

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VICOSA – UFV**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA -DEL**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ROTEIRO DE AULA PRÁTICA DE MÁQUINAS ELÉTRICAS II – ELT 342**

**NOME:** Erick Matheus da Silveira Brito      **MATRÍCULA:** 65152  
Álvaro Furlani Bastos      65156

**Aula Prática: 01**

**Ensaio à Vazio e em Curto-Circuito da Máquina Síncrona**

**Objetivo da prática:** Levantamento dos parâmetros do estator do gerador, obtenção da sua curva normal de magnetização, obtenção do gráfico da corrente de curto-circuito em função da corrente de excitação do circuito de campo e a determinação da tensão gerada por fase, tensão esta obtida com a ajuda da curva normal de magnetização e do gráfico de  $I_{CC} = f(I_F)$ .

**a) Observar os enrolamentos do estator e rotor da máquina síncrona e anotar os dados de placa, verificando o tipo de ligação das bobinas do estator.**

As bobinas do enrolamento do estator estão ligadas em estrela e os dados de placa da máquina seguem abaixo:

Tabela 1 – Dados de placa da máquina síncrona utilizada durante a prática.

Máquina Síncrona Equacional	
Tipo	EGT1-6-A
Tensão/Corrente	133V/8.7A; 230V/5A; 266V/4.4A;460V/2,5A
Potência	2 kVA
Velocidade nominal	1800 RPM
Frequência	60 Hz
Fator de Potência	0.8 Indutivo

b) **Acionar a máquina síncrona pelo motor de corrente contínua na sua velocidade nominal, ligando o motor CC com excitação independente e realizando um ensaio à vazio. Variar a corrente no enrolamento de campo da máquina síncrona, efetuando as leituras dos instrumentos de medição afim de montar uma tabela de  $E_f = f(I_F)$ .**

A máquina síncrona foi ligada em ensaio à vazio como mostra a Figura 1. A intenção dessa ligação é de variar a corrente no enrolamento de campo da MS e poder traçar a curva característica da tensão gerada à vazio pela corrente de campo.

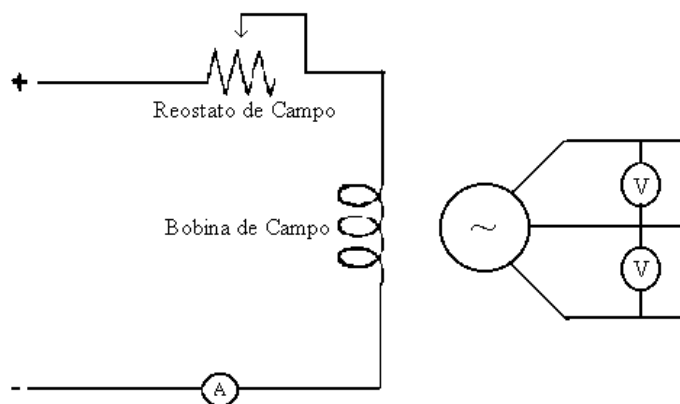


Figura 1 – Esquema de ligação da máquina síncrona em ensaio à vazio.

A Tabela 2 mostra os dados obtidos e a Figura 2 a curva traçada no Matlab.

Tabela 2 – Dados obtidos através do ensaio á vazio da máquina síncrona.

Corrente de campo $I_F$ (A)	Tensão de Armadura $E_F$ (V)
0	3.4
0.05	34.1
0.10	61.3
0.15	82.2
0.20	98.1
0.25	110.8
0.30	119.5
0.35	126.8
0.40	133.8
0.45	140.7
0.50	145.8
0.55	150.7
0.60	154.9
0.65	159.0
0.70	162.2

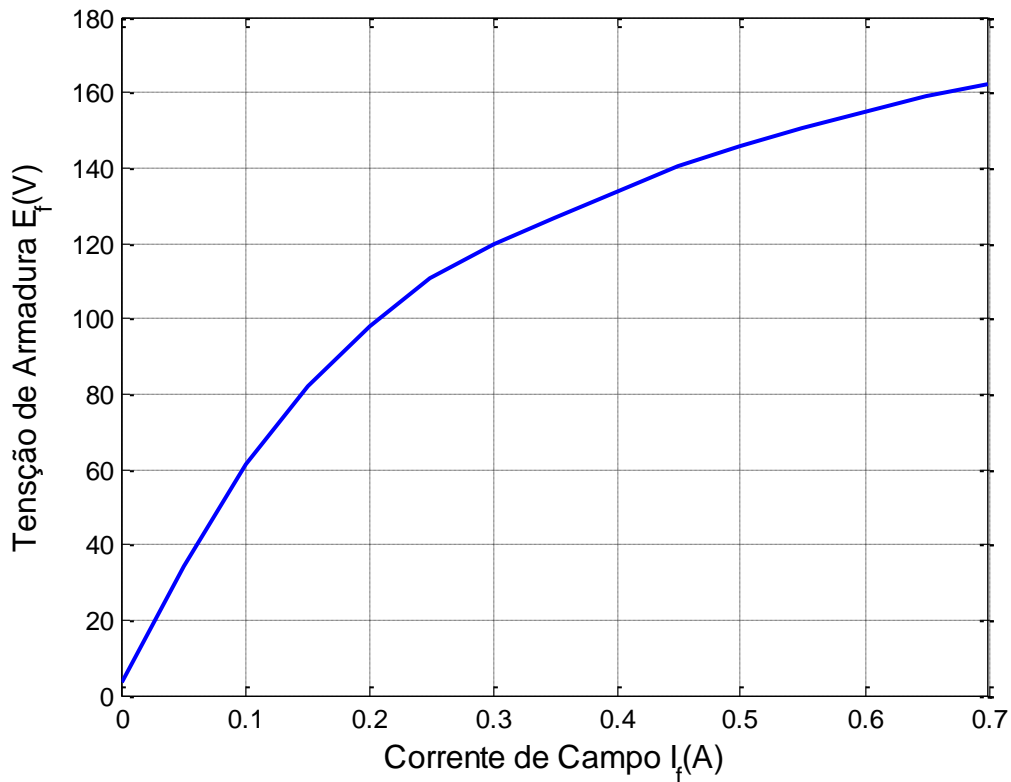


Figura 2 – Curva característica da MS obtida através do ensaio à vazio.

c) **Ligar a máquina agora em ensaio de curto circuito e variar a corrente no enrolamento de campo da MS afim de coletar valores da corrente de armadura e montar uma tabela de  $I_A = f(I_F)$ .**

A máquina síncrona foi ligada curto circuito como mostra a Figura 3. A intenção dessa ligação é de variar a corrente no enrolamento de campo da MS e poder traçar uma curva aproximadamente linear entre a corrente de armadura e a corrente da campo da MS.

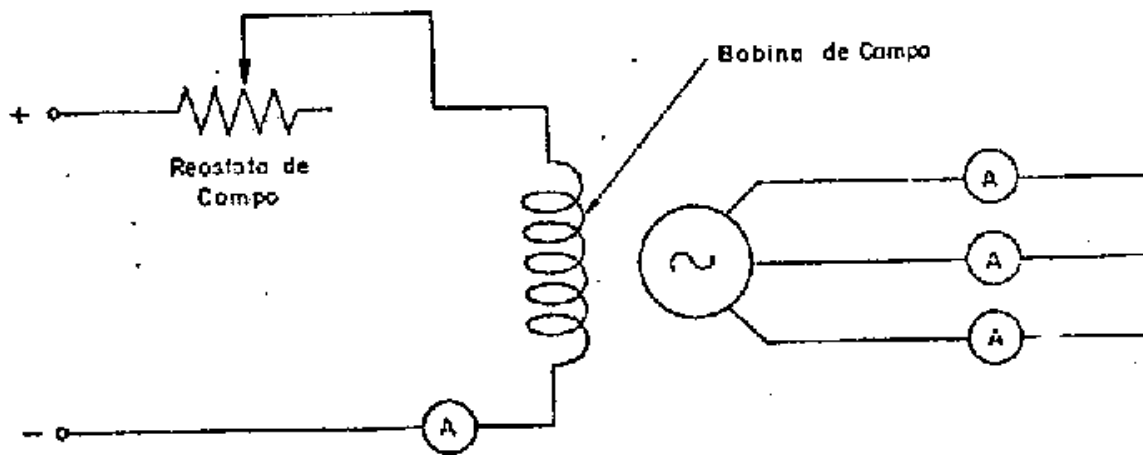


Figura 3 – Esquema de ligação da máquina síncrona em curto circuito.

A Tabela 3 mostra os dados obtidos e a Figura 4 a curva traçada no Matlab.

Tabela 3 – Dados obtidos através do ensaio de curto circuito da máquina síncrona.

Corrente de campo $I_F$ (A)	Corrente de Armadura $E_F$ (V)
0	0.11
0.05	0.94
0.10	1.82
0.15	2.62
0.20	3.32
0.25	4.11
0.30	4.95
0.35	5.74
0.40	6.57
0.45	7.29

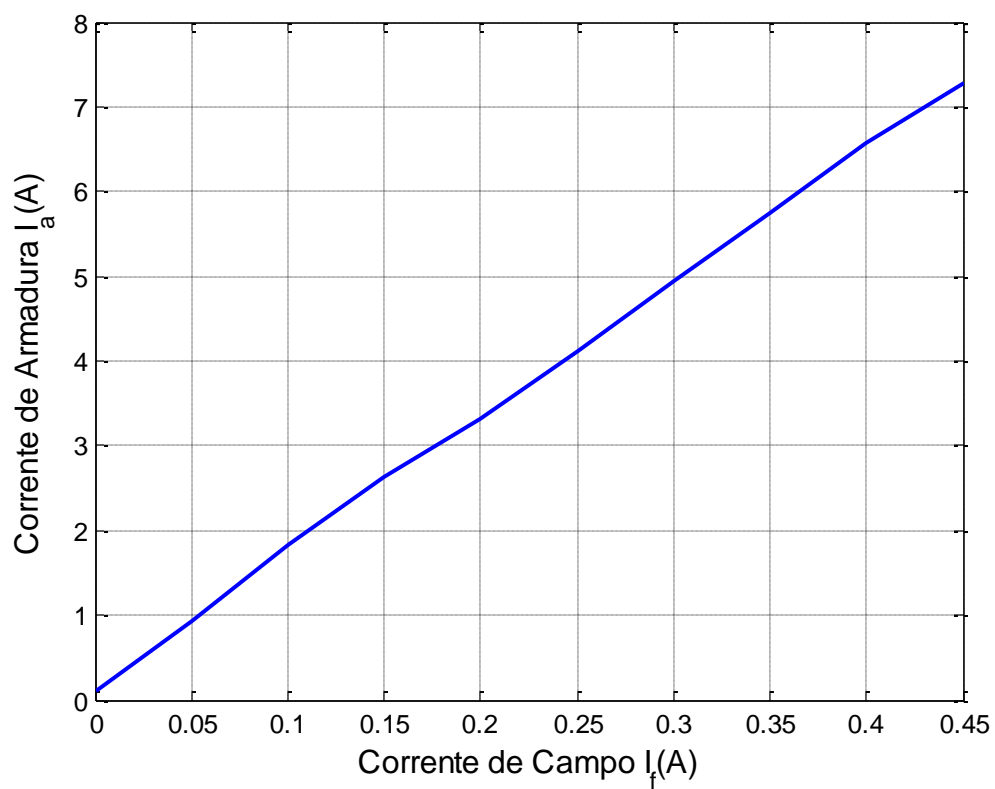


Figura 4 – Relação linear entre a corrente de campo  $I_f$  e a corrente de armadura  $I_a$ .

**d) Traçar a linha de entreferro na curva característica da máquina síncrona.**

A linha de entreferro é tangente ao ponto onde a curva à vazio da máquina deixa a zona linear e entra na zona saturada. Em outras palavras, a linha de entreferro é paralela à região linear da curva à vazio.

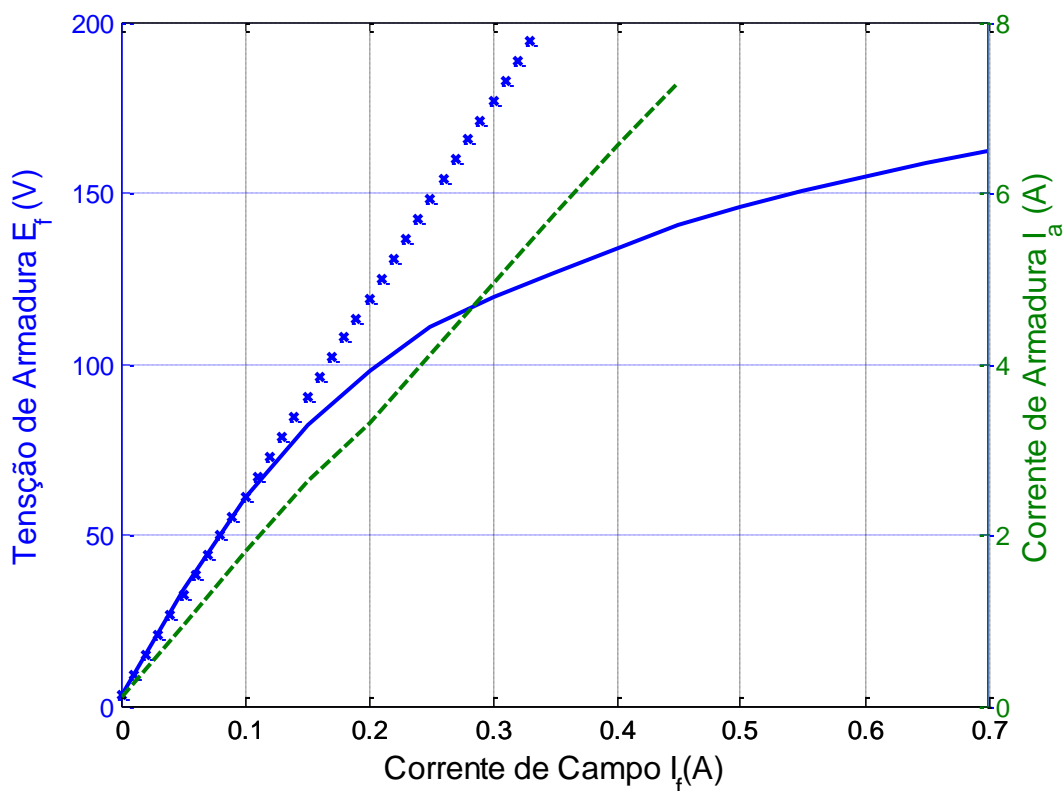


Figura 5 – Linha de entreferro (x), curva à vazio da máquina (-) e curva de curto circuito (--).

**e) A partir dos gráficos e dos dados de placa da máquina síncrona obter os valores da reatância síncrona saturada e não saturada.**

A partir dos dados dos ensaios, é fácil obter o valor da impedância interna da máquina. Primeiramente, é necessário determinar a resistência efetiva por fase da máquina. Nesta prática, esse valor de resistência foi obtido através do ensaio em corrente contínua. Este ensaio é o preferido porque elimina as perdas por acoplamento magnético na estrutura polar e no ferro que existem quando a alimentação é em tensão alternada. Neste método aplica-se

uma pequena tensão contínua no estator do gerador, neste caso ligado em estrela. A resistência então pode ser determinada como:

$$R_{cc} = \frac{1}{2} \frac{V}{I} = 1.4 \, \Omega$$

A resistência CA por fase é obtida multiplicando-se a resistência CC por um fator que varia entre 1,2 e 1,8, que depende de vários fatores, tais como, frequência, qualidade do isolamento, potência da máquina, dentre outros. Para este ensaio é utilizado um fator de 1,5. Portanto:

$$R_{CA} = 1.5 R_{cc} = 2.1 \, \Omega$$

A impedância total da máquina será a relação entre a tensão e a corrente obtidas para um mesmo valor de corrente de excitação ( $I_f$ ). No caso da impedância síncrona não-saturada ( $Z_{NS}$ ) esta relação é obtida na parte linear da curva de magnetização. Portanto:

$$Z_{NS} = \frac{V_{NS}}{I_a} = \frac{119.5}{4.95} = 24,14 \, \Omega$$

Logo, é possível determinar a reatância síncrona não-saturada:

$$X_{NS} = \sqrt{Z_{NS}^2 - R_{CA}^2} = 24,05 \, \Omega$$

Normalmente os geradores síncronos operam com algum grau de saturação e conectados a um barramento de tensão constante. O nível de saturação da máquina não se altera significativamente com a variação da corrente de campo uma vez que pode-se considerar a tensão de armadura constante. Desta forma, é interessante calcular a reatância saturada da máquina que é dada pela relação entre a tensão nominal obtida no ensaio em circuito aberto e a corrente de armadura obtida para a mesma corrente de excitação.

$$Z_S = \frac{V_n}{I_a} = \frac{162.2}{7.29} = 22,25 \, \Omega$$

$$X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_{CA}^2} = 22,15 \, \Omega$$

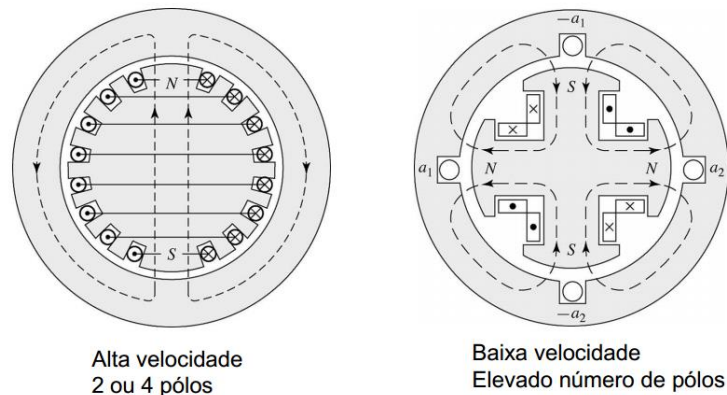
**f) Porque um gerador síncrono tem que operar com uma frequência rigorosamente constante?**

O gerador síncrono opera sempre em uma velocidade constante pois devido ao seu princípio de funcionamento, o campo girante no entreferro e no rotor giram na mesma

velocidade, que é denominada “velocidade síncrona”. A frequência de operação do alternador depende da sua velocidade de acionamento e do número de polos do rotor que são constantes durante a operação, portanto, a frequência de operação também será constante.

**g) Quando é que se utilizam geradores de pólos salientes e de pólos lisos e como diferenciá-los?**

O rotor da máquina síncrona (MS) pode ser liso ou com pólos salientes. A máquina de rotor liso é usada para acionamentos em alta velocidade ( $n = 1800 \text{ rpm}$  ou  $3600 \text{ rpm}$ ) possui de 2 a 4 polos e a de pólos salientes para acionamentos em baixa velocidade, comportando um número elevado de pólos..



**h) Quais as vantagens dos geradores de pólos girantes em relação aos de pólos fixos;**

As máquinas de pólos fixos são pouco utilizadas devido ao inconveniente da necessidade de escovas para retirar a energia gerada. As máquinas de pólos girantes são mais utilizadas por permitirem a retirada da energia diretamente dos terminais das bobinas.

**i) Porque o gráfico de  $I_{CC} = f(I_F)$  é uma linha reta, ou seja, não ocorre a saturação;**

Quando os terminais da máquina estão em CC a corrente de fase estará praticamente  $90^\circ$  atrasada em relação à tensão interna ( $E_f$ ). A fmm resultante será pequena e a máquina não satura. Desta forma, a característica de curto circuito (CCC) de um gerador síncrono é linear.