

# OBTENÇÃO DE PARÂMETROS DO MODELO DE CIRCUITO DO MIT COM BASE NOS DADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE ROTOR BLOQUEADO E A VAZIO

Henrique Poleselo  
Ana Beatriz Alves

# Agenda

- Introdução
- Objetivo
- Fundamentação teórica
- Projeto desenvolvido
- Análise de resultados
- Considerações finais
- Referências

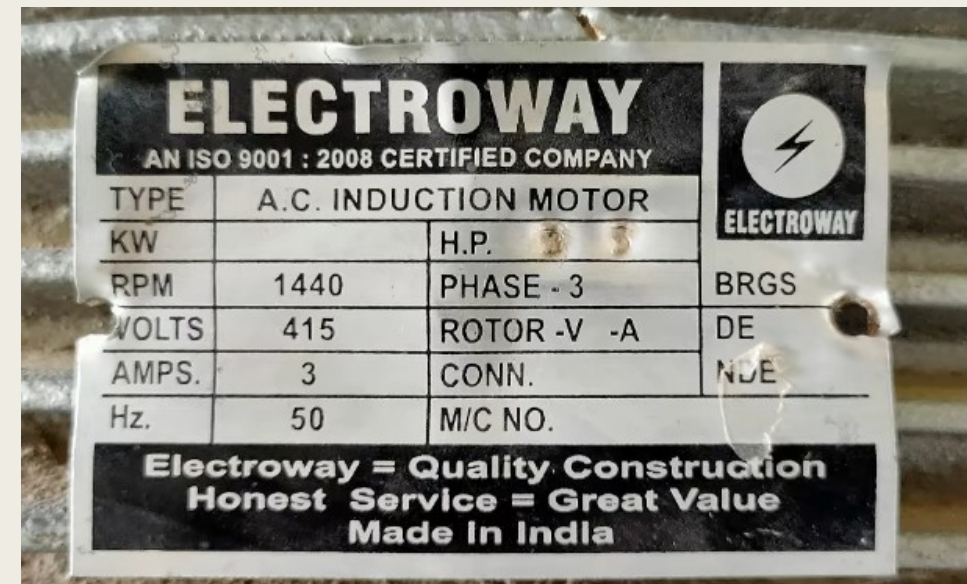
# Introdução

- Motor de Indução Trifásico;
- São utilizadas como motor nas instalações industriais, comerciais e residenciais ou como gerador na geração eólica;

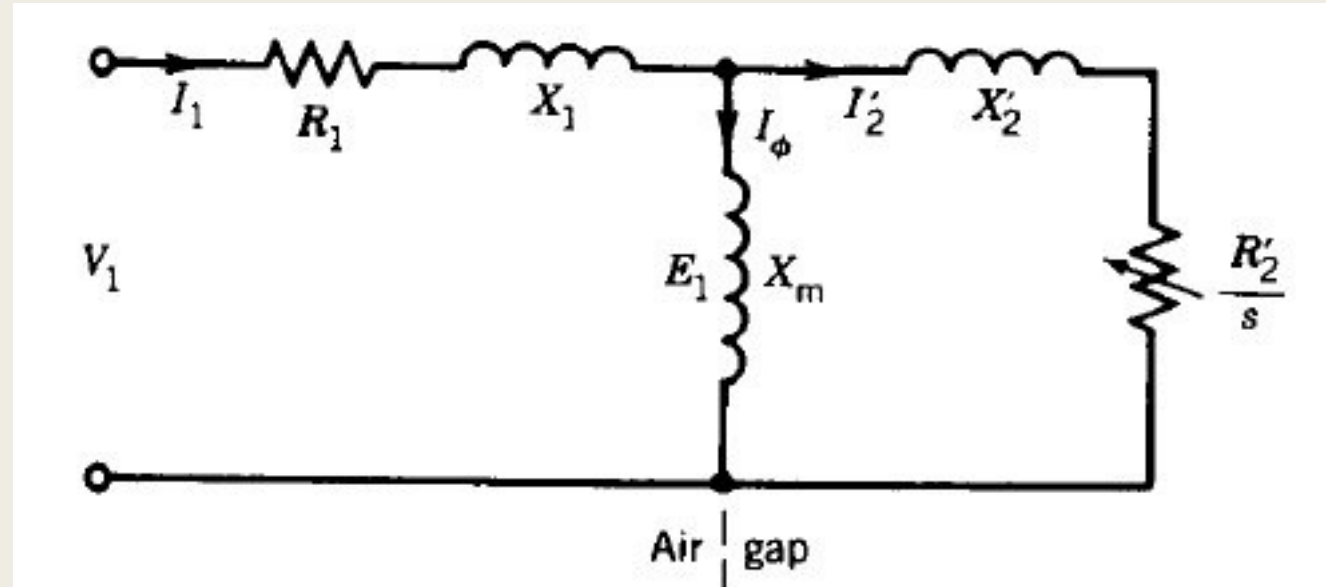


# Objetivo

- Descrever como os ensaios a rotor bloqueado e a vazio são realizados;
- Apresentar as equações utilizadas para encontrar os parâmetros do modelo;

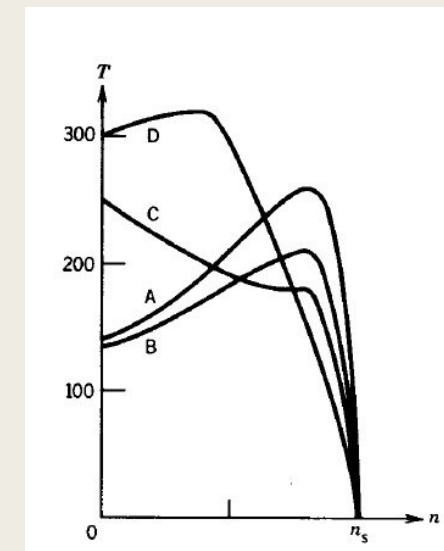


# Fundamentação Teórica



# Fundamentação Teórica

Classe de motor	Descrição	Fração de $(X_1 + X_2)$	
		$X_1$	$X_2$
A	Conjugado de partida normal, corrente de partida normal	0,5	0,5
B	Conjugado de partida normal, corrente de partida baixa	0,4	0,6
C	Conjugado de partida elevado, corrente de partida baixa	0,3	0,7
D	Conjugado de partida elevado, escorregamento elevado	0,5	0,5
Rotor bobinado	Desempenho varia segundo a resistência do rotor	0,5	0,5

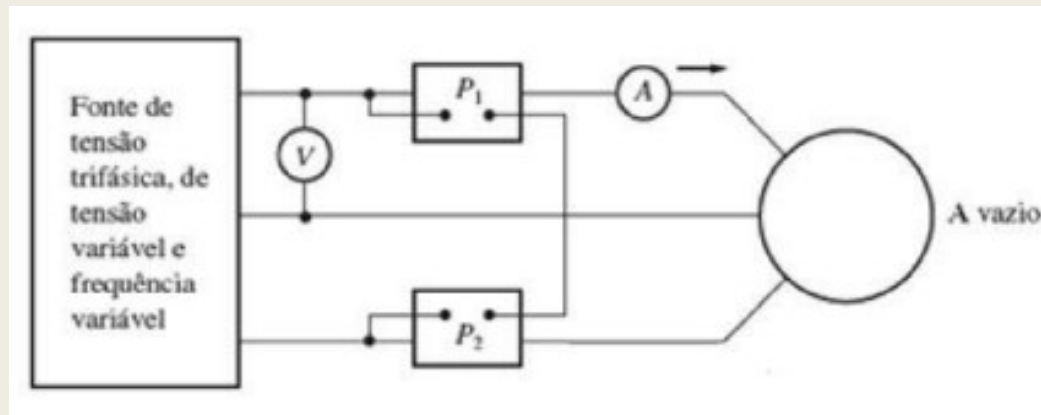


# Fundamentação Teórica

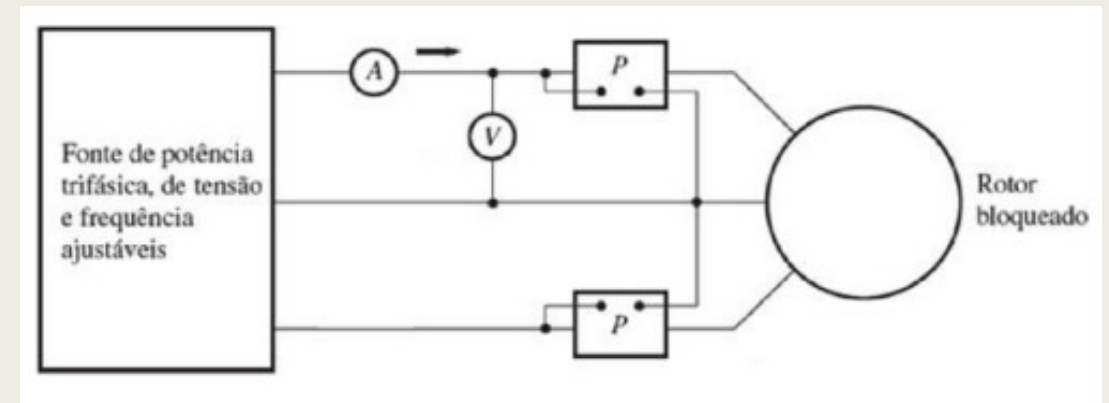
- Verificação dos parâmetros do motor para o cálculo das perdas de forma a validar a sua eficiência;
- Eficiência baixa, custo operacional elevado;

# Equipamentos de Bancada

- Fonte de tensão, amperímetro, voltímetro e wattímetro.



Ensaio a Vazio

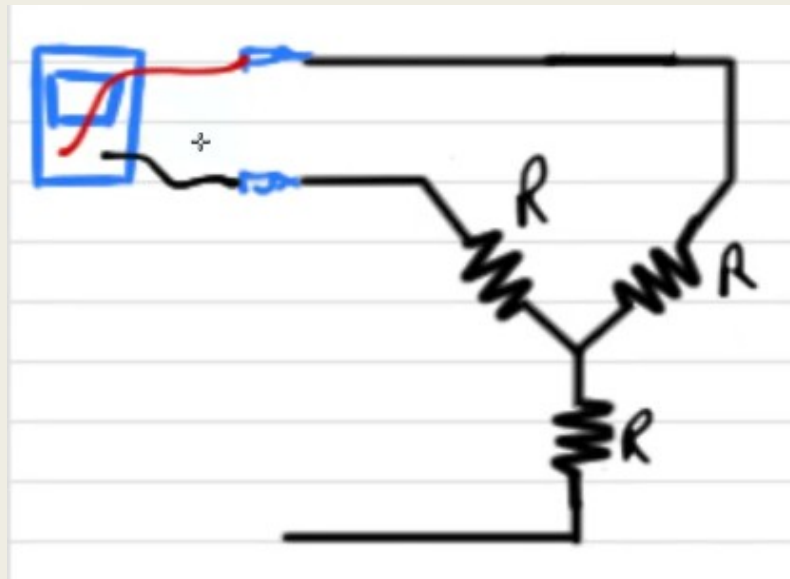


Ensaio a Rotor Bloqueado



# Medição da Resistência de Entrada

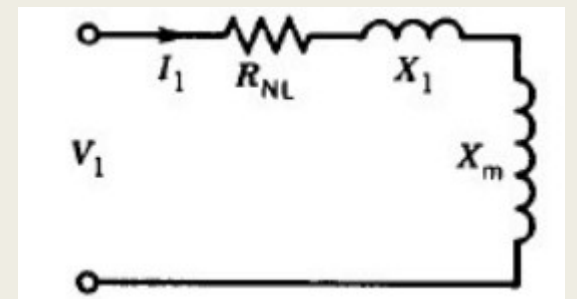
- Medição CC a frio da resistência de entrada;



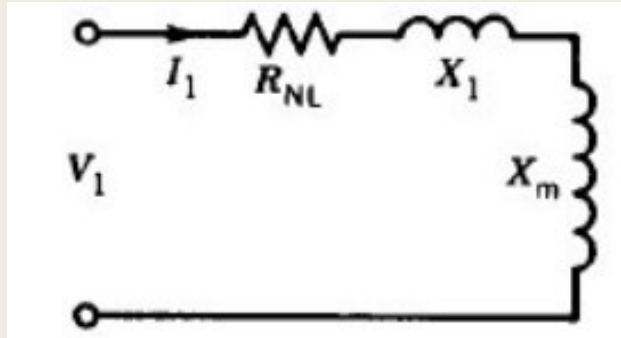
$$R_s = \frac{R_{med}}{2}$$

# Ensaio a Vazio

- Aplica-se tensão nominal nos terminais;
- A máquina opera com, aproximadamente, velocidade síncrona;
- Mede-se tensão, corrente e potência de entrada;



# Ensaio a Vazio



$$R_{NL} = \frac{P_{NL}}{3I_1^2}$$

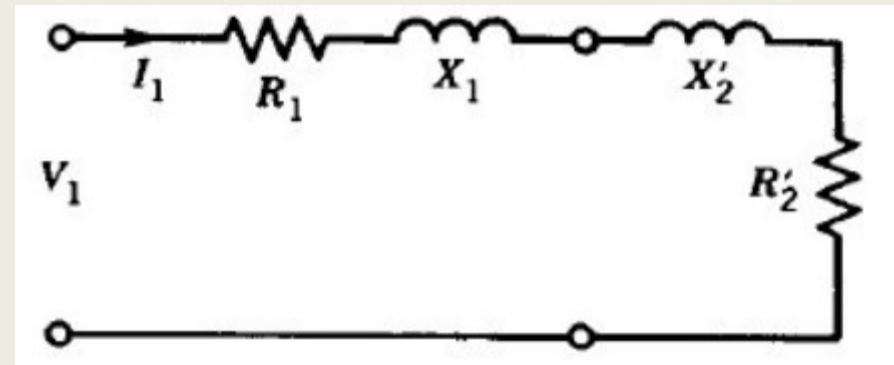
$$Z_{NL} = \frac{V_1}{I_1}$$

$$X_{NL} = (Z_{NL}^2 - R_{NL}^2)^{1/2}$$

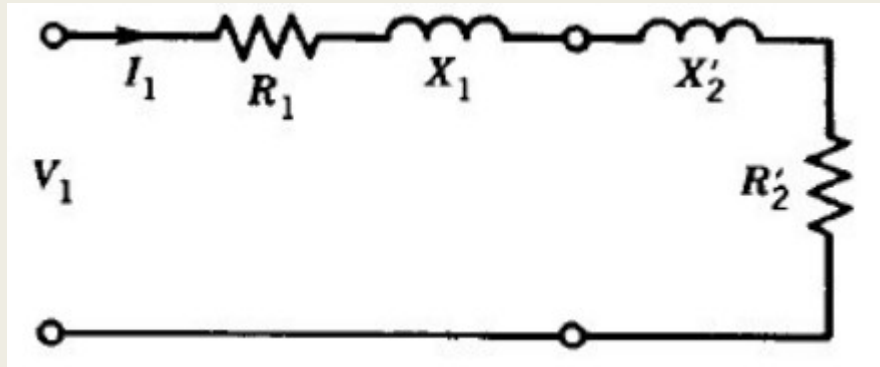
$$X_{NL} = X_s + X_m$$

# Ensaio a Rotor Bloqueado

- Ajusta-se a tensão com até 25% de frequência para que a corrente na máquina seja a nominal;
- A velocidade da máquina é nula;
- Mede-se tensão, corrente e potência de entrada;



# Ensaio a Rotor Bloqueado



$$R_{BL} = \frac{P_{BL}}{3I_1^2}$$

$$Z_{BL} = \frac{V_1}{I_1}$$

$$X_{BL} = (Z_{BL}^2 - R_{BL}^2)^{1/2}$$

$$X_{BL} = X_{BL} * \left(\frac{60}{15}\right)$$

$$X_{NL} = X_s + X_m$$

$$\frac{X_{BL}}{2} = X_s = X_{lr'}$$

# Desenvolvimento

$$X_{lr'} = \frac{(X_{BL} - R * X_{lr'}) * (X_{NL} - R * X_{lr'})}{X_{NL} - X_{BL}}$$

$$R = \frac{X_s}{X_{lr'}}$$

$$X_s = X_{lr'} * R$$

$$X_{lr'}^2 + \frac{(X_{BL} - X_{NL}) - R * (X_{BL} + X_{NL})}{R^2 * X_{lr'} + \frac{X_{BL} * X_{NL}}{R^2}}$$

# Projeto Desenvolvido

Dados:

Motor de Indução Trifásico, com o os seguintes dados de placa:

- 440V (Y)
- 60Hz
- 94hp

Ensaio a Vazio:

- Tensão aplicada nominal;
- Potência medida de 1200W;
- Corrente medida de 32.6A;

Ensaio de rotor bloqueado:

- Frequência de 15Hz;
- Tensão aplicada de 40.5V;
- Potência medida de 4.2kW;
- Corrente medida de 162.7A;

Resistência do enrolamento do estator medida foi: 0.03 Ohms

# Projeto desenvolvido

```
81     coeficiente_quadratico = 1
82     coeficiente_grau_1 = ((Xbloq - Xvazio) - R*(Xbloq + Xvazio)) / R**2
83     coeficiente_grau_0 = (Xbloq * Xvazio) / R**2
84     polinomio = np.poly1d([coeficiente_quadratico, coeficiente_grau_1, coeficiente_grau_0])
85     raizes = polinomio.roots
86
87     for raiz in raizes:
88         if ((raiz/Rs) >= 6) and ((raiz/Rs) <= 30):
89             Xlrl = raiz
90             print(f"O programa optou pela raiz {raiz} para o valor de Xlrl, pois Xlrl é {round(raiz/Rs,0)}")
91             print("Considera-se uma faixa de de 6 a 30 vezes maior.")
92             break
93
```



# Projeto desenvolvido

```
117 classes = {'A': 1, 'B': 2/3, 'C': 3/7, 'D': 1, 'Rotor Bobinado': 1}
118
119 classe = input("Selecione a classe desejada: A, B, C, D ou Rotor Bobinado:\n")
120
121 if classe == 'A':
122     R = classes['A']
123     calculoDosParametrosDoMIT(R, classe)
124 elif classe == 'B':
125     R = classes['B']
126     calculoDosParametrosDoMIT(R, classe)
127 elif classe == 'C':
128     R = classes['C']
129     calculoDosParametrosDoMIT(R, classe)
130 elif classe == 'D':
131     R = classes['D']
132     calculoDosParametrosDoMIT(R, classe)
133 elif classe == 'Rotor Bobinado':
134     R = classes['Rotor Bobinado']
135     calculoDosParametrosDoMIT(R, classe)
136 else:
137     print("Nenhuma opção dentre as fornecidas foi escolhida. Assumindo que o usuário queira o cálculo para todas as classes.")
138     for classe in classes:
139         calculoDosParametrosDoMIT(classes[classe], classe)
140
```

# Análise de resultados

- Usuário escolhendo apenas uma Classe

```
PS D:\Documents\UFBA\20211\conversao-eletromecanica-2\trabalho> py.exe .\calc-param.py

Selecione a classe desejada: A, B, C, D ou Rotor Bobinado:
B
——— Utilizando classe B e valor de R de 0.667 para o cálculo dos parâmetros ———
O programa optou pela raiz 0.3289 para o valor de  $X_{lr1}$ , pois  $X_{lr1}$  é 22.0 vezes maior que a resistência do estator.
Considera-se uma faixa de de 6 a 30 vezes maior.

——— Parâmetros do MIT ———
Resistência do estator  $R_s$ : 0.015
Resistência do rotor  $R_{rl}$ : 0.041254383476829325
Reatância de dispersão do estator  $X_{ls}$ : 0.21929376208017526
Reatância de dispersão do estator  $X_{lr1}$ : 0.3289406431202629
Reatância de magnetização  $X_m$ : 7.564068943694603
```

# Análise de resultados

## ■ Usuário escolhendo todas as classes

```
Selecione a classe desejada: A, B, C, D ou Rotor Bobinado:
Q
Nenhuma opção dentre as fornecidas foi escolhida. Assumindo que o usuário queira o cálculo para todas as classes.
----- Utilizando classe A e valor de R de 1 para o cálculo dos parâmetros -----
O programa optou pela raiz 0.272 para o valor de Xlrl, pois Xlrl é 18.0 vezes maior que a resistência do estator.
Considera-se uma faixa de de 6 a 30 vezes maior.

----- Parâmetros do MIT -----
Resistência do estator Rs: 0.015
Resistência do rotor Rrl: 0.040681292258870794
Reatância de dispersão do estator Xls: 0.27201618002225886
Reatância de dispersão do estator Xlrl: 0.27201618002225886
Reatância de magnetização Xm: 7.511346525752519

----- Utilizando classe B e valor de R de 0.667 para o cálculo dos parâmetros -----
O programa optou pela raiz 0.3289 para o valor de Xlrl, pois Xlrl é 22.0 vezes maior que a resistência do estator.
Considera-se uma faixa de de 6 a 30 vezes maior.

----- Parâmetros do MIT -----
Resistência do estator Rs: 0.015
Resistência do rotor Rrl: 0.041254383476829325
Reatância de dispersão do estator Xls: 0.21929376208017526
Reatância de dispersão do estator Xlrl: 0.3289406431202629
Reatância de magnetização Xm: 7.564068943694603

----- Utilizando classe C e valor de R de 0.429 para o cálculo dos parâmetros -----
O programa optou pela raiz 0.3873 para o valor de Xlrl, pois Xlrl é 26.0 vezes maior que a resistência do estator.
Considera-se uma faixa de de 6 a 30 vezes maior.

----- Parâmetros do MIT -----
Resistência do estator Rs: 0.015
Resistência do rotor Rrl: 0.04183798902773213
Reatância de dispersão do estator Xls: 0.16597906542685578
Reatância de dispersão do estator Xlrl: 0.38728448599599685
Reatância de magnetização Xm: 7.6173836403479225
```

# Análise de resultados

- Usuário escolhendo todas as classes

```
----- Utilizando classe D e valor de R de 1 para o cálculo dos parâmetros -----  
O programa optou pela raiz 0.272 para o valor de Xlrl, pois Xlrl é 18.0 vezes maior que a resistência do estator.  
Considera-se uma faixa de de 6 a 30 vezes maior.  
  
----- Parâmetros do MIT -----  
Resistência do estator Rs: 0.015  
Resistência do rotor Rrl: 0.040681292258870794  
Reatância de dispersão do estator Xls: 0.27201618002225886  
Reatância de dispersão do estator Xlrl: 0.27201618002225886  
Reatância de magnetização Xm: 7.511346525752519  
  
----- Utilizando classe Rotor Bobinado e valor de R de 1 para o cálculo dos parâmetros -----  
O programa optou pela raiz 0.272 para o valor de Xlrl, pois Xlrl é 18.0 vezes maior que a resistência do estator.  
Considera-se uma faixa de de 6 a 30 vezes maior.  
  
----- Parâmetros do MIT -----  
Resistência do estator Rs: 0.015  
Resistência do rotor Rrl: 0.040681292258870794  
Reatância de dispersão do estator Xls: 0.27201618002225886  
Reatância de dispersão do estator Xlrl: 0.27201618002225886  
Reatância de magnetização Xm: 7.511346525752519
```

# Considerações finais

- Aproximações foram feitas: desconsideração das perdas e resistência de núcleo, atribuindo-se todas as perdas a vazão ao atrito e ventilação;
- Reprodução do código traz resultados razoáveis;

# Referências

- P.C.Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, 2nd Edition.
- Norma da IEEE12
- **Máq. de Indução A12 - Ensaaios de rotor bloqueado e a vazio - Prof. Eudemario**