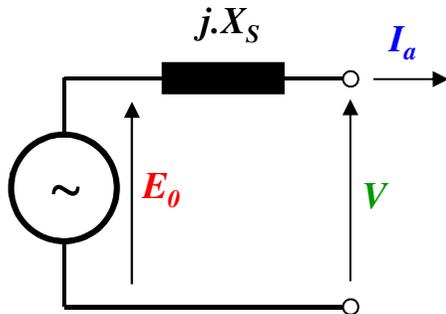


**CARACTERIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DAS REATÂNCIAS DE  
REGIME PERMANENTE DA MÁQUINA SÍNCRONA**

**CARACTERIZAÇÃO DAS REATÂNCIAS DA MÁQUINA SÍNCRONA E SUA DETERMINAÇÃO**

**MODELO DA MÁQUINA SÍNCRONA TEM COMO PARÂMETRO FUNDAMENTAL A REATÂNCIA SÍNCRONA**



MODELO POR FASE DA MÁQUINA:

(VÁLIDO PARA MÁQUINA DE POLOS LISOS)

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

A REATÂNCIA SÍNCRONA NÃO TEM “EXISTÊNCIA FÍSICA” DENTRO DA MÁQUINA

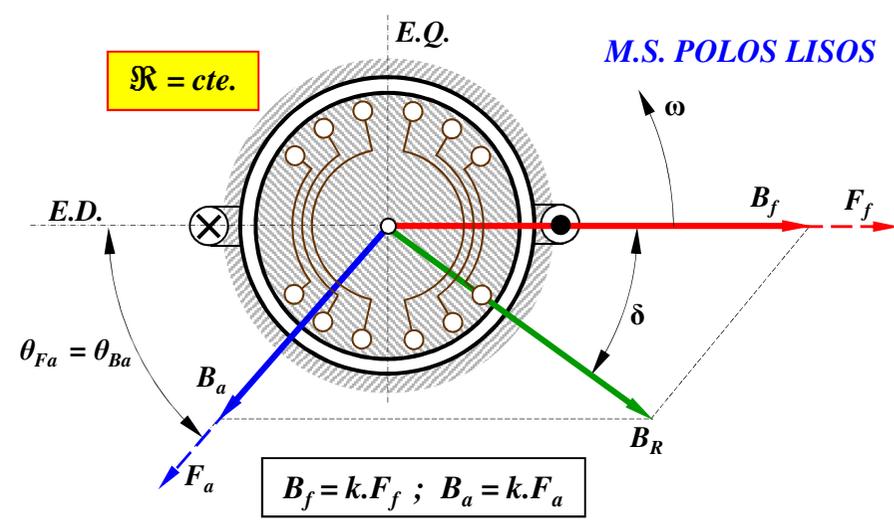
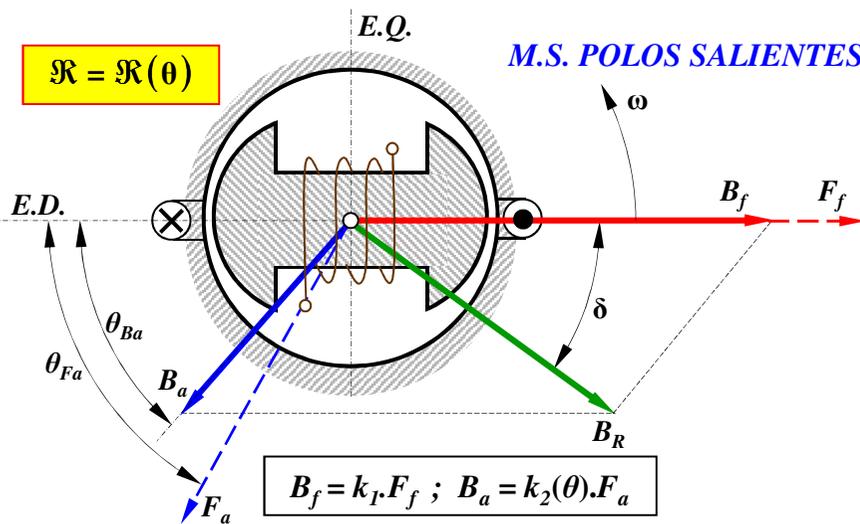
É UM PARÂMETRO DO MODELO → PERMITE DETERMINAR A TENSÃO EM CARGA

COMPORTAMENTO DA TENSÃO EM CARGA É DITADO, DE FATO, PELA INTERAÇÃO DOS CAMPOS NO ENTREFERRO ( $B_R = B_f - B_a$ )

A POSIÇÃO RELATIVA DOS CAMPOS  $B_f$  e  $B_a$  NO ESPAÇO DETERMINA A MAGNITUDE DE  $B_R$ , E PORTANTO A TENSÃO TERMINAL,  $V$

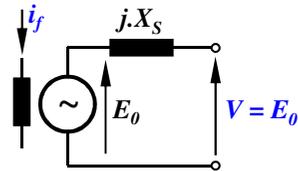
O CAMPO  $B_a$  SE POSICIONA ENTRE OS EIXOS DIRETO E EM QUADRATURA → RELAÇÃO ENTRE  $F_a$  e  $B_a$  DIFERE NAS MÁQUINAS DE POLOS LISOS E POLOS SALIENTES

→ MODELO COM UMA ÚNICA REATÂNCIA SÍNCRONA VALE APENAS PARA MÁQUINA DE POLOS LISOS



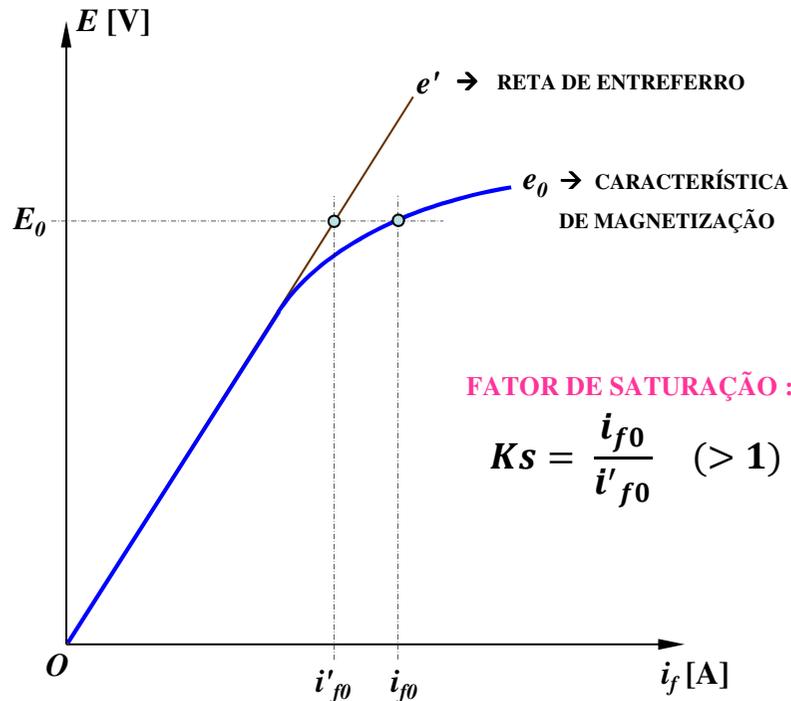
**REATÂNCIA SÍNCRONA : DETERMINADA A PARTIR DE DOIS ENSAIOS FUNDAMENTAIS**

A) **ENSAIO EM VAZIO:**



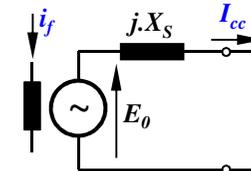
**TENSÃO EFICAZ INDUZIDA:**  $E = \sqrt{2} \cdot N_{ef} \cdot B_{gmax} \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot L}{p} \cdot f$

$B_{gmax} = \frac{N \cdot i_f \cdot \mu_0}{l_{g0}} \rightarrow E = f(i_f)$



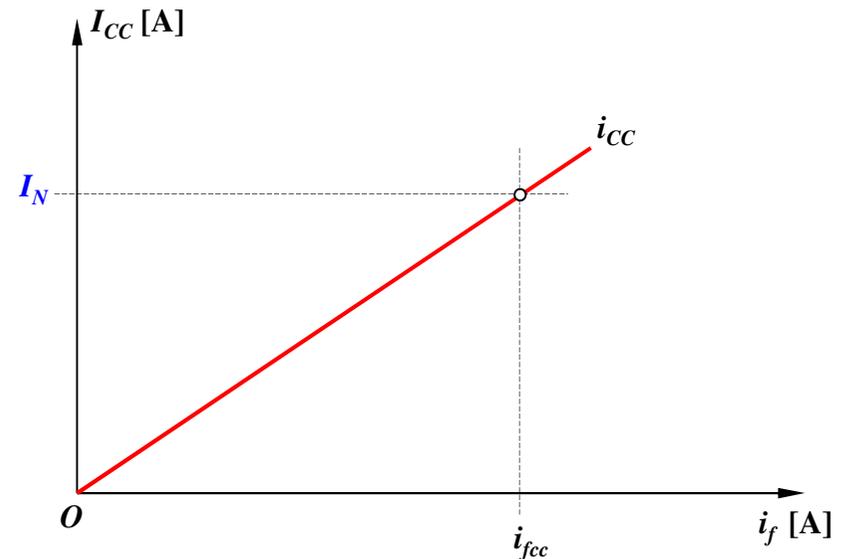
**ENSAIO REALIZADO COM OS TERMINAIS EM ABERTO, SOB ROTAÇÃO NOMINAL**  
**USUALMENTE, VALORES DE TENSÃO MEDIDOS NA LINHA**

B) **ENSAIO EM CURTO CIRCUITO:**

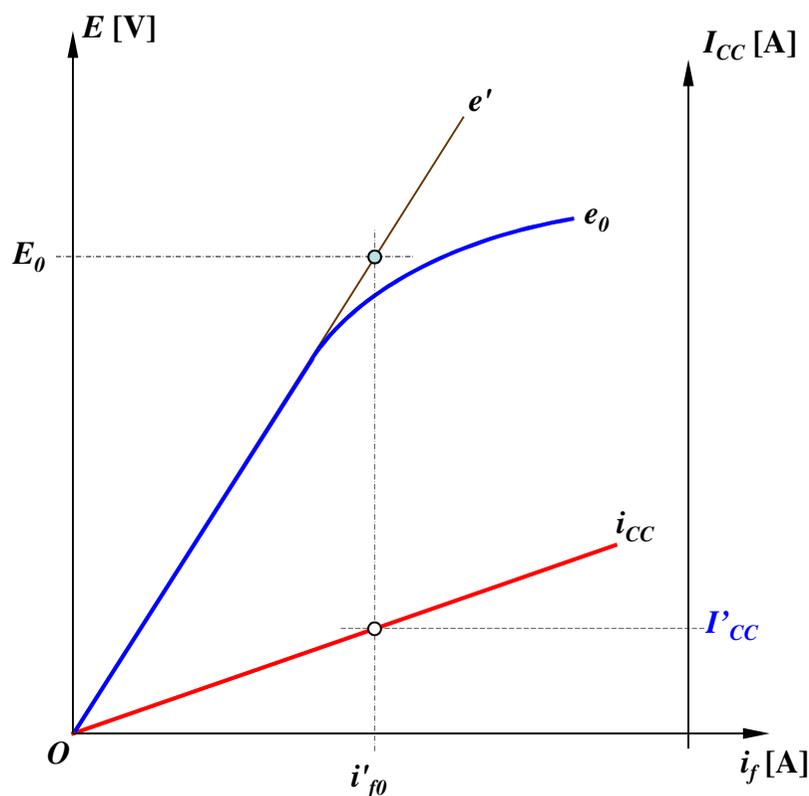


**CORRENTE NA ARMADURA:**  $I_{cc} = E_0 / X_s ; E_0 = f(i_f)$

$\rightarrow I_{cc} = f(i_f)$



**ENSAIO REALIZADO COM OS TERMINAIS EM CURTO, SOB ROTAÇÃO APROXIMADAMENTE NOMINAL**

**REATÂNCIA SÍNCRONA : DETERMINADA A PARTIR DE DOIS ENSAIOS FUNDAMENTAIS****1) REATÂNCIA SÍNCRONA NÃO SATURADA -  $X'_S$  :**

**SUPERPOR AS DUAS CARACTERÍSTICAS:**

$E_0$  : QUALQUER  $\rightarrow$  NA RETA  $O - e' \rightarrow i'_{f0}$

A PARTIR DE  $i'_{f0} \rightarrow$  NA RETA  $O - i_{cc} \rightarrow I'_{cc}$

**REATÂNCIA SÍNCRONA NÃO SATURADA:**

$$X'_S = \frac{E_0}{I'_{cc}}$$

**UNIDADES:**

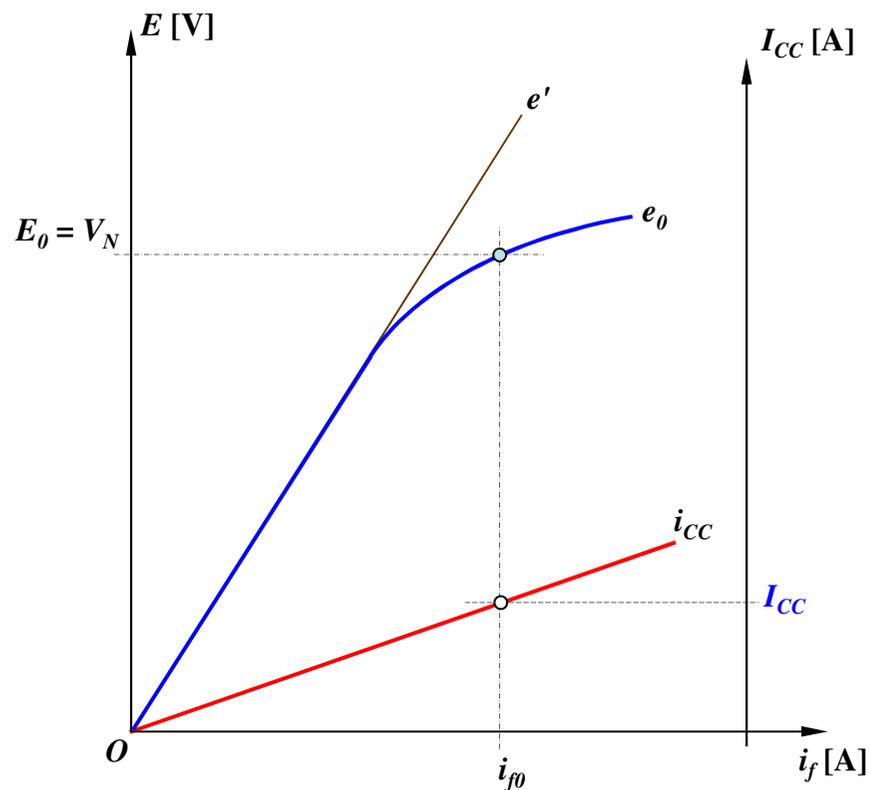
$E_0$  : [V/fase]

$I'_{cc}$  : [A/fase]

$X'_S$  : [ $\Omega$ /fase]

**REATÂNCIA SÍNCRONA : DETERMINADA A PARTIR DE DOIS ENSAIOS FUNDAMENTAIS****2) REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA ( VALOR APROXIMADO ) -  $X_s^\circ$  :**

SUPERPOR AS DUAS CARACTERÍSTICAS:

 $E_0$  : IGUAL À TENSÃO NOMINAL → NA CURVA  $O - e_0 \rightarrow i_{f0}$ A PARTIR DE  $i_{f0}$  → NA RETA  $O - i_{cc} \rightarrow I_{cc}$ **REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA APROXIMADA:**

$$X_s^\circ = \frac{E_0}{I_{cc}}$$

→ CONSIDERA O ESTADO DE SATURAÇÃO DA MÁQUINA NA CONDIÇÃO EM VAZIO

**UNIDADES:** $E_0$  : [V/fase] $I_{cc}$  : [A/fase] $X_s^\circ$  : [ $\Omega$ /fase]

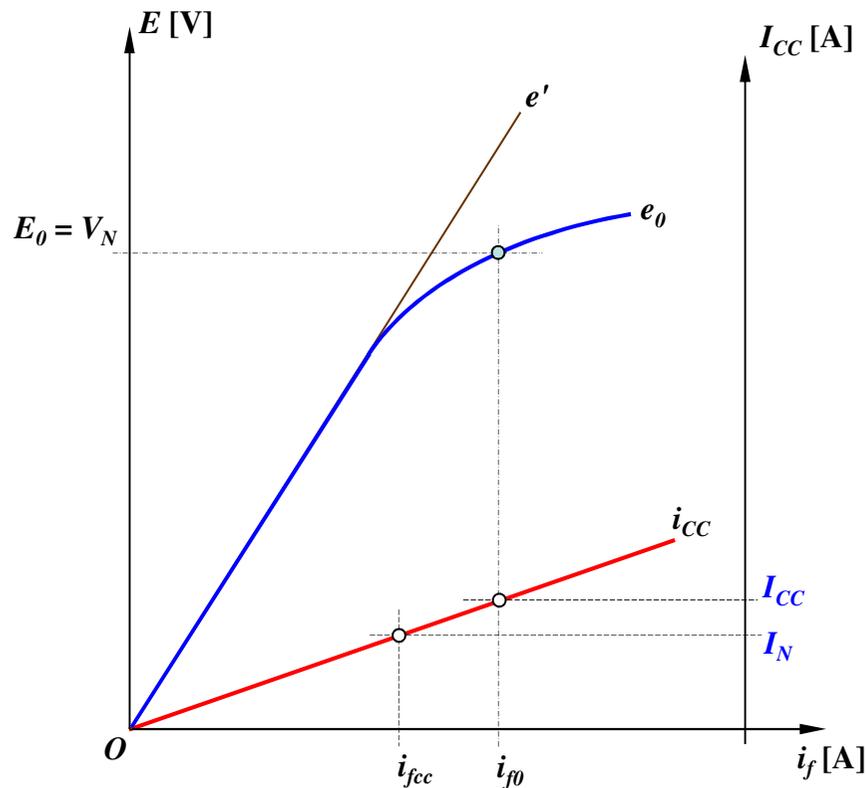
### RELAÇÃO DE CURTO CIRCUITO DA MÁQUINA SÍNCRONA

#### 3) RELAÇÃO DE CURTO CIRCUITO - RCC :

SUPERPOR AS DUAS CARACTERÍSTICAS:

$E_0$  : IGUAL À TENSÃO NOMINAL → NA CURVA  $O - e_0$  →  $i_{f0}$

$I_N$  : IGUAL À CORRENTE NOMINAL → NA RETA  $O - i_{CC}$  →  $i_{fcc}$



RELAÇÃO DE CURTO CIRCUITO:

$$RCC = \frac{i_{f0}}{i_{fcc}} = \frac{\text{EXCITAÇÃO PARA: } E_0 = V_N}{\text{EXCITAÇÃO PARA: } I_{CC} = I_N}$$

$$X_s^{\circ} [p. u.] = \frac{X_s^{\circ}}{Z_b} = \frac{V_N / I_{CC}}{V_N / I_N} = \frac{I_N}{I_{CC}} = \frac{i_{fcc}}{i_{f0}} = \frac{1}{RCC}$$

$$\rightarrow RCC = \frac{1}{X_s^{\circ} [p. u.]}$$

### REATÂNCIA DE DISPERSÃO DA MÁQUINA SÍNCRONA

#### 4) REATÂNCIA DE DISPERSÃO - $x_a$ :

CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DISPERSOS NO ESTATOR:

**DISPERSÃO DE FLUXO NAS RANHURAS** -  $\Phi_{dr}$

**DISPERSÃO DE FLUXO NAS EXTREMIDADES DAS BOBINAS** -  $\Phi_{cb}$

**DISPERSÃO DE FLUXO NA PERIFERIA DO ENTREFERRO** -  $\Phi_{dp}$

**TOTAL DE FLUXO DISPERSO:**  $\Phi_a = \Phi_{dr} + \Phi_{cb} + \Phi_{dp}$

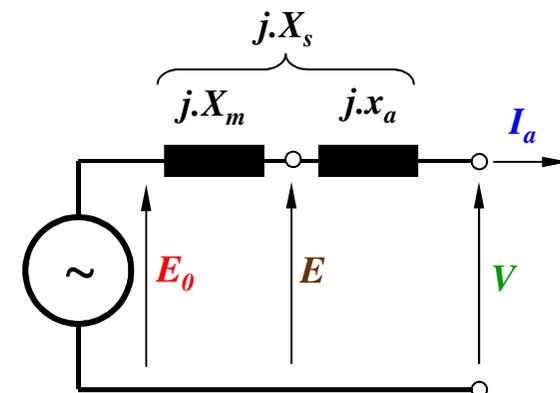
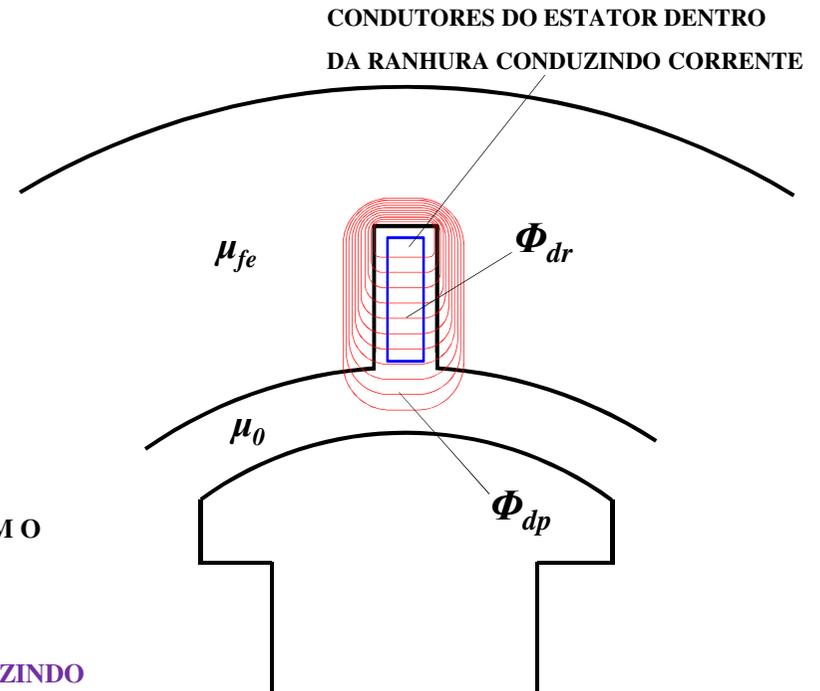
→ FLUXO DE DISPERSÃO DE ARMADURA NÃO PARTICIPA DO CONFRONTO COM O FLUXO DO ROTOR

→ FLUXO DE DISPERSÃO INTERAGE COM AS CORRENTES DO ESTATOR PRODUZINDO QUEDAS DE TENSÃO REATIVAS

→ CARACTERIZA PORTANTO UM REATÂNCIA DE DISPERSÃO A SER INCORPORADA NO MODELO DE CIRCUITO EQUIVALENTE

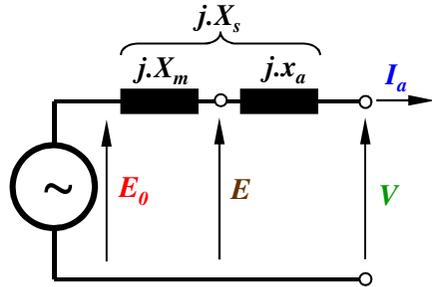
→ PARCELA DA REATÂNCIA QUE, DE FATO, MODELA DO CONFRONTO DE FLUXOS NO ENTREFERRO :  $X_m$  → INCORPORADA AO MODELO COMO “REATÂNCIA DE MAGNETIZAÇÃO”

→  $E$  : “TENSÃO DE ENTREFERRO”

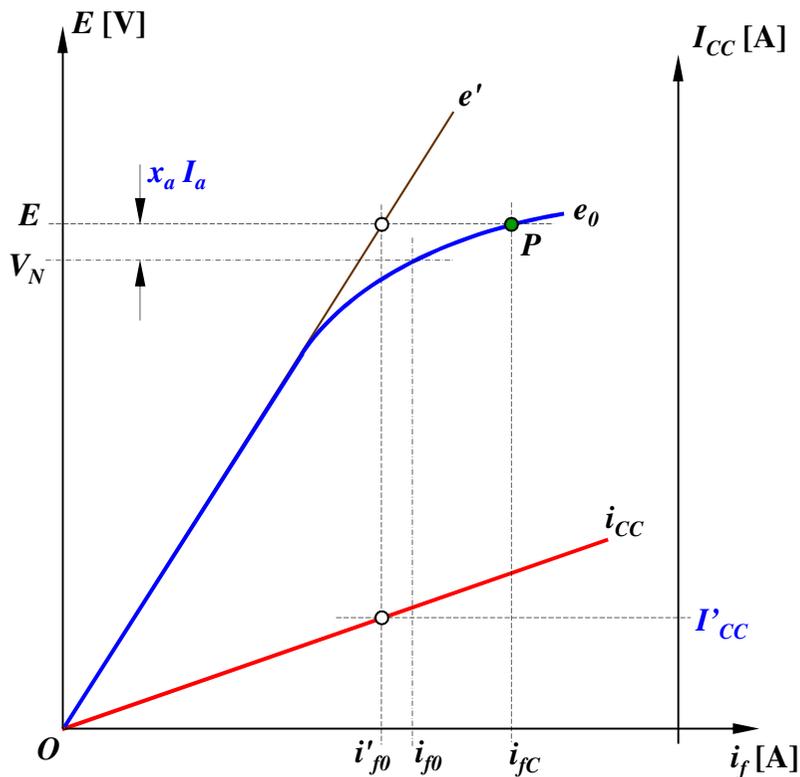


**REATÂNCIA SÍNCRONA**

5) REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA (“VALOR EXATO”) -  $X_S$ : → REQUER O CONHECIMENTO DE  $x_a$



$$E = V + j \cdot x_a \cdot I_a = V + j \cdot x_a \cdot I_a \angle \varphi_a$$



SUPERPOR AS DUAS CARACTERÍSTICAS:

$|E|$ : TENSÃO DE ENTREFERRO → NA RETA  $O - e'$  →  $i'_{f0}$

A PARTIR DE  $i'_{f0}$  → NA RETA  $O - i_{cc}$  →  $I'_{cc}$

REATÂNCIA NÃO SATURADA →  $X'_S = \frac{E}{I'_{cc}}$  ;  $X'_m = X'_S - x_a$

$|E|$ : TENSÃO DE ENTREFERRO → NA CURVA  $O - e_0$  →  $i_{fc}$

DEFINE PONTO “P” NA CURVA  $O - e_0$  : PONTO DE OPERAÇÃO DO CIRCUITO MAGNÉTICO EM CARGA

→ FATOR DE SATURAÇÃO EM CARGA:  $K_S = \frac{i_{fc}}{i'_{f0}} (> 1)$

REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA:

$$X_m = X'_m / K_S \Rightarrow X_S = X_m + x_a \text{ ou: } X_S = \frac{(X'_S - x_a)}{K_S} + x_a$$

(SATURAÇÃO NÃO AFETA A DISPERSÃO)

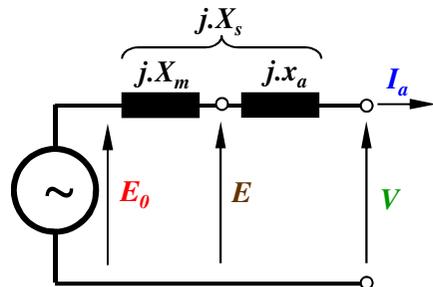
**DETERMINAÇÃO DA EXCITAÇÃO TOTAL REQUERIDA EM CARGA**

6) CONHECIDA O A REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA:  $X_S$

A PARTIR DO PONTO “P” DE OPERAÇÃO DO CIRCUITO  
MAGNÉTICO → RETA  $O - e$

$O - e$  : “CURVA DE MAGNETIZAÇÃO LINEARIZADA”

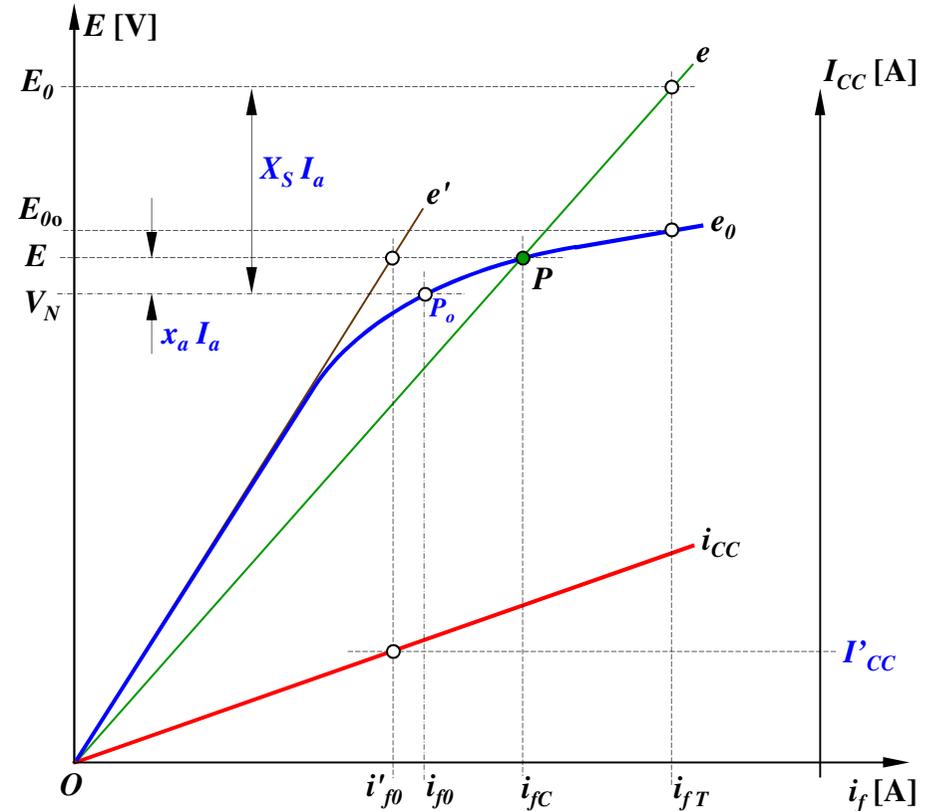
( ESTABELECIDO A EXCITAÇÃO QUE IMPÕE O FLUXO  
CONTEMPLANDO O ESTADO DE SATURAÇÃO NOMINAL DA  
MÁQUINA, AS INTERAÇÕES NO ENTREFERRO TÊM  
COMPORTAMENTO LINEAR E PODEM SER REPRESENTADAS POR  
UMA CARACTERÍSTICA MAGNÉTICA LINEARIZADA → RETA  $O - e$  )



$$E_0 = V + j \cdot X_S \cdot I_a = V + j \cdot X_S \cdot I_a \angle \varphi_a$$

$|E_0|$  : TENSÃO INTERNA → NA RETA  $O - e$  →  $i_{fT}$

$i_{fT}$  : CORRENTE DE EXCITAÇÃO TOTAL QUE GARANTE A  
TENSÃO NOMINAL NOS TERMINAIS SOB CARGA



SE RETIRADA A CARGA SOB EXCITAÇÃO  $i_{fT}$

→ TENSÃO EM VAZIO RESULTA  $E_{00}$

REGULAÇÃO NATURAL DE TENSÃO DA M.S. :  $\mathbb{R} = \frac{E_{00} - V_N}{V_N}$

SE A REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA  $X_S$  NÃO FOR CONHECIDA, USA-SE O  
MESMO PROCEDIMENTO COM A REATÂNCIA SATURADA APROXIMADA  $X^*_S$   
COM A RETA  $O - e$  PASSANDO PELO PONTO  $P_0$

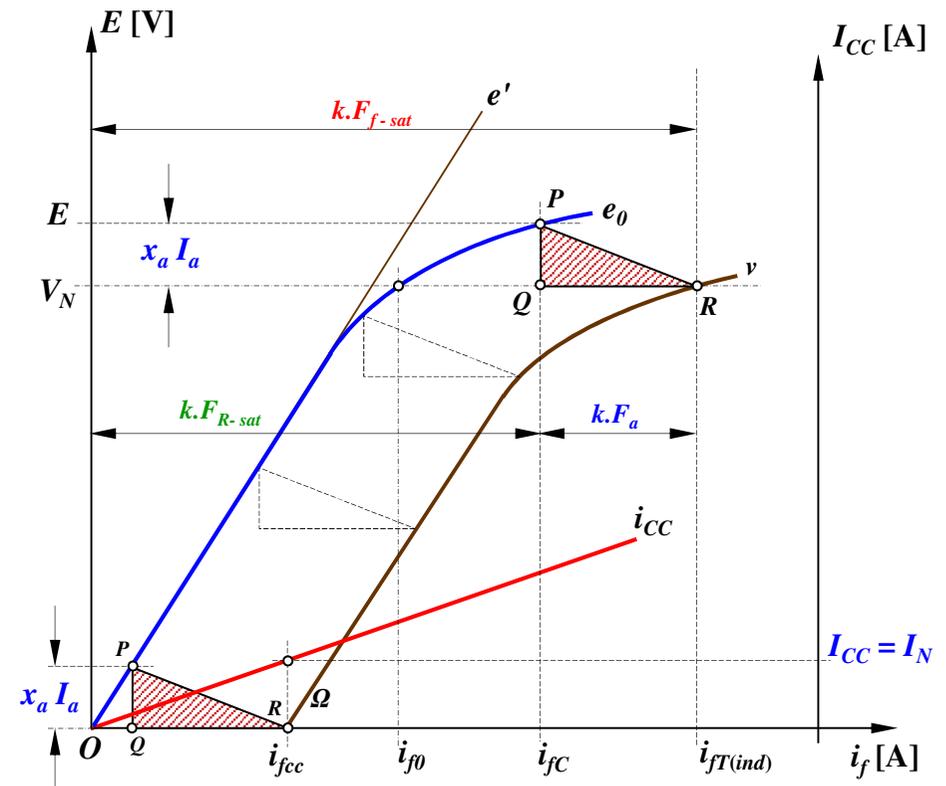
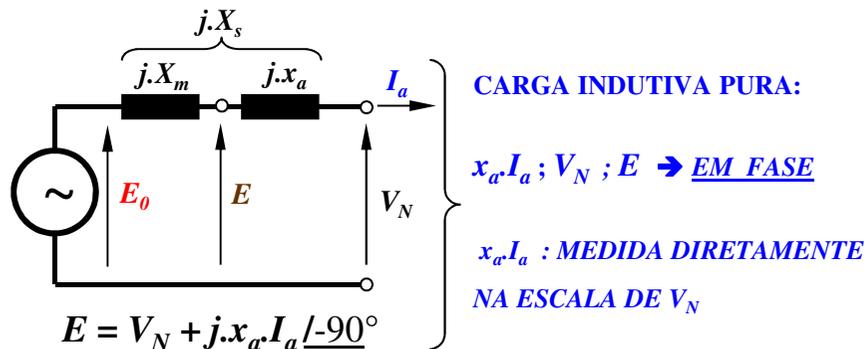
**TRIÂNGULO DE POTIER - REATÂNCIA DE POTIER**

7) **REATÂNCIA DE DISPERSÃO** -  $x_a$  : → REATÂNCIA DE DISPERSÃO APROXIMADA À REATÂNCIA DE POTIER:  $x_a \approx x_p$

REATÂNCIA DE DISPERSÃO : DE DIFÍCIL DETERMINAÇÃO COM A MÁQUINA JÁ MONTADA → ( MÉTODO DE MEDIDA SÓ POSSÍVEL COM O ROTOR EXTRAÍDO DE DENTRO DO ESTATOR )

MÉTODO DE OBTENÇÃO APROXIMADO DE  $x_a$  É ATRAVÉS DO CHAMADO **TRIÂNGULO DE POTIER** → RESULTA NA REATÂNCIA DE POTIER, QUE É APROXIMADAMENTE IGUAL À DE DISPERSÃO.

NECESSÁRIA **CARACTERÍSTICA ADICIONAL DA M.S.:** CURVA DE SATURAÇÃO EM CARGA NOMINAL, SOB FATOR DE POTÊNCIA NULO INDUTIVO → CURVA  $\Omega - v$



**TRIÂNGULO DE POTIER:**  $\Delta_{PQR}$  QUE RELACIONA A CARACTERÍSTICA  $\Omega - v$  COM A CARACTERÍSTICA  $O - e_0$

→ A CURVA  $\Omega - v$  É GERADA PELO DESLOCAMENTO DO TRIÂNGULO DE POTIER, COM O VÉRTICE “P” SOBRE A CURVA  $O - e_0$

→ O VÉRTICE “R” DESCREVE A CURVA  $\Omega - v$

→ CONHECIDA A EXCITAÇÃO TOTAL REQUERIDA PARA CARGA NOMINAL COM  $\cos \varphi = 0$  ind. ( $i_{fT(ind)}$ ) → DEFINE O VÉRTICE “R”

NA LINHA DE  $V_N$  → O LADO PQ DO TRIÂNGULO É IGUAL A  $(E - V_N) = x_a I_a$  (DIFERENÇA ALGÉBRICA POIS E e  $V_N$  EM FASE)

### DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO TRIÂNGULO DE POTIER

#### 8) CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS :

**CARACTERÍSTICA DE SATURAÇÃO EM VAZIO :**  $O - e_0$

**CARACTERÍSTICA DE CURTO CIRCUITO :**  $O - i_{CC}$

**AO MENOS UM PONTO DA CURVA  $\Omega - v$  :**  $i_{fT(ind)}$

$i_{fT(ind)}$  : CORRENTE DE EXCITAÇÃO PARA TENSÃO E CORRENTE NOMINAIS  
SOB  $\cos\varphi = 0$  INDUTIVO

#### ETAPAS PARA OBTENÇÃO DO TRIÂNGULO DE POTIER:

1 - A PARTIR DE :  $i_{fT(ind)} \rightarrow$  PONTO "R" NA RETA DE  $V_N$  (VÉRTICE "R" DO  $\Delta_{PQR}$ )

2 - A PARTIR DE  $I_{CC} = I_N \rightarrow$  NA RETA  $O - i_{CC} \rightarrow i_{fcc}$  (MESMO VÉRTICE "R" DO  $\Delta_{PQR}$  NA CONDIÇÃO DE CURTO CIRCUITO)

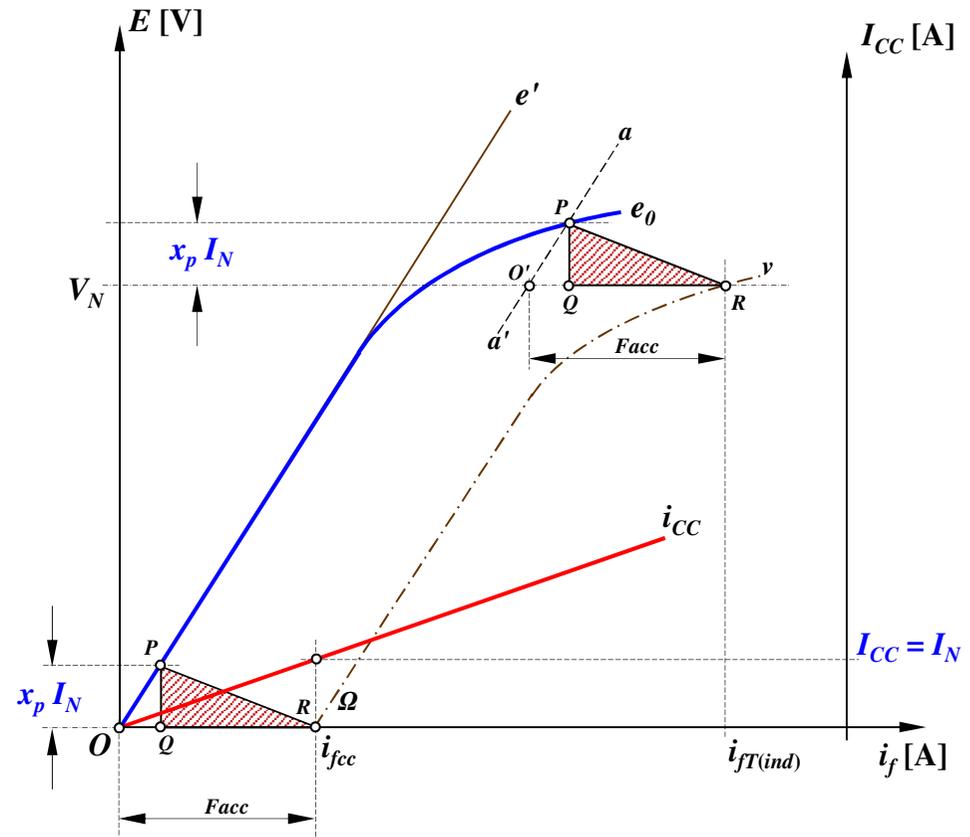
3 - SEGMENTO  $O_R = F_{acc}$  TRANSPORTADO PARA A RETA DE  $V_N$  DEFININDO PONTO  $O'$  NA RETA DE  $V_N$

4 - A PARTIR DE  $O' \rightarrow$  RETA  $a - a'$  PARALELA À RETA  $O - e'$

5 - RETA  $a - a'$  INTERCEPTA CURVA  $O - e_0$  NO PONTO "P" (VÉRTICE "P" DO  $\Delta_{PQR}$ )

6 - A PARTIR DO PONTO "P"  $\rightarrow$  SEGMENTO VERTICAL ATÉ LINHA DE  $V_N \rightarrow$  DEFINE PONTO "Q" (VÉRTICE "Q" DO  $\Delta_{PQR}$ )

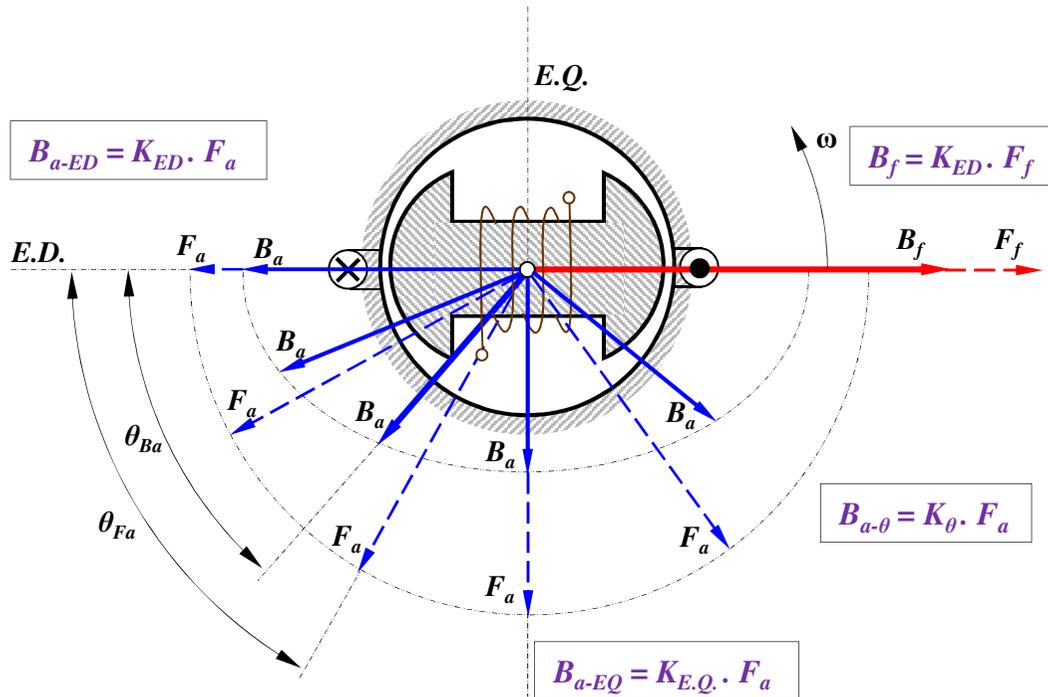
7 - SEGMENTO  $P_Q =$  QUEDA DE TENSÃO NA REATÂNCIA  $x_p$  (REATÂNCIA DE POTIER)



SEGMENTO  $P_Q = x_p I_a$  [V / fase]  $\rightarrow x_p = P_Q$  [V / fase] /  $I_N$

$$x_p \approx x_a \text{ [\Omega / fase]}$$

**REATÂNCIAS NA MÁQUINA SÍNCRONA DE POLOS SALIENTES**



**MÁQUINA DE POLOS SALIENTES:**

REAÇÃO DE ARMADURA ATUA SOBRE UM ENTREFERRO VARIÁVEL

F<sub>mm</sub> DE REAÇÃO DE ARMADURA IMPÕE DISTRIBUIÇÕES DE DENSIDADE DE FLUXO DEPENDENTES DA POSIÇÃO

PARA MESMA F<sub>mm</sub> :  $B_a$  MAIS INTENSO NO E.D. COMPARADO AO  $B_a$  NO E.Q.

EFEITO MAGNETIZANTE OU DESMAGNETIZANTE DE REAÇÃO DE ARMADURA DEPENDE DA POSIÇÃO DE  $F_a$  NO ESPAÇO, E PORTANTO DO  $\cos\phi$

MODELO COM UMA REATÂNCIA ÚNICA PARA DESCREVER O COMPORTAMENTO É INSUFICIENTE

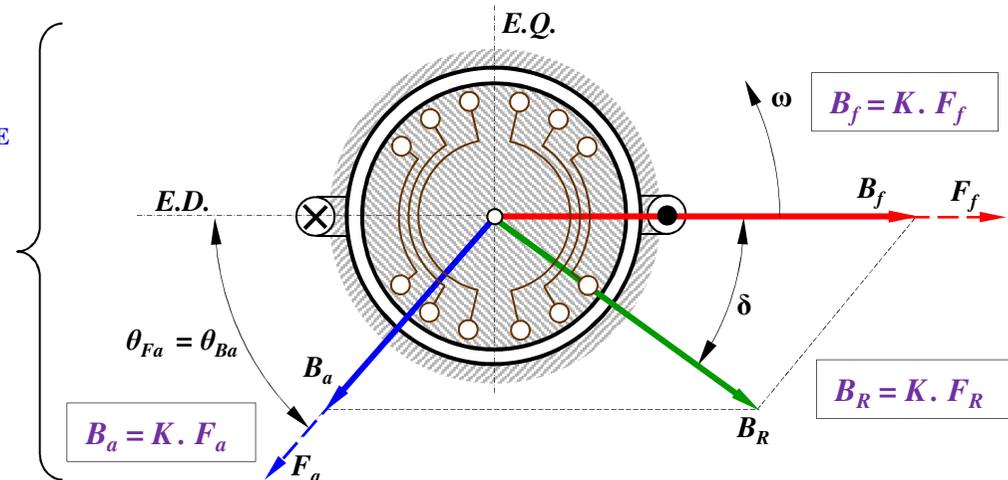
**MÁQUINA DE POLOS LISOS:**

REAÇÃO DE ARMADURA ATUA SOBRE UM ENTREFERRO CONSTANTE

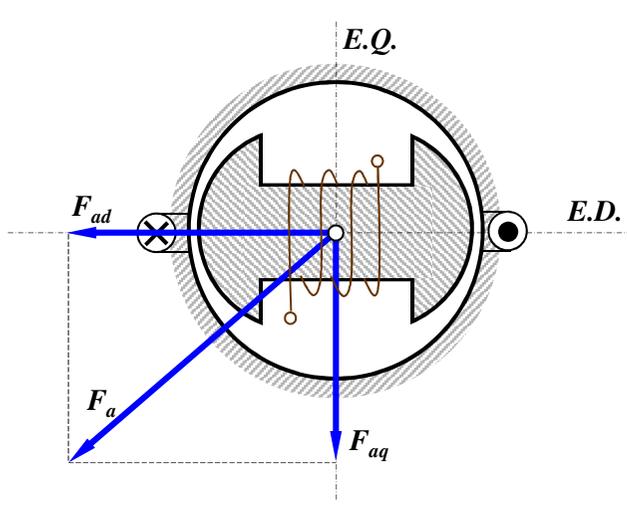
F<sub>mm</sub> DE REAÇÃO DE ARMADURA IMPÕE SEMPRE A MESMA DISTRIBUIÇÃO DE DENSIDADE DE FLUXO

EFEITO MAGNETIZANTE OU DESMAGNETIZANTE DE REAÇÃO DE ARMADURA INDEPENDENTE DA POSIÇÃO

REATÂNCIA ÚNICA PARA DESCREVER O COMPORTAMENTO



**REATÂNCIAS NA MÁQUINA SÍNCRONA DE POLOS SALIENTES**



PARA EFEITO DE ANÁLISE → TEORIA DA DUPLA REAÇÃO

ONDA DE CAMPO DE REAÇÃO DE ARMADURA REPRESENTADA PELO VETOR  $F_a$  É DECOMPOSTO EM 2 COMPONENTES ORTOGONAIS:

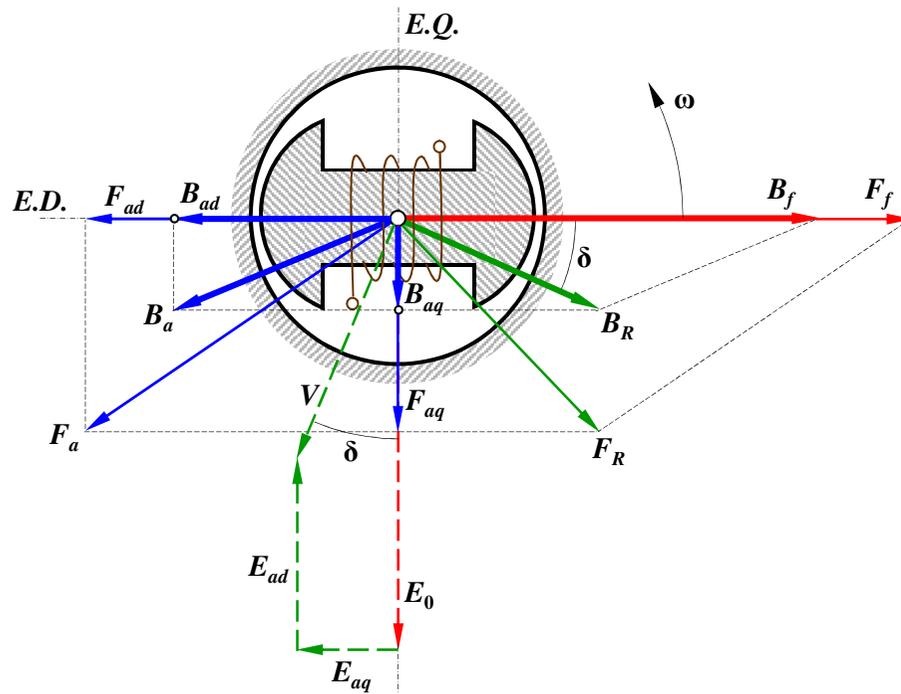
$F_{ad}$  : COMPONENTE SEGUNDO O E.D.

$F_{aq}$  : COMPONENTE SEGUNDO O E.Q.

EM CADA UM DOS EIXOS, A RELUTÂNCIA MAGNÉTICA É SEMPRE A MESMA:

$F_{ad}$  : IMPÕE NO E.D. A DENSIDADE DE FLUXO  $B_{ad}$  →  $B_{ad} = K_{ED} \cdot F_{ad}$

$F_{aq}$  : IMPÕE NO E.Q. A DENSIDADE DE FLUXO  $B_{aq}$  →  $B_{aq} = K_{E.Q.} \cdot F_{aq}$



COMPOSIÇÃO DE VETORES NO ENTREFERRO

COMPONENTES DE CAMPO MAGNÉTICO DE REAÇÃO DE ARMADURA:

$B_{ad}$  : INDUZ TENSÃO  $E_{ad}$

$B_{aq}$  : INDUZ TENSÃO  $E_{aq}$

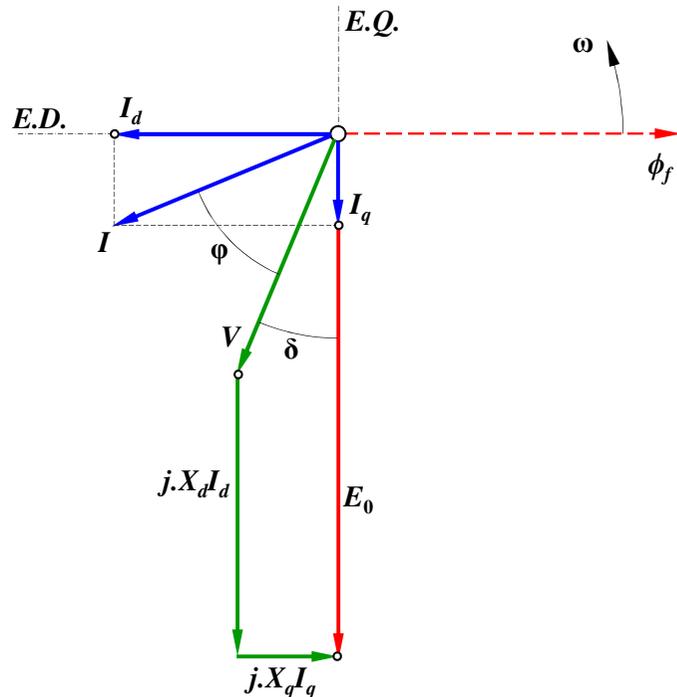
$B_R$  : INDUZ TENSÃO  $V$

MODELAGEM DO COMPORTAMENTO → **DUAS REATÂNCIAS:**

$X_d$  : REATÂNCIA DE EIXO DIRETO → ASSOCIADA AO CAMPO  $B_{ad}$

$X_q$  : REATÂNCIA DE EIXO EM QUADRATURA → ASSOCIADA A  $B_{aq}$

**DIAGRAMA FASORIAL DA MÁQUINA SÍNCRONA DE POLOS SALIENTES**

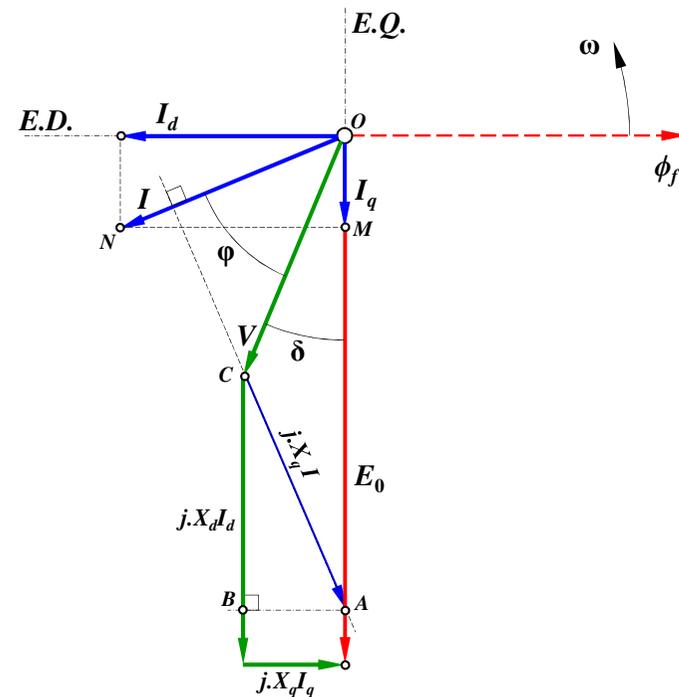
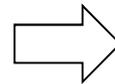


$$E_0 = V + j \cdot X_d \cdot I_d + j \cdot X_q \cdot I_q$$

CONHECIDOS:  $V$ ;  $I$ ;  $\cos\phi$ ;  $X_d$ ;  $X_q$

TRAÇADO DO DIAGRAMA FASORIAL REQUER O CONHECIMENTO DOS COMPONENTES DA CORRENTE,  $I_d$  e  $I_q$

O ÂNGULO  $\delta$  NÃO É CONHECIDO A PRIORI  $\rightarrow$  NECESSÁRIA CONSIDERAÇÃO ADICIONAL, PARA ENCONTRAR A DIREÇÃO DO E.Q. PERMITINDO OBTER O DIAGRAMA

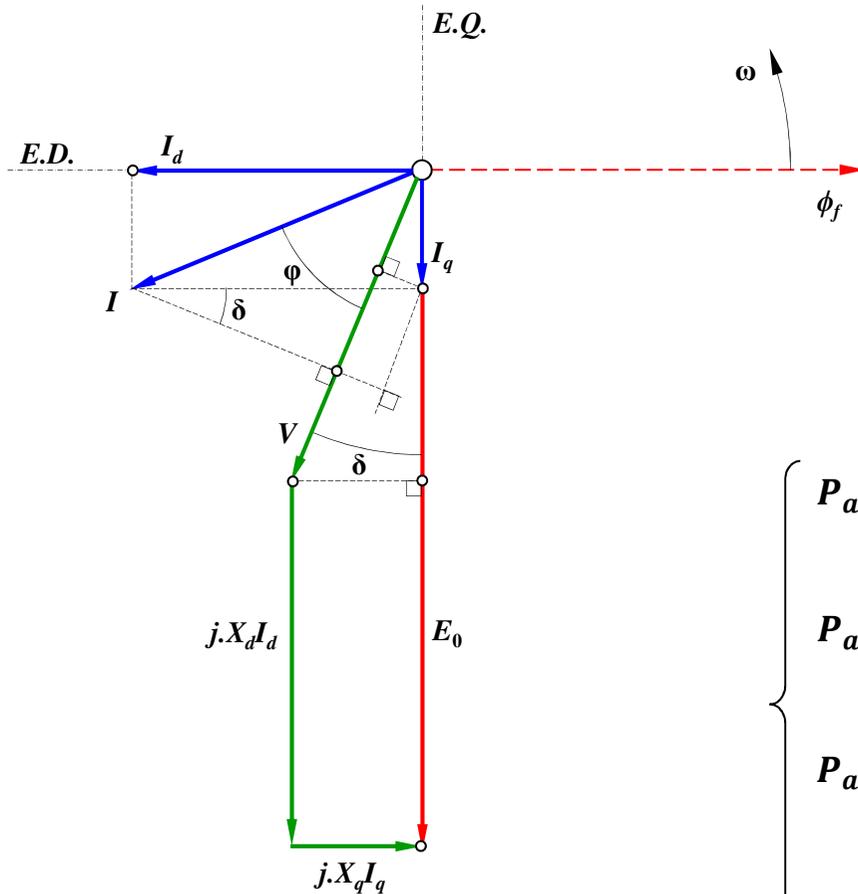


FAZENDO:  $V + j \cdot X_q \cdot I \rightarrow$  SEGMENTO  $OA$  ONDE O PONTO "A" DEFINE A DIREÇÃO DO EIXO EM QUADRATURA, E PORTANTO A DIREÇÃO DE  $E_0 \rightarrow$  DEFINIDA DIREÇÃO DO E.Q. PERMITE A DECOMPOSIÇÃO DE  $I$  EM  $I_d$  e  $I_q$

DEMONSTRAÇÃO:  $\Delta_{ABC}$  É SEMELHANTE AO  $\Delta_{OMN}$

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{ON}}{\overline{OM}} = \frac{I}{I_q} \quad \overline{AB} = X_q \cdot I_q \rightarrow \overline{AC} = \frac{I}{I_q} \cdot X_q \cdot I_q = X_q \cdot I$$

POTÊNCIA E CONJUGADO NA MÁQUINA SÍNCRONA DE POLOS SALIENTES



POTÊNCIA ELÉTRICA ATIVA:

$$\left\{ \begin{aligned} P_{at} &= V.I.\cos\phi \quad [ \text{W/fase} ] \\ I.\cos\phi &= I_q.\cos\delta + I_d.\text{sen}\delta \\ P_{at} &= V.(I_q.\cos\delta + I_d.\text{sen}\delta) \\ X_q.I_q &= V.\text{sen}\delta \\ X_d.I_d &= E_0 - V.\cos\delta \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} P_{at} &= V. \left( \frac{V}{X_q} . \text{sen}\delta . \cos\delta + \frac{(E_0 - V. \cos\delta)}{X_d} . \text{sen}\delta \right) \\ P_{at} &= V. \left( \frac{V}{X_q} . \text{sen}\delta . \cos\delta + \frac{E_0}{X_d} . \text{sen}\delta - \frac{V}{X_d} . \text{sen}\delta . \cos\delta \right) \\ P_{at} &= \frac{V. E_0}{X_d} . \text{sen}\delta + V^2 \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) . \text{sen}\delta . \cos\delta \\ P_{at} &= \frac{V. E_0}{X_d} . \text{sen}\delta + \frac{V^2}{2} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) . \text{sen}2\delta \end{aligned} \right.$$

CONJUGADO NO EIXO : (DESCONSIDERANDO PERDAS)

$$C = P_{mec} / \omega_s \quad P_{mec} \approx 3.P_{at} \quad \Rightarrow \quad C_{mec} = \underbrace{\frac{3.V.E_0}{\omega_s.X_d} . \text{sen}\delta}_{C_{MÚTUA}} + \underbrace{\frac{3.V^2}{2.\omega_s} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) . \text{sen}2\delta}_{C_{RELUTÂNCIA}}$$

**DETERMINAÇÃO DAS REATÂNCIAS NA MÁQUINA SÍNCRONA DE POLOS SALIENTES**

REATÂNCIA SEGUNDO O EIXO DIRETO :  $X_d$

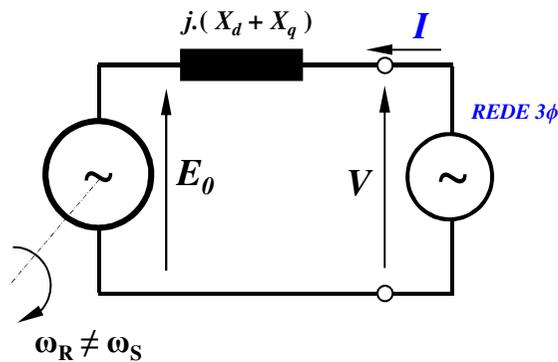
TODOS OS PROCEDIMENTOS E DEFINIÇÕES, VISTOS PARA A MÁQUINA DE POLOS LISOS, NA OBTENÇÃO DAS REATÂNCIAS NÃO SATURADA, SATURADA APROXIMADA E SATURADA EXATA VALEM PARA A MÁQUINA DE POLOS SALIENTES, RESULTANDO NO VALOR DE  $X_d$

→ DETERMINAÇÃO A PARTIR DAS CURVAS DE SATURAÇÃO EM VAZIO, EM CURTO CIRCUITO E TRIÂNGULO DE POTIER

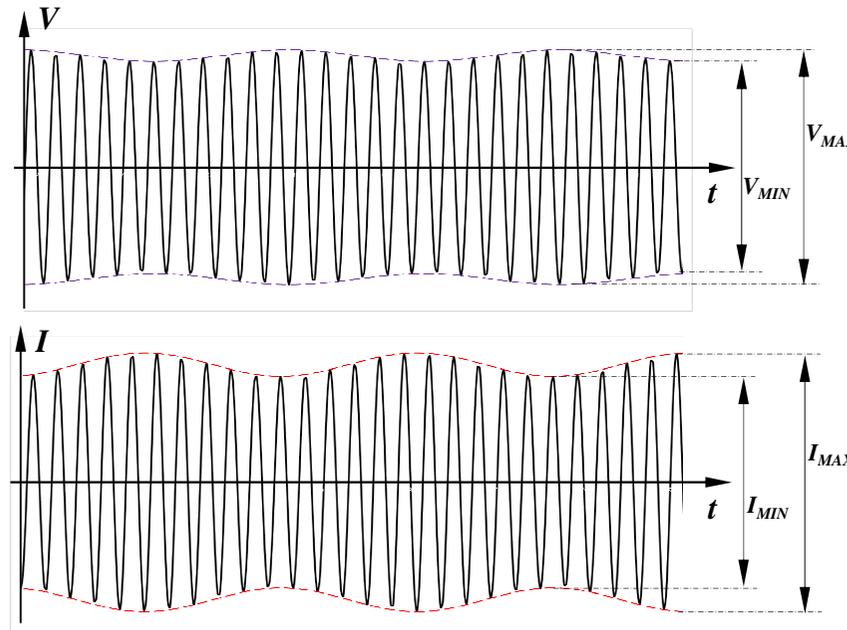
REATÂNCIA SEGUNDO O EIXO EM QUADRATURA :  $X_q$

PARA REATÂNCIA SEGUNDO O EIXO EM QUADRATURA, EXISTEM ALGUNS MÉTODOS EXPERIMENTAIS DE DETERMINAÇÃO, SENDO O MAIS USUAL O ENSAIO DE BAIXO ESCORREGAMENTO

→ A MÁQUINA É ALIMENTADA EM REDE TRIFÁSICA COM TENSÃO REDUZIDA, SEM EXCITAÇÃO NO CAMPO → É ACIONADA MECANICAMENTE EM ROTAÇÃO LIGEIRAMENTE DIFERENTE DA SUA ROTAÇÃO SÍNCRONA, RESULTANDO EM MODULAÇÃO DA CORRENTE ABSORVIDA E EVENTUALMENTE DA TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO (DEPENDENDO DA REGULAÇÃO DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO)



MODULAÇÃO DA CORRENTE DEVIDA À VARIÇÃO DA RELUTÂNCIA DO ROTOR



$$X_q = \frac{V_{MIN} [V/f]}{I_{MAX} [A/f]}$$

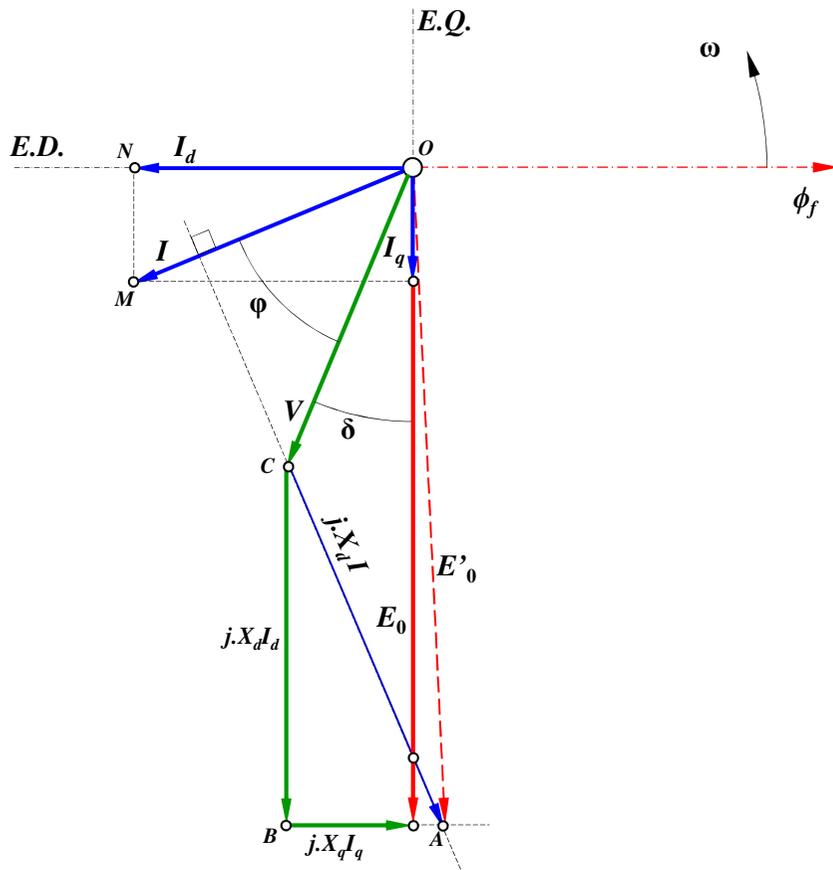
$$X_d = \frac{V_{MAX} [V/f]}{I_{MIN} [A/f]}$$

VALORES NÃO SATURADOS  
[Ω/fase]

**DETERMINAÇÃO APROXIMADA DA TENSÃO INTERNA PARA OBTENÇÃO DA EXCITAÇÃO EM CARGA**

PARA DETERMINAR A EXCITAÇÃO EM CARGA NECESSÁRIO CONHECER  $E_0 \rightarrow E_0 = V + j.X_d.I_d + j.X_q.I_q$

QUANDO  $X_q$  NÃO É CONHECIDA, PODE-SE APROXIMAR A TENSÃO INTERNA POR:  $E'_0 \rightarrow E'_0 = V + j.X_d.I$



DEMONSTRAÇÃO:  $\Delta_{ABC}$  É SEMELHANTE AO  $\Delta_{MNO}$

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{OM}}{\overline{ON}} = \frac{I}{I_d} \quad \overline{BC} = X_d \cdot I_d \rightarrow \overline{AC} = \frac{I}{I_d} \cdot X_d \cdot I_d = X_d \cdot I$$

PARA EFEITOS PRÁTICOS,  $|E'_0| \approx |E_0|$

→ NÃO EXISTE ERRO APRECIÁVEL SE O CÁLCULO DA EXCITAÇÃO FOR REALIZADO COM O VALOR DE  $E'_0$

→ O ERRO NO ÂNGULO  $\delta$  PODE NÃO SER DESPREZÍVEL

→ APROXIMAÇÃO DEVE SER EVITADA PARA EFEITO DE CÁLCULO DA POTÊNCIA ATIVA E CONJUGADO NO EIXO