



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

*PEA - Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas*

## **Eletrotécnica Geral**

### **Lista de Exercícios 2**

- 1. Condutores e Dispositivos de Proteção**
- 2. Fornecimento e Tarifação de Energia Elétrica**
- 3. Motores Trifásicos de Indução**

**Agosto de 2009**

---

## 1. CONDUTORES E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

### Exercício 1.1

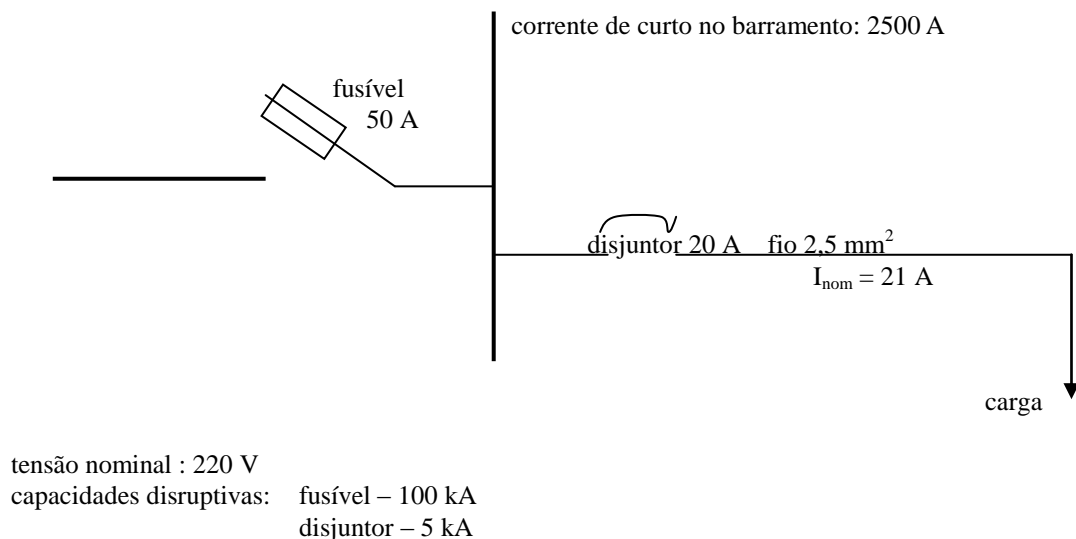
- Quais são os materiais utilizados como condutores?
- Quais são as bitolas padronizadas (métricas)?
- Quais são os materiais utilizados como isolantes extrudados? Quais são termo-plásticos? Quais são termo fixos?
- O que se entende por isolação estratificada ?
- Qual é a diferença entre fio e cabo ?
- De que modo é calculada a corrente máxima em condutores isolados? (qualitativamente)
- Do que depende a corrente máxima destes condutores?
- Descubra consultando normas e/ou tabelas as correntes máximas dos seguintes condutores de cobre isolados com PVC, em eletrodutos embutidos, até três condutores por eletroduto, temperatura externa de 30° C:  $S$  (mm<sup>2</sup>) = 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 95.

### Exercício 1.2

- Qual é o significado dos parâmetros impressos em um fusível: 10 A; 600 VAC; 100 kA?
- Quais são os dispositivos de atuação do disjuntor de baixa tensão ("quick-lag") ?
- Em quais condições são empregados ?

### Exercício 1.3

- No esquema abaixo, justifique a proteção do condutor pelo disjuntor, e a coordenação deste com o fusível.
- Justifique a existência de proteção de "backup" e a seletividade.



**Exercício 1.4**

Usando o gráfico da Figura 1.1, onde aparece a curva tempo x corrente de um disjuntor “no-fuse” genérico, responda:

- O que representa cada uma das regiões (1 e 2) indicadas no gráfico;
- Qual é o mecanismo de funcionamento do disjuntor em cada uma destas regiões;
- O que representam as correntes 15 e 50 (A)?
- No caso de uma sobrecarga de 40 A, este disjuntor protegeria um cabo que estivesse operando inicialmente à temperatura de 25 °C, cuja capa suportasse uma temperatura máxima de 70 °C e que obedecesse à curva de elevação de temperatura dada abaixo?

$$\theta(t) = 0.07787I^2 \left( 1 - e^{-\frac{t}{74}} \right) \quad (s, ^\circ C)$$

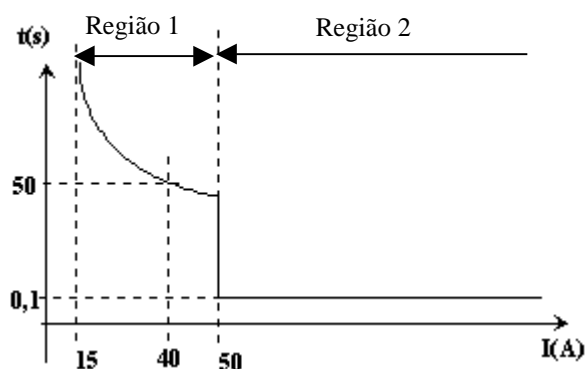


Figura 1.1 - Curva tempo x corrente de disjuntor

Resposta:

- d) Após 50 s, tem-se:  $T_{cond} = 25 + 61.20 = 86.20^\circ C > 70^\circ C$  ∴ o disjuntor **não** protege.

**Exercício 1.5**

Um condutor se aquece a 45 °C quando percorrido por corrente de 65 A, com temperatura ambiente de 20 °C. Determine a corrente admissível do condutor, supondo que a capa de proteção é de PVC (temperatura máxima de 70 °C).

Resposta:  $65\sqrt{2} = 91,924$  A.

**Exercício 1.6**

Um condutor possui corrente admissível de 50 A, para temperatura ambiente de 20 °C e temperatura máxima do condutor igual a 70 °C. A constante de tempo térmica do condutor é de 1 minuto. Pede-se:

- determinar a temperatura máxima que esse condutor alcançará quando submetido ao ciclo de carga representado na Figura 1.2 (considere que o condutor está à temperatura ambiente em  $t = 0$ );
- estimar o novo valor de corrente do ciclo (em lugar de 50 A) que faz com que, após muito tempo, o condutor atinja 70 °C ao fim do período de aquecimento.

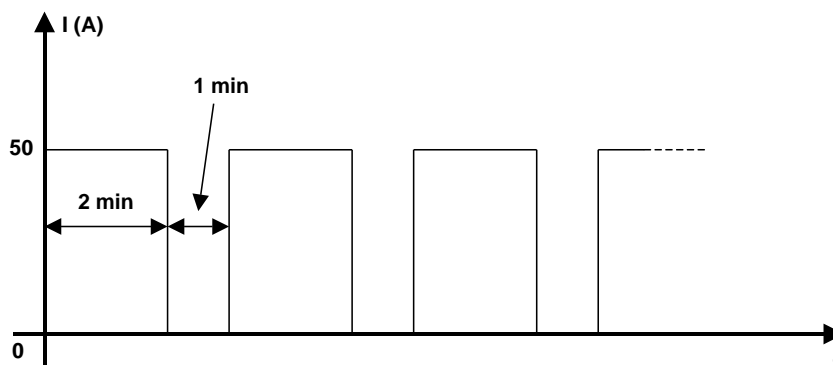


Figura 1.2 - Ciclo de carga

Resposta:

- a) 65,499 °C;
- b) 52,415 A.

## 2. FORNECIMENTO E TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

### Exercício 2.1

- a) Desenhe os esquemas de ligação dos enrolamentos secundários dos transformadores de distribuição em cada um dos três sistemas mais utilizados:
- Delta com Neutro;
  - Estrela com Neutro;
  - Estrela sem neutro.
- b) Há 5 tipos de atendimento ao consumidor secundário (A, B, C, D e E). Dê a configuração de fios ( $n^\circ$  de fases e neutro) que o consumidor recebe em cada um desses tipos de ligação.
- c) Quais os níveis de tensão normalmente empregados na distribuição em baixa tensão no Brasil? (indique  $V_{linha}/V_{fase}$ ).

### Exercício 2.2

Um consumidor industrial que apresentava a curva de demanda diária mostrada na Figura 2.1 (a), mediante uma modificação dos procedimentos de produção, conseguiu alterá-la para a curva mostrada na Figura 2.1 (b).

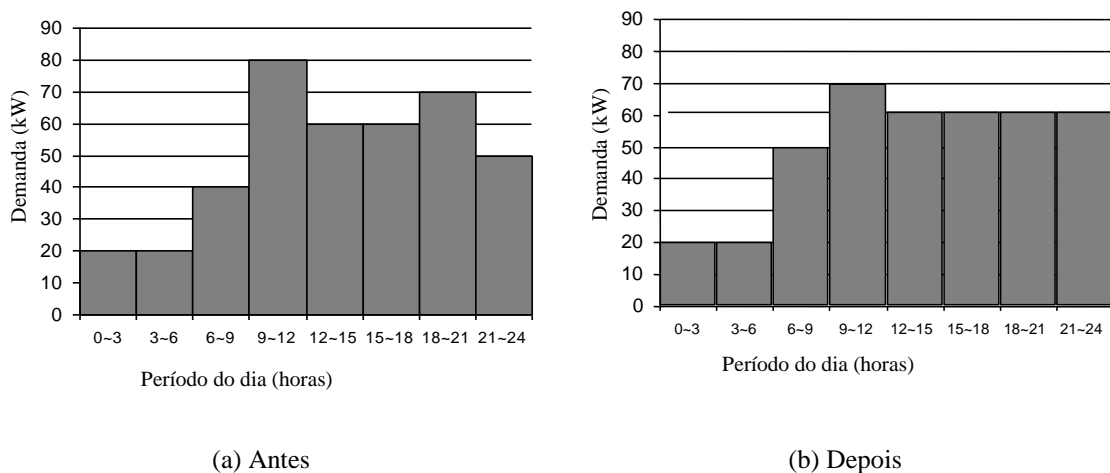


Figura 2.1 - Curvas de carga

Pede-se:

- a) Para cada uma das duas curvas acima determine a demanda máxima ( $D_{max}$ ) e a energia consumida em um mês ( $E_m$ ) (considerando mês de 30 dias úteis).
- b) Determine o valor da fatura mensal da situação inicial deste consumidor (curva da Figura 2.1 (a)) caso ele pague uma tarifa Binômia Verde em que: Custo de energia:  $C_{en} = 82,00$  R\$/MWh e Custo da Demanda Máxima:  $C_{dem} = 5,80$  R\$/kW no mês.
- c) Determine o valor da fatura mensal da situação final deste consumidor (curva da Figura 2.1 (b)) caso ele pague a mesma tarifa Binômia Verde do item anterior.

Resposta:

- a) Antes: 80 kW , 36000 kWh ; Depois: 70 kW , 36000 kWh;  
 b) R\$ 3.416,00;

c) R\$ 3.358,00.

### Exercício 2.3

Para a curva de demanda diária dada a seguir de um consumidor alimentado em 13,8 kV, determinar:

Horário (h)	Demanda – úmido (kW)	Demanda – seco (kW)
0-6	80	60
6-12	120	100
12-14	100	80
14-18	140	120
18-21	170	150
21-24	80	60

- a) qual é a tarifa mais adequada nestas condições;  
 b) proponha um rearranjo na curva de demanda que permita alcançar um custo menor que o obtido no item anterior mantendo a energia consumida.

O período de pico está entre 17 e 20 h. Os meses do período úmido vão de novembro a abril. Considerar a seguinte quantidade de dias para cada mês : janeiro: 31, fevereiro: 28, março: 31, abril: 30, maio: 31, junho: 30, julho: 31, agosto: 31, setembro: 30, outubro: 31, novembro: 30, dezembro: 31.

#### Tarifa Convencional

$C_{dem}$ : 5,69 R\$/kW no mês

$C_{en}$ : 83,35 R\$/MWh

#### Tarifa Verde

$C_{dem}$ : 5,01 R\$/kW no mês

$C_{en}$  na ponta do período seco: 446,49 R\$/MWh

$C_{en}$  na ponta do período úmido: 439,16 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período seco: 46,91 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período úmido: 41,46 R\$/MWh

#### Tarifa Azul

$C_{dem}$  na ponta: 15,05 R\$/kW no mês

$C_{dem}$  fora de ponta: 5,01 R\$/kW no mês

$C_{en}$  na ponta do período seco: 98,68 R\$/MWh

$C_{en}$  na ponta do período úmido: 91,32 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período seco: 46,91 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período úmido: 41,46 R\$/MWh

Resposta:

- a) Tarifa Convencional: R\$ 86.008,98 por ano (mais conveniente);  
 Tarifa Verde: R\$ 114.635,58 por ano;  
 Tarifa Azul: R\$ 86.432,48 por ano.

### Exercício 2.4

Dada a curva de demanda diária de um consumidor em 13,8 kV a seguir, nas seguintes condições:

- a) A curva é a mesma para todos os dias úteis;  
 b) O consumo nos fins de semana é desprezível;  
 c) O período de pico está entre 18 e 21 h;  
 d) Os meses do período úmido vão de dezembro a abril;  
 e) Considerar que todos os meses têm 30 dias (22 dias úteis mais 8 dias em fins de semana);  
 f) Considerar que não há feriados,

Pede-se preencher a Tabela 2.1 e determinar qual a tarifa mais adequada, se a Convencional ou a Verde.

Tabela 2.1 - Energia e demanda máxima mensais

Parâmetro	Período Seco	Período Úmido
Energia Consumida fora da ponta (kWh)		
Energia Consumida na ponta (kWh)		
Energia Consumida Total (kWh)		
Demanda máxima (kW)		

Dados:

Tarifa Convencional

$C_{dem}$ : 5,69 R\$/kW no mês

$C_{en}$ : 83,35 R\$/MWh

Tarifa Verde

$C_{dem}$ : 5,01 R\$/kW no mês

$C_{en}$  na ponta do período seco: 446,49 R\$/MWh

$C_{en}$  na ponta do período úmido: 439,16 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período seco: 46,91 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período úmido: 41,46 R\$/MWh.

Curva de Demanda (ou Curva de Carga)

Horário (h)	Demanda – período úmido (kW)	Demanda – período seco (kW)
0-6	90	70
6-12	110	100
12-15	120	90
15-18	140	130
18-21	180	160
21-24	90	70

Resposta:

Tarifa Convencional: R\$ 67.495,00 por ano (mais conveniente);

Tarifa Verde: R\$ 93.125,82 por ano.

**Exercício 2.5**

Considerando um consumidor industrial que apresenta um consumo diário que varia da seguinte maneira:

das 0h às 6h: S = 1000 kVA;  
das 6h às 9h: S = 2000 kVA;  
das 9h às 12h: S = 5000 kVA;  
das 12h às 15h: S = 8000 kVA,  
das 15h às 18h: S = 12000 kVA;  
das 18h às 21h: S = 4000 kVA e  
das 21h às 24h: S = 2000 kVA.

(Considere  $\cos \phi = 0.95$  em todos os períodos).

Pede-se:

- a) Desenhar a curva de carga diária deste consumidor;
- b) Determinar sua demanda máxima e a energia consumida por ele em um mês (considerando mês de 30 dias e que a curva diária é a mesma para todos os dias do mês);
- c) Determinar o valor da fatura mensal deste consumidor caso ele pague uma tarifa em que:  $C_{en} = 4,35$  R\$/MWh e  $C_{dem} = 3,00$  R\$/kW no mês.

Resposta:

- b)  $D_{max} = 11.400$  kW ;  $E_{mensal} = 2.992.500$  kWh;
- c) R\$ 47.217,38.



### 3. MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUÇÃO

#### Exercício 3.1

Dado um motor de indução trifásico de seis terminais numerados de 1 a 6, pede-se:

- Faça esquema das ligações para partida através de chave estrela-triângulo;
- Indique a seqüência das operações de partida;
- Que ligações o operador deve fazer para conectar os terminais do enrolamento rotórico para poder partir o motor?
- Como inverter a rotação do motor de indução trifásico?

#### Exercício 3.2

Explique:

- O princípio de funcionamento do campo girante trifásico.
- O que é velocidade síncrona?
- O que é escorregamento?
- O funcionamento do motor de indução trifásico.
- Desenhe uma curva característica torque vs. velocidade de um motor de indução trifásico indicando seus pontos notáveis.
- O que é potência nominal do motor de indução? Quais são suas unidades usuais?

#### Exercício 3.3

Um motor de indução trifásico tem os seguintes dados de placa:

- potência nominal: 20 HP
- tensão nominal: 220 V
- freqüência nominal: 60 Hz
- rotação nominal: 1776 RPM
- fator de potência nominal: 0,88 indutivo
- rendimento nominal: 0,87.

Sabe-se que está funcionando a plena carga, nas condições nominais. Pede-se calcular:

- escorregamento;
- número de polos;
- corrente absorvida da rede;
- potências ativa, reativa e aparente;
- se alguém disser que a potência aparente é igual a 20 kVA (isto é, igual numericamente à potência mecânica nominal), que erro estará cometendo?

Resposta:

- 1,333 %;
- 4 polos;
- 51,143 A;
- 17.149 W , 9.257 VAr , 19.488 VA;
- A corrente será 52,486 A (erro de 2,63 %). Esta aproximação é usual quando não se conhece o fator de potência nem o rendimento do motor. Com a aproximação, o erro será zero quando  $\frac{0,746}{\cos \varphi \cdot \eta} = 1$ .

**Exercício 3.4**

Um motor síncrono trifásico, 50 HP, 380 V, é alimentado por um transformador trifásico de relação de transformação igual a 34,5 e de tensão secundária nominal igual a 400 V. O motor opera com carga nominal, com rendimento igual a 74,6% e fator de potência igual a 0,5 indutivo, sendo alimentado com tensão nominal.

Sabendo que  $1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$ , responda:

- Qual a corrente solicitada pelo motor?
- Qual é tensão nominal primária do transformador?
- Quais são a tensão e a corrente de alimentação primárias do transformador?

Resposta:

- 151,934 A;
- 13800 V;
- 13110 V e 4,404 A.

**Exercício 3.5**

Um motor de indução trifásico com rotor em gaiola possui um único enrolamento por fase, tensão nominal por enrolamento igual a 220 V, todos os terminais dos enrolamentos do estator disponíveis e, em partida direta, conjugado de partida igual a 50 Nm. Com relação a esse motor, responda:

- A partida estrela-triângulo é adequada ao acionamento desse motor se a fonte trifásica de alimentação possuir tensão nominal igual a 380 V? Por que?
- Qual será o conjugado de partida do motor se ele for acionado por uma chave compensadora que lhe forneça 60% da tensão nominal na partida?

Resposta:

- Não; este motor só pode operar com as fases ligadas em estrela.
- 18 Nm.

**Exercício 3.6**

Um motor de indução trifásico tem os seguintes dados nominais:

- Tensão nominal: 220 V
- Potência nominal: 10 HP
- Fator de potência: 0,88 indutivo
- Rendimento: 0,90
- Rotação nominal: 1.720 RPM
- Frequência nominal: 60 Hz

Esse motor está funcionando nas condições nominais. Calcular:

- Corrente.
- Potências ativa, reativa e aparente.

Resposta:

- 24,719 A;
- 8289 W , 4474 VAR , 9419 VA.

**Exercício 3.7**

Um motor trifásico de indução, alimentado com tensão nominal na frequência de 60 Hz, fornece conjugado máximo quando  $N_{crit} = 720$  rpm. Sabendo-se que, ao acionar uma certa carga mecânica, este motor gira a uma velocidade de 855 rpm, determinar:

- A velocidade síncrona do motor em rad/s ( $\omega_s$ );
- O número de pares de pólos ( $p$ ) do motor;
- O escorregamento ( $s$ ) nessas condições;
- O que aconteceria ao motor, numa outra condição de equilíbrio (conjugado motor = conjugado de carga) em que  $s < 720$  rpm?

Resposta:

- 94,248 rad/s;
- 4 pares de polos;
- 5%;
- Para pontos à esquerda de  $C_{max}$ , o equilíbrio é instável.

**Exercício 3.8**

Um motor de indução trifásico foi construído com 3 bobinas, 6 terminais, cada bobina projetada para 220 V. A Figura 3.1 mostra a curva de torque vs. rotação deste motor. Esta curva foi obtida com as bobinas do estator ligadas em delta ( $\Delta$ ) e tensão da alimentação trifásica de 220 V em 60 Hz. Podem ser acopladas ao motor acima descrito três diferentes cargas mecânicas (a, b e c), cujas curvas características de torque vs. rotação também são mostradas na mesma figura.

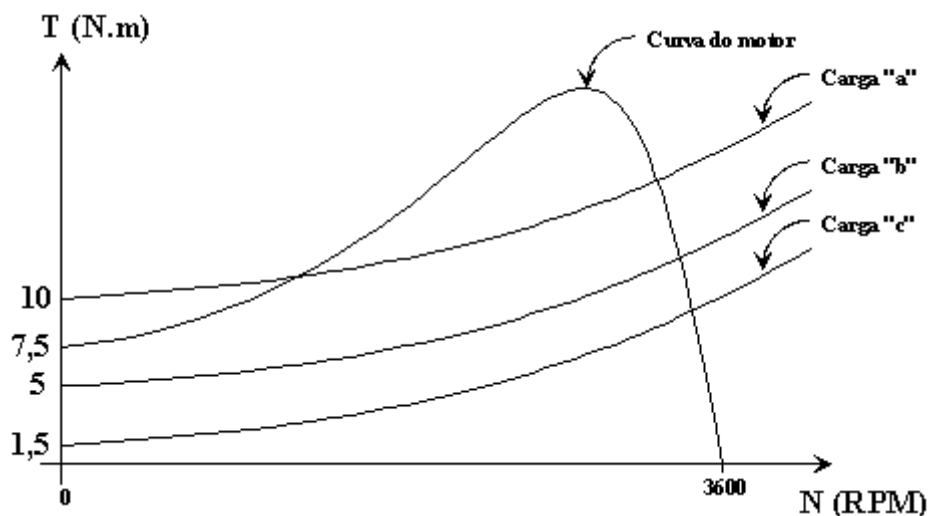


Figura 3.1 - Curvas torque vs. rotação

Pede-se:

- Dar o esquema com a numeração dos terminais e ligações do motor para operar delta ( $\Delta$ );
- Dar o esquema com a numeração dos terminais e ligações do motor para operar em estrela (Y);
- Qual (ou quais) das três cargas o motor pode partir ligado em  $\Delta$ ? Por que?
- Qual (ou quais) das três cargas o motor pode partir ligado em Y? Por que?

Resposta:

- c) Cargas (b) e (c):  $C_{p_{motor}} > C_{p_{carga}}$ ;  
 d) Carga (c):  $C_{p_{motor}} = 2,5 \text{ Nm} > C_{p_{carga}} = 1,5 \text{ Nm}$ .

### Exercício 3.9

Um motor de indução trifásico foi construído com 3 bobinas, 6 terminais, cada bobina projetada para 220 V. A Figura 3.2 mostra a curva de conjugado vs. rotação deste motor .

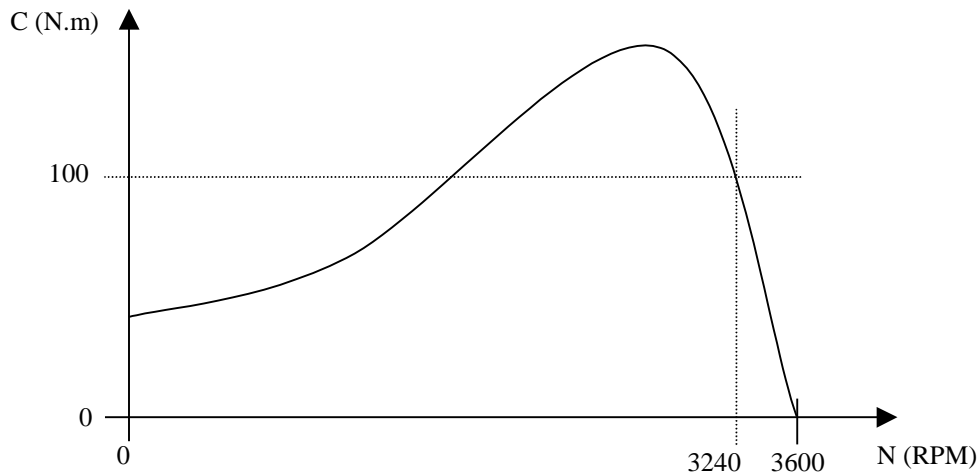


Figura 3.2 - Curva torque vs. rotação

Esta curva foi obtida com as bobinas do estator ligadas em delta ( $\Delta$ ) e tensão da alimentação trifásica de 220 V em 60 hz. Para velocidades maiores que 3240 RPM pode-se considerar que o rendimento deste motor é igual a 0,92 e seu fator de potência é igual a 0,85 indutivo. Quando se acopla uma certa carga mecânica ao eixo deste motor ele passa a girar numa velocidade  $N_1$  correspondente a um escorregamento de 2%.

Pede-se:

- Quantos pares de pólos tem este motor?
- Qual é a velocidade  $N_1$  ?
- Qual é o conjugado  $C_1$  na velocidade  $N_1$ ?
- Qual é a potência elétrica absorvida pela máquina nas condições do item (c)?
- Qual é a corrente de linha absorvida pelo motor nas condições do item (c)?

#### **IMPORTANTE:**

- Para  $N > 3240 \text{ rpm}$ , considere que a curva de conjugado é linear;
- Despreze a corrente em vazio do motor.

Resposta:

- 1 par de polos;
- 3528 rpm;
- 20 Nm;
- 8032 W;
- 24,797 A.