

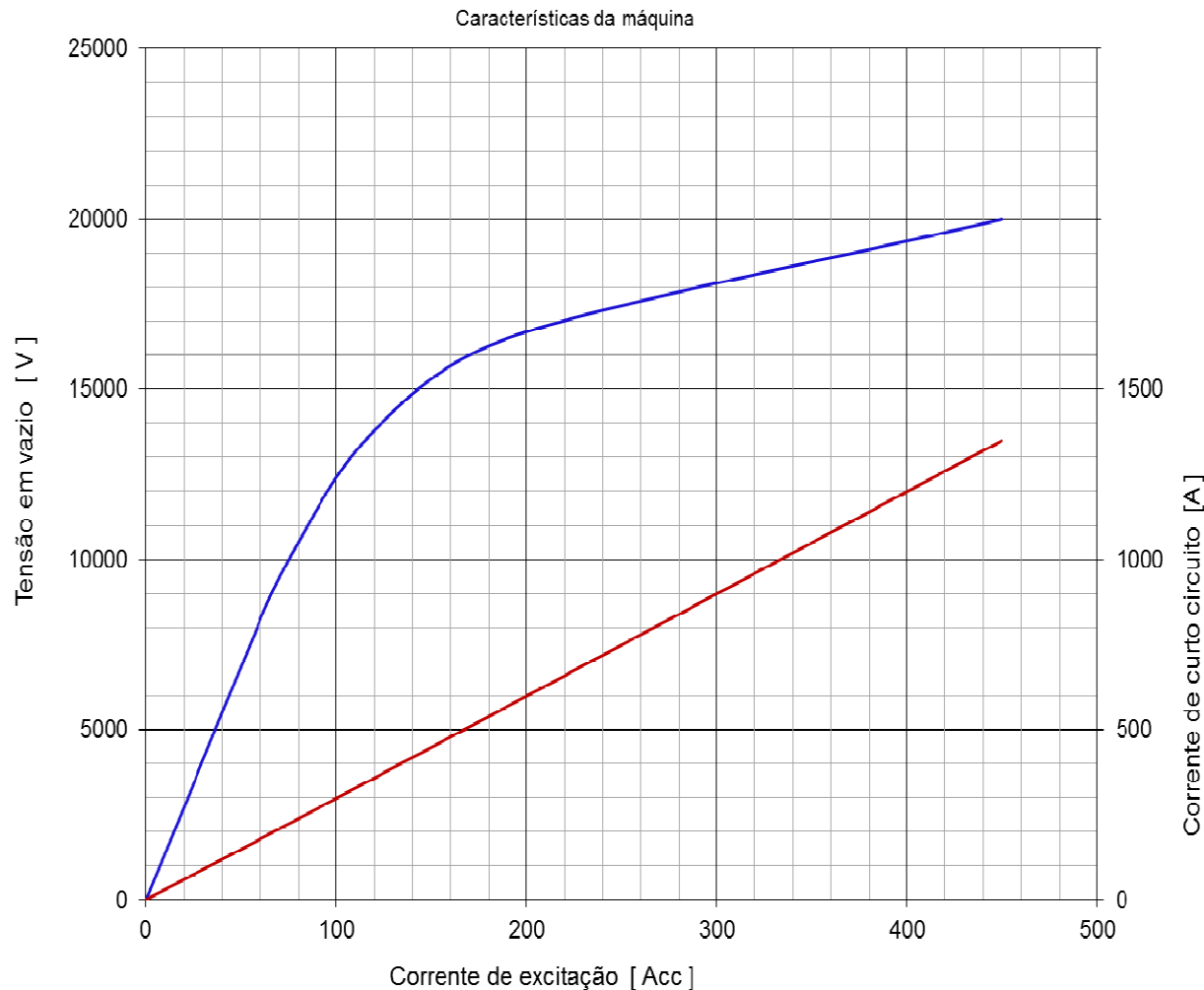
## **DETERMINAÇÃO DAS REATÂNCIAS DA MÁQUINA SÍNCRONA**

### **EXEMPLO NUMÉRICO**

**DADOS NOMINAIS DA MÁQUINA:**  $S = 10 \text{ MVA}$  -  $V = 13,8 \text{ kV}$  -  $Y$  -  $\cos\varphi = 0,90 \text{ ind.}$

**ENSAIOS DISPONÍVEIS:** 1) CURVA DE MAGNETIZAÇÃO EM VAZIO / 2) CURVA DE CURTO CIRCUITO / 3) CORRENTE DE EXCITAÇÃO

**REQUERIDA PARA CARGA NOMINAL E FATOR DE POTÊNCIA NULO INDUTIVO:**  $i_{fT(ind)} = 325 \text{ A}$  (ABSCISSA DE 1 PONTO DA CURVA  $\Omega - v$ )



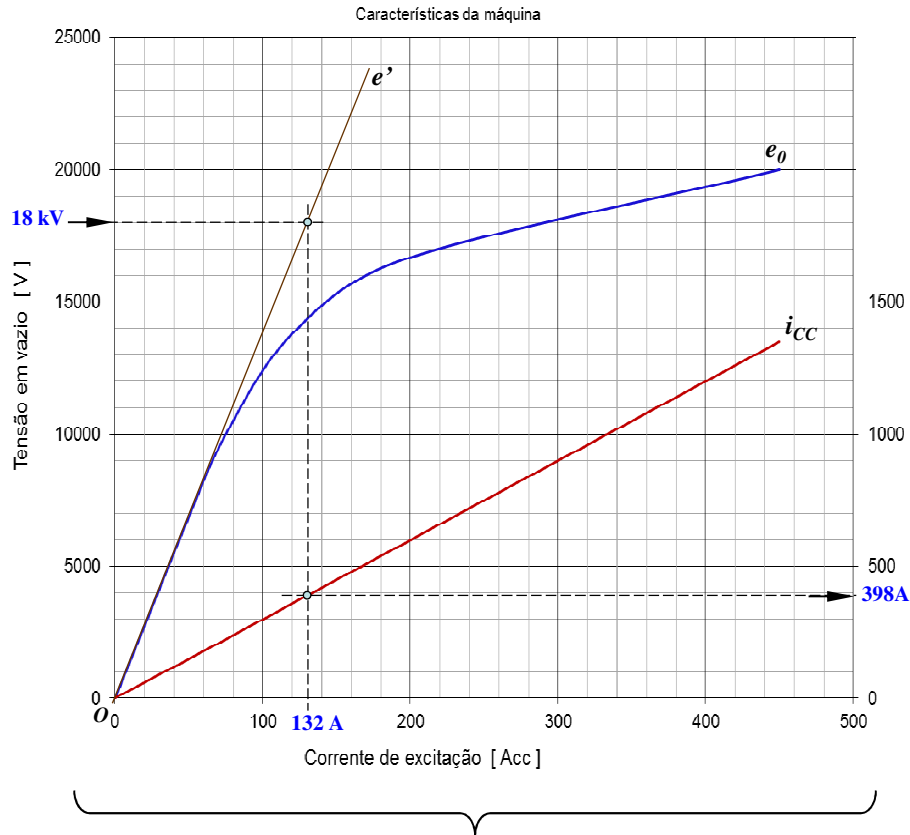
**CÁLCULOS PRELIMINARES:**

**CORRENTE NOMINAL DO GERADOR:**

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{10 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 13,8 \times 10^3} = 418,4 \text{ A}$$

**IMPEDÂNCIA DE BASE DA MÁQUINA:**

$$Z_b = \frac{V_n^2}{S} = \frac{(13,8 \times 10^3)^2}{10 \times 10^6} = 19 \Omega/\text{fase}$$



REATÂNCIA SÍNCRONA NÃO SATURADA -  $X'_s$  :

$$E_o = 18 \text{ kV} \rightarrow O - e' \rightarrow i'_{fo} = 132 \text{ A}$$

$$i'_{fo} = 132 \text{ A} \rightarrow O - i_{cc} \rightarrow I'_{cc} = 398 \text{ A}$$

$$X'_s = \frac{E_o}{I'_{cc}} = \frac{18000/\sqrt{3}}{398} = 26,1 \Omega/f$$

$$X'_s(pu) = \frac{X'_s}{Z_b} = \frac{26,1}{19} = 1,37 \text{ p.u.}$$

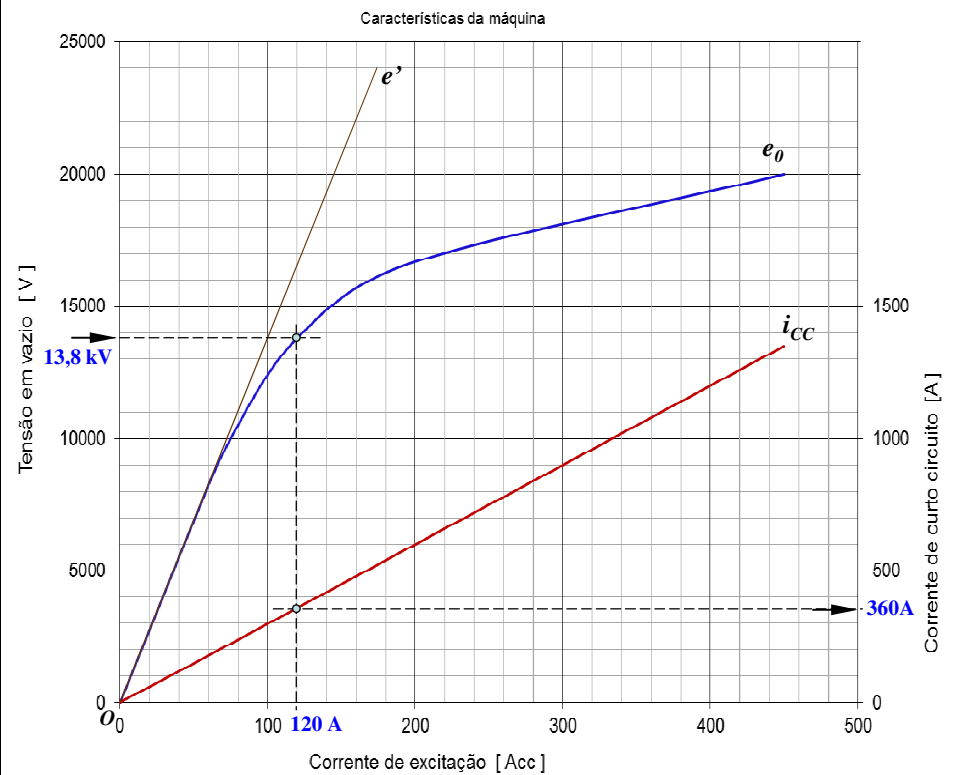
REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA (APROXIMADA) -  $X^{\circ}_s$  :

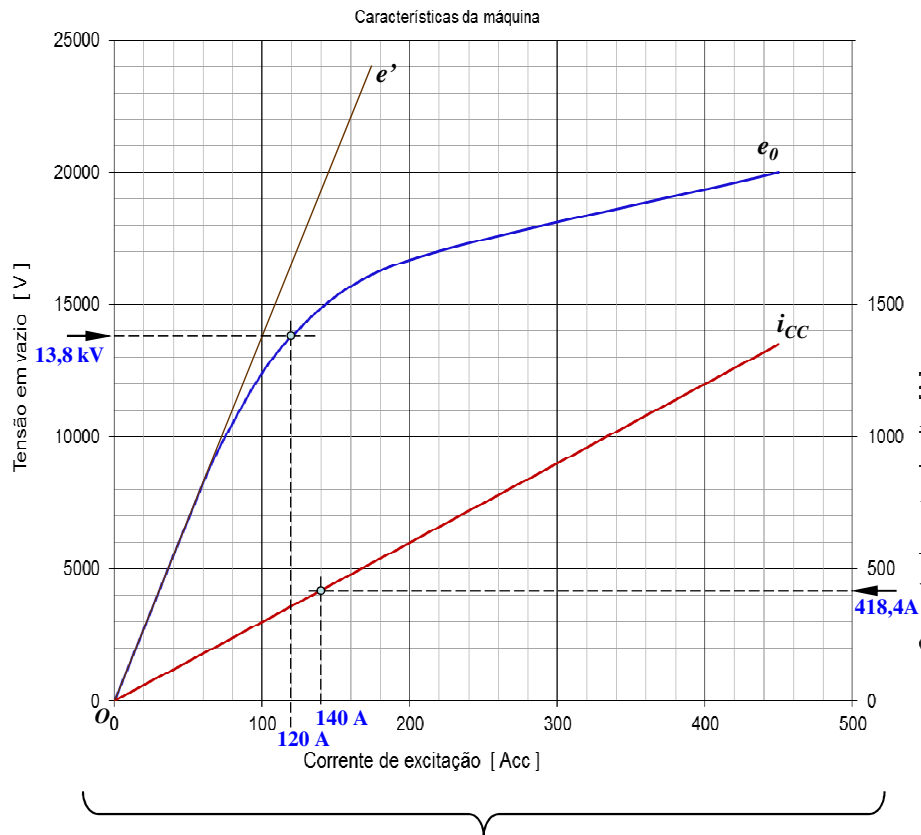
$$E_o = V_n = 13,8 \text{ kV} \rightarrow O - e_o \rightarrow i_{fo} = 120 \text{ A}$$

$$i_{fo} = 120 \text{ A} \rightarrow O - i_{cc} \rightarrow I_{cc} = 360 \text{ A}$$

$$X^{\circ}_s = \frac{E_o}{I'_{cc}} = \frac{13800/\sqrt{3}}{360} = 22,13 \Omega/f$$

$$X^{\circ}_s(pu) = \frac{X^{\circ}_s}{Z_b} = \frac{22,13}{19} = 1,16 \text{ p.u.}$$





**RELAÇÃO DE CURTO CIRCUITO - RCC :**

$$E_o = V_n = 13,8 \text{ kV} \rightarrow O - e_o \rightarrow i_{fo} = 120 \text{ A}$$

$$I_{cc} = I_n = 418,4 \text{ A} \rightarrow O - i_{cc} \rightarrow i_{fcc} = 140 \text{ A}$$

$$RCC = \frac{i_{fo} | V_o = V_n}{i_{fcc} | I_{cc} = I_n} = \frac{120}{140} = 0,857$$

$$X_s^{\circ}(pu) = 1,16 \text{ p.u.} \rightarrow \frac{1}{X_s^{\circ}(p.u.)} = \frac{1}{1,16} = 0,857 = RCC$$

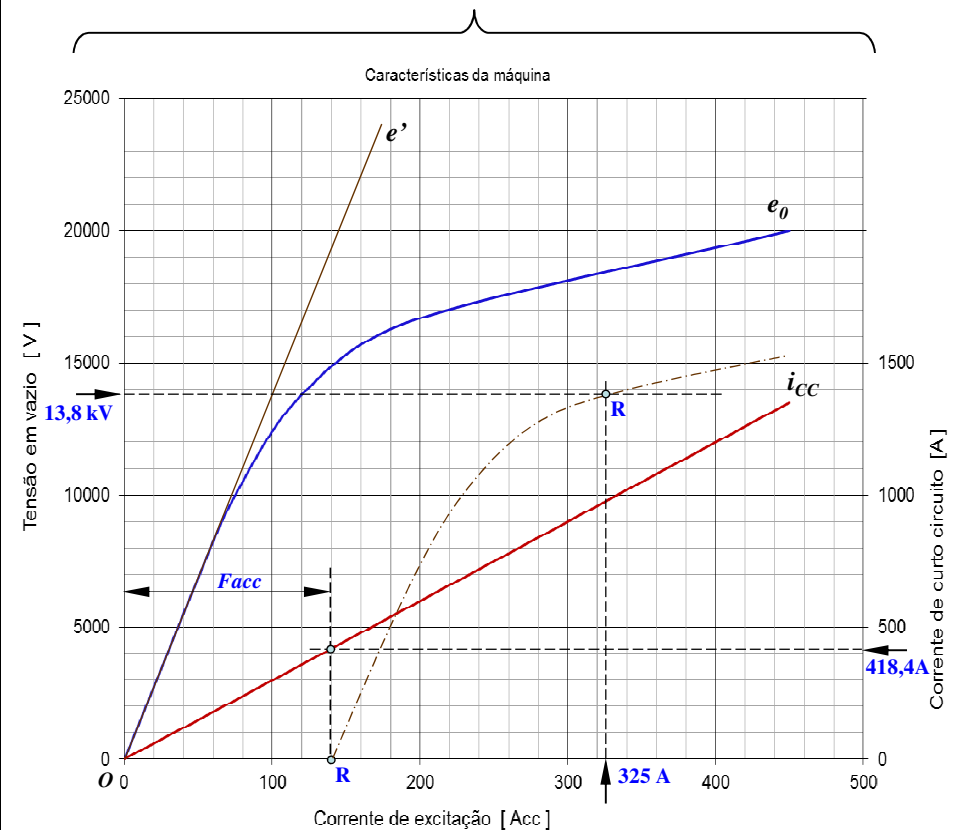
**DETERMINAÇÃO DO TRIÂNGULO DE POTIER -  $\Delta_{PQR}$ :**

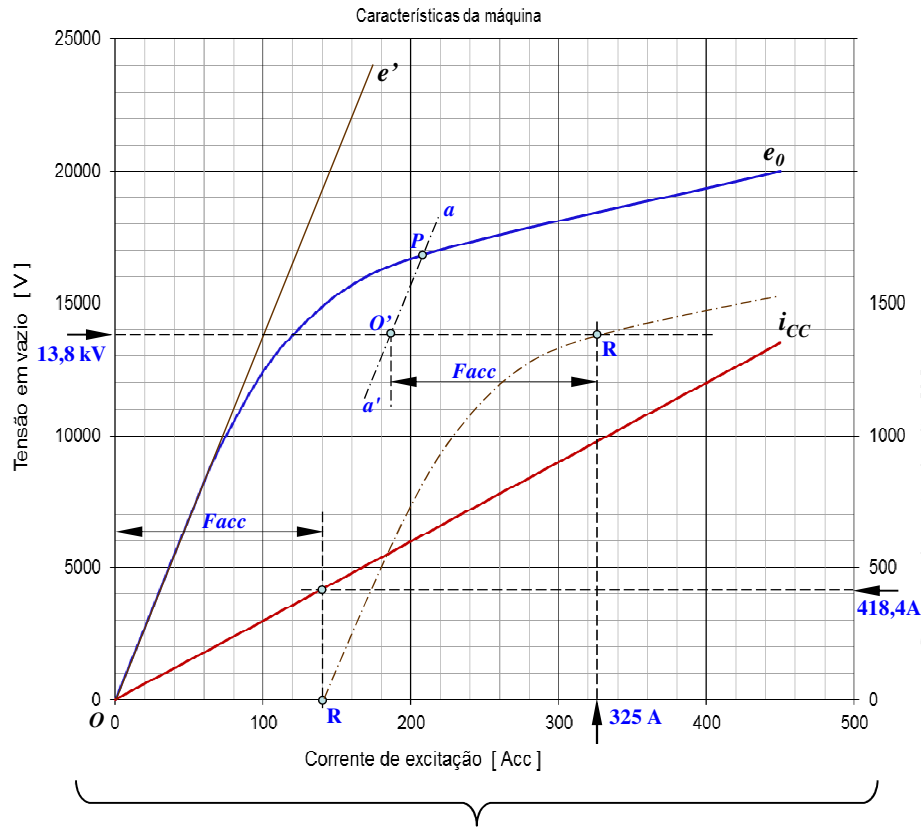
1 -  $i_{fT(ind)} = 325 \text{ A} \rightarrow$  PONTO "R" NA RETA DE  $V_n = 13,8 \text{ kV}$   
( VÉRTICE "R" DO  $\Delta_{PQR}$  )

2 -  $I_{cc} = I_n = 418,4 \text{ A} \rightarrow O - i_{cc} \rightarrow i_{fcc} = 140 \text{ A} \rightarrow$  PONTO "R"  
( MESMO VÉRTICE "R" DO  $\Delta_{PQR}$  NA CONDIÇÃO DE CURTO CIRCUITO )

$\rightarrow$  SEGMENTO  $O_R = F_{acc} = i_{fcc} = 140 \text{ A}$

$\rightarrow$  VÉRTICE "R" DO TRIÂNGULO PERTENCE À CURVA  $\Omega - v$



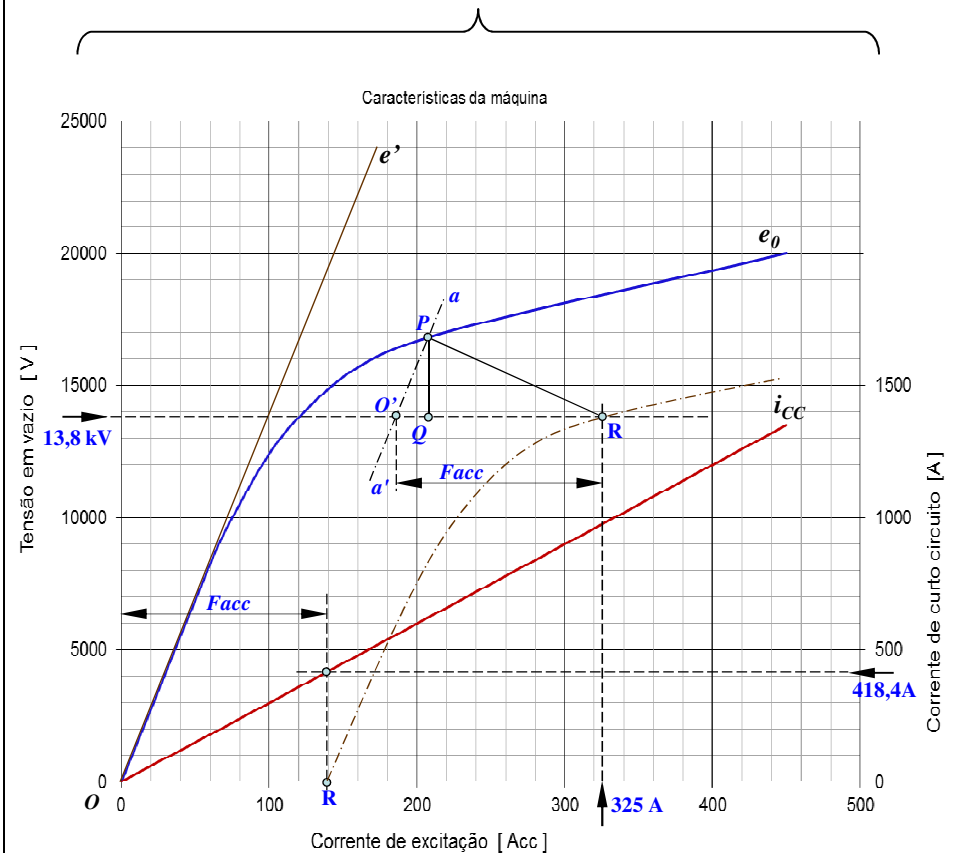


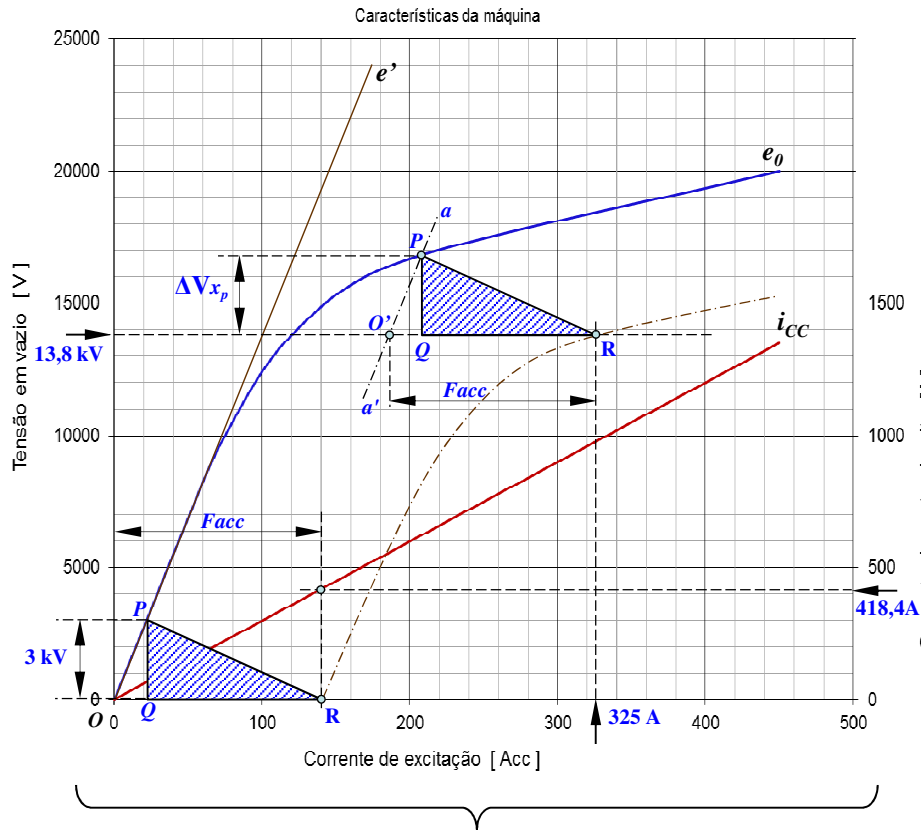
**DETERMINAÇÃO DO TRIÂNGULO DE POTIER -  $\Delta_{PQR}$ :**

- 3 – TRANSPORTAR SEGMENTO  $O_R = F_{acc}$  PARA A RETA DE  $V_n = 13,8 \text{ kV}$  DEFININDO SOBRE A MESMA O PONTO  $O'$
- 4 – A PARTIR DE  $O'$  → RETA  $a - a'$  PARALELA À RETA  $O - e'$
- 5 – RETA  $a - a'$  INTERCEPTA A CURVA  $O - e_0$  NO PONTO “P”
- PONTO “P” É VÉRTICE DO TRIÂNGULO DE POTIER -  $\Delta_{PQR}$

**DETERMINAÇÃO DO TRIÂNGULO DE POTIER -  $\Delta_{PQR}$ :**

- 6 – A PARTIR DO PONTO “P” SOBRE A CURVA  $O - e_0$  → TRAÇAR SEGMENTO VERTICAL ATÉ RETA DE  $V_n = 13,8 \text{ kV}$
- PONTO “Q” (VÉRTICE “Q” DO  $\Delta_{PQR}$ )
- 7 – PONTOS “P” ; “Q” ; “R” → **TRIÂNGULO DE POTIER**
- SEGMENTO  $P_Q$  → QUEDA DE TENSÃO NA REATÂNCIA DE POTIER





REATÂNCIA DE DISPERSÃO -  $x_a$  :

LADO "PQ" DO TRIÂNGULO DE POTIER  $\rightarrow \Delta V_{x_p} = 3\text{kV} = \sqrt{3} \cdot x_p \cdot I_a$

$x_p$  : REATÂNCIA DE POTIER  $\approx$  REATÂNCIA DE DISPERSÃO

$$x_a \cong x_p = \frac{3000}{\sqrt{3} \times 418,4} = 4,12 \Omega / \text{fase}$$

$$x_a(\text{pu}) = \frac{x_a}{Z_b} = \frac{4,12}{19} = 0,22 \text{ p.u.}$$

REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA (VALOR EXATO) -  $X_s$  :

TENSÃO DE ENTREFERRO:  $E = V_n + \sqrt{3} \cdot j \cdot x_a \cdot I_a / \varphi_a$

$$|E| = |13800 + \sqrt{3} \times 4,12 \cdot e^{j90^\circ} \times 418,4 \cdot e^{-j25,84^\circ}| = 15345 \text{ V}$$

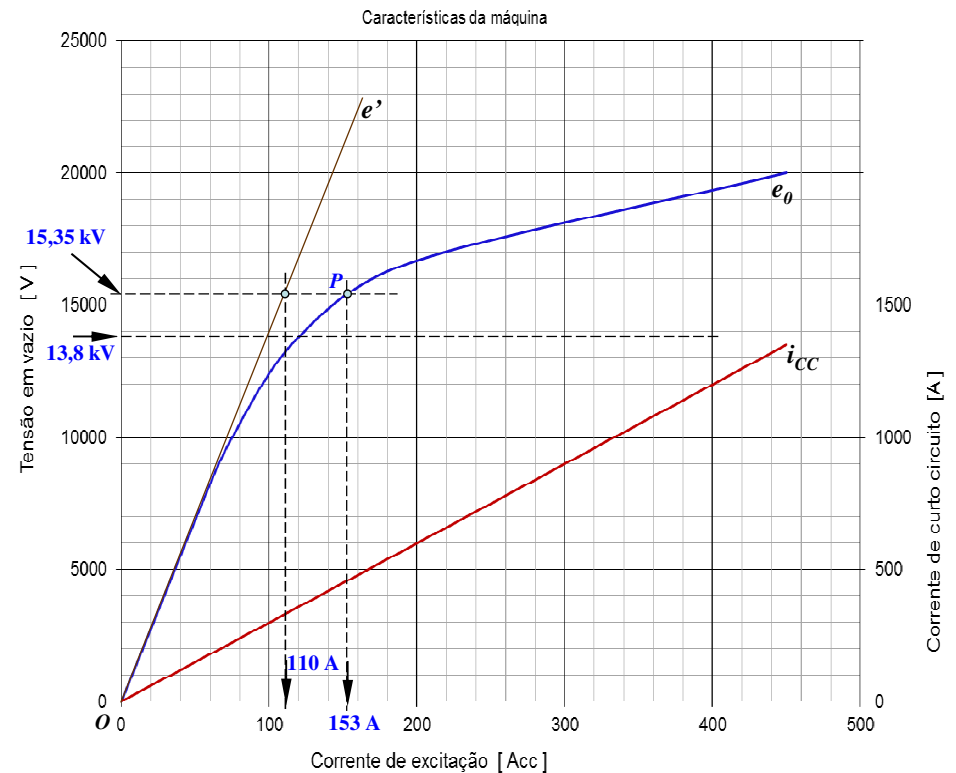
$E = 15,35 \text{ kV} \rightarrow O - e' \rightarrow i'_{fo} = 110 \text{ A}$

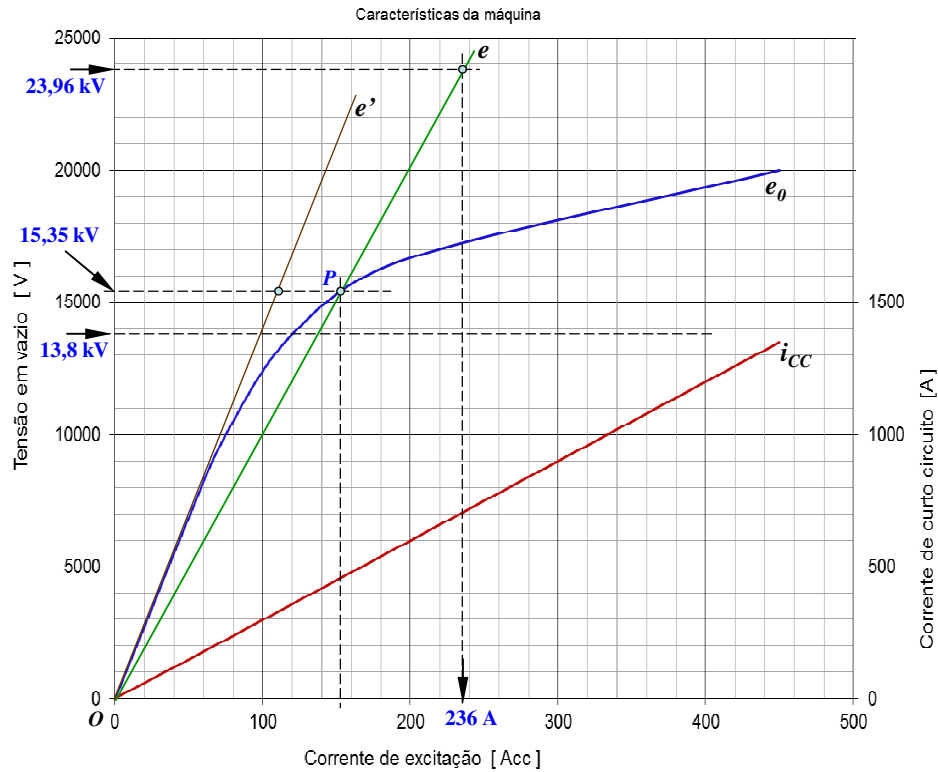
$E = 15,35 \text{ kV} \rightarrow O - e_0 \rightarrow i_{fc} = 153 \text{ A} \rightarrow$  PONTO "P"

$\rightarrow$  PONTO "P" : PONTO DE OPERAÇÃO NOMINAL DO CIRCUITO MAGNÉTICO

FATOR DE SATURAÇÃO:  $K_s = i_{fc} / i'_{fo} = 153 / 110 = 1,39$

$$X_s = \frac{(X'_s - x_a)}{K_s} + x_a = \frac{26,1 - 4,12}{1,39} + 4,12 = 19,9 \Omega / \text{fase} = 1,05 \text{ p.u.}$$





**EXCITAÇÃO REQUERIDA EM CARGA NOMINAL -  $i_{fT}$ :**

RETA  $O - e \rightarrow$  CURVA DE MAGNETIZAÇÃO LINEARIZADA

TENSÃO INTERNA DA M.S. :  $E_0 = V_n + \sqrt{3} \cdot j \cdot X_s \cdot I_a / \varphi_a$

$$|E_0| = |13800 + \sqrt{3} \times 19,9 \cdot e^{j90^\circ} \times 418,4 \cdot e^{-j25,84^\circ}| = 23962 \text{ V}$$

$$E_0 = 23,96 \text{ kV} \rightarrow O - e \rightarrow \boxed{i_{fT} = 236 \text{ A}}$$

**RESUMO DAS REATÂNCIAS OBTIDAS:**

**REATÂNCIA SÍNCRONA NÃO SATURADA**

$$X'_s = 26,1 \Omega/\text{fase} - 1,37 \text{ p.u.}$$

**REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA APROX.**

$$X^{\circ}_s = 22,13 \Omega/\text{fase} - 1,16 \text{ p.u.}$$

**REATÂNCIA DE DISPERSÃO**

$$x_a = 4,12 \Omega/\text{fase} - 0,22 \text{ p.u.}$$

**REATÂNCIA SÍNCRONA SATURADA**

$$X_s = 19,9 \Omega/\text{fase} - 1,05 \text{ p.u.}$$