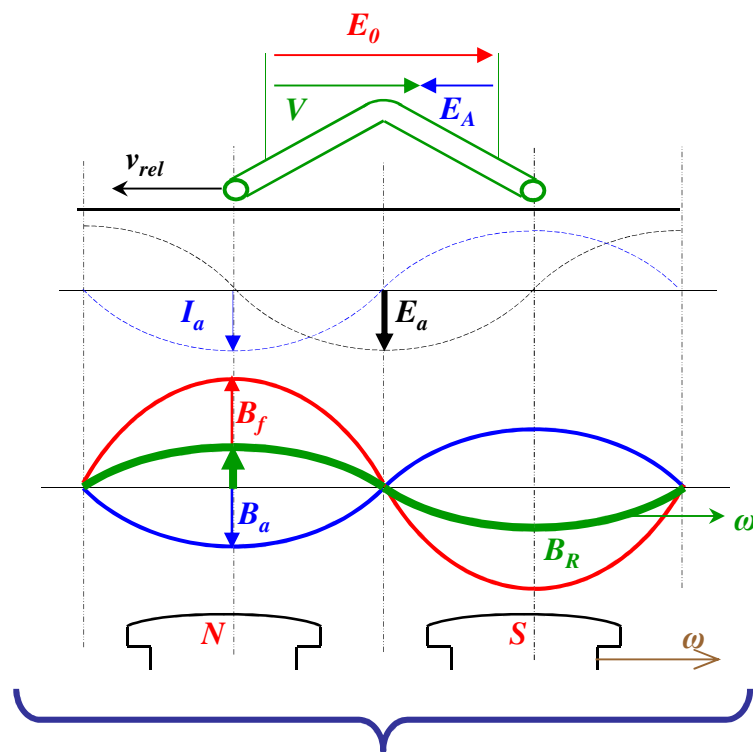
→ CONTRIBUIÇÃO CONJUNTA DAS TRES FASES PRODUZ CAMPO ROTATIVO → REAÇÃO DE ARMADURA



CONFRONTO DOS CAMPOS ROTATIVOS DE EXCITAÇÃO E DE REAÇÃO DE ARMADURA NO ENTREFERRO:

→ PRODUZ CAMPO RESULTANTE NO ENTREFERRO

## COMPOSIÇÃO DOS CAMPOS NO ENTREFERRO COM CORRENTE REATIVA PURA

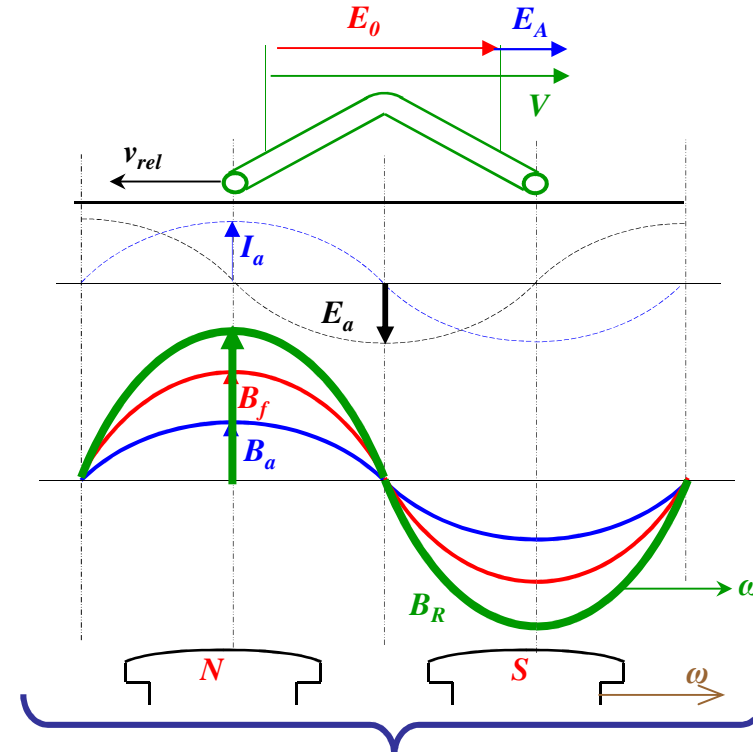
**I indutiva:**

Distribuição de campo de reação de armadura  $B_a$  é *antagônica* à distribuição do indutor  $B_f$

**Resultante:**  $B_R = B_f - B_a < B_f$

→ EFEITO DESMAGNETIZANTE

Tensão resultante em carga,  $V$ , *menor* que tensão em vazio  $E_0$

**I capacitiva:**

Distribuição de campo de reação de armadura  $B_a$  é *concordante* com a distribuição do indutor  $B_f$

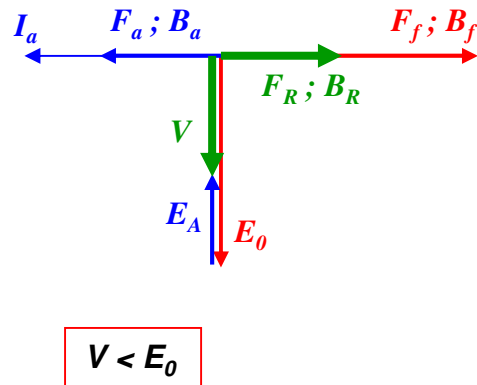
**Resultante:**  $B_R = B_f + B_a > B_f$

→ EFEITO MAGNETIZANTE

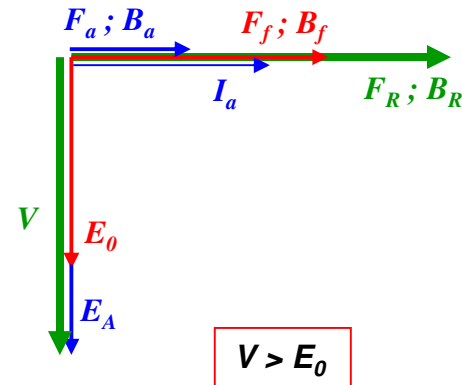
Tensão resultante em carga,  $V$ , *maior* que tensão em vazio  $E_0$

**COMPOSIÇÃO DE VETORES DE CAMPO NO ENTREFERRO DA MÁQUINA SÍNCRONA**

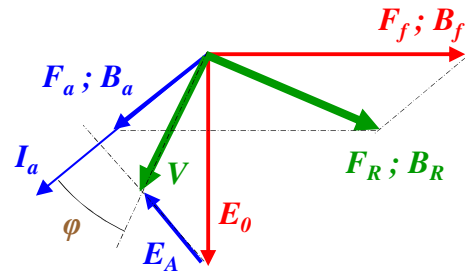
**CORRENTE PURAMENTE INDUTIVA**



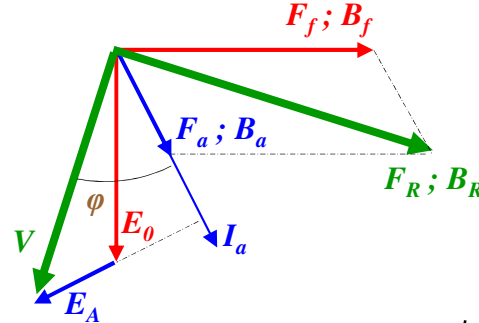
**CORRENTE PURAMENTE CAPACITIVA**



**CORRENTE PARCIALMENTE INDUTIVA**



**CORRENTE PARCIALMENTE CAPACITIVA**



**REPRESENTAÇÃO VETORIAL DAS DISTRIBUIÇÕES DE CAMPOS MAGNÉTICOS PRESENTES NO ENTREFERRO DA MÁQUINA SÍNCRONA SOB CARGA**

**REPRESENTAÇÃO VETORIAL:**

VISUALIZAÇÃO MAIS RÁPIDA E SIMPLES DAS COMPOSIÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO NO ENTREFERRO

**CONVENÇÕES:**

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CAMPO (F ou B): REPRESENTADA POR VETOR ALINHADO COM O EIXO DA DISTRIBUIÇÃO

TENSÕES INDUZIDAS NO ESTATOR ( $\hat{E}_0$ ;  $E_A$ ; V): DISTRIBUÍDAS AO LONGO DOS CONDUTORES ALOJADOS NO ESTATOR :

REPRESENTADOS POR VETOR ALINHADO COM O EIXO DA BOBINA INDUZIDA, E ATRASADA DE 90° EM RELAÇÃO AO CAMPO QUE LHE DEU ORIGEM

DISTRIBUIÇÕES DE CAMPO SÃO ROTATIVAS E SÍNCRONAS ENTRE SI → OBSERVADOR COLOCADO NO ROTOR PERCEBE OS VETORES ESTACIONÁRIOS

$E_0 \rightarrow$  INDUZIDA POR  $B_f$  ;  $E_A \rightarrow$  INDUZIDA POR  $B_a$  (SE EXISTISSE ISOLADAMENTE NO ENTREFERRO) ;  $V \rightarrow$  INDUZIDA POR  $B_R$

**MODELO DA MÁQUINA SÍNCRONA - CIRCUITO EQUIVALENTE**

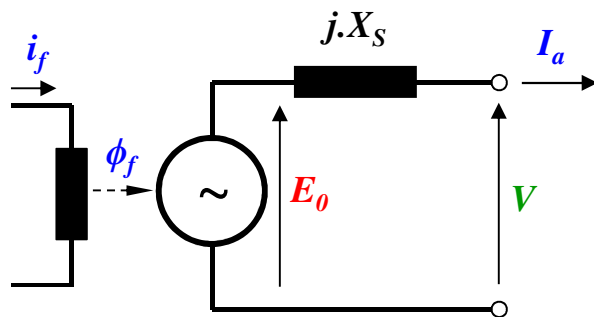
**COMPOSIÇÃO DE CAMPOS NO ENTREFERRO** → **PRODUZ CAMPO RESULTANTE QUE DETERMINA A TENSÃO NOS TERMINAIS DA MÁQUINA EM CARGA** → **NATUREZA DA CARGA DEFINE A REGULAÇÃO DE TENSÃO DE SAÍDA**

→ **INTERAÇÃO DE CAMPOS DESMAGNETIZA A MÁQUINA COM CARGA INDUTIVA**

→ **INTERAÇÃO DE CAMPOS MAGNETIZA A MÁQUINA COM CARGA CAPACITIVA**

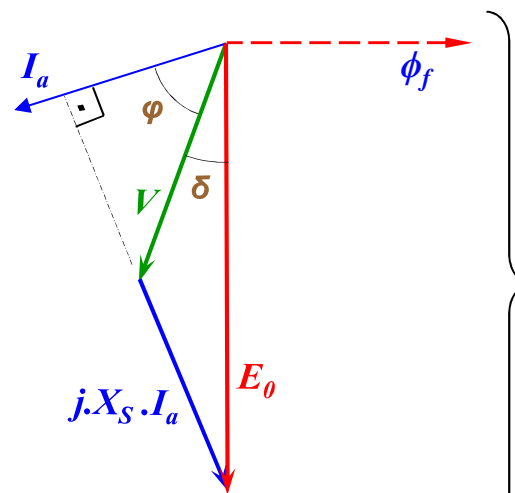
**MODELO DO COMPORTAMENTO É REPRESENTADO ADEQUADAMENTE POR UM CIRCUITO EQUIVALENTE:**

**VARIAÇÃO DA TENSÃO DEVIDO À CORRENTE DE CARGA, RESULTANTE DA COMPOSIÇÃO DE CAMPOS NO ENTREFERRO É MODELADA POR UMA REATÂNCIA INDUTIVA** → **REATÂNCIA SÍNCRONA - ( $X_S$ )**



$$\dot{E}_0 = \dot{V} + j.X_S \cdot \dot{I}_a$$

**Modelo por fase da máquina**



**Diagrama fasorial**

**FONTE DE TENSÃO: EQUIVALENTE AO ENROLAMENTO DE UMA FASE DA M.S.**  
→ **TENSÃO INDUZIDA  $E_0$**

→  **$E_A = j.X_S \cdot I_a$  : QUEDA DE TENSÃO NA REATÂNCIA SÍNCRONA**

→ **REATÂNCIA SÍNCRONA: PARÂMETRO CARACTERÍSTICO DA M.S.**

$\varphi$  : **Ângulo de fase da corrente**

$\delta$  : **Ângulo de potência da máquina**