



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Departamento de Engenharia Electrotécnica

GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (MIEEC / MEER)

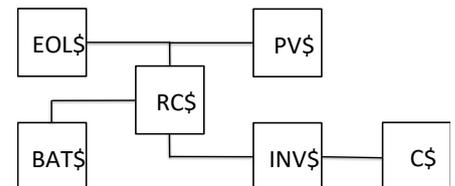
PROBLEMAS SELECIONADOS (2018/2019)

João Martins
DEE – FCT/UNL
(jf.martins@fct.unl.pt)

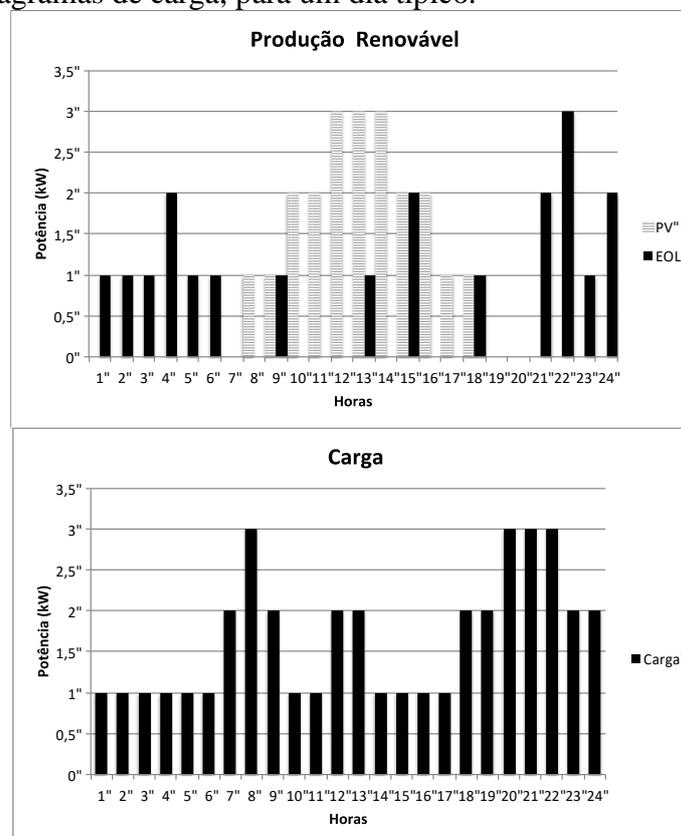
Problema 1

Considere uma instalação isolada (ver figura) na qual se instalou um sistema de microgeração constituído pelos seguintes equipamentos:

- EOL: Gerador eólico, 5 kW
- PV: Painéis fotovoltaicos, 3,6 kW
- Regulador de carga: rendimento de 90%
- Baterias: 24Vdc, profundidade de carga máxima igual a 70%



Considere os seguintes diagramas de carga, para um dia típico.



- Admitindo um dimensionamento para um máximo de 4 dias sem recursos renováveis, determine a capacidade do banco de baterias.
- Assumindo que as baterias se encontravam descarregadas no início do dia, a que hora do dia a instalação não poderia ser alimentada?
- Considere agora que o sistema fotovoltaico é ligado à rede ao abrigo de um contrato de fornecimento de microgeração. O tarifário de compra para os dois períodos é, respetivamente, de 196€/MWh e 165€/MWh. Os custos acumulados de um sistema solar térmico, de instalação e licenciamento valem 2500€. Os custos de manutenção anual valem 150€ e a poupança energética devida ao sistema solar térmico vale 100€/ano. Admita que a produção diária fotovoltaica pode ser aproximada pelo gráfico de produção anterior, ao longo de todo o ano. Qual o custo máximo dos painéis fotovoltaicos, por forma a que o sistema não dê prejuízo durante um tempo de vida útil de 15 anos.

Problema 2

Considere uma instalação monofásica, alimentada por um transformador de 630kVA, com duas cargas importantes:

- $P_1=450\text{kW}$
 - $\cos \varphi = 0,8$ (ind)
 - $P_2=100\text{kW}$
 - $\cos \varphi = 0,7$ (ind)
- a) Especifique uma bateria de condensadores (compensação global) por forma a que o transformador não se encontre em sobrecarga.
- b) Quais as alterações se se desejasse efetuar uma compensação total? E uma compensação tarifária ($\text{tg } \varphi = 0,4$)?

Problema 3

Considere uma instalação monofásica, alimentada por um transformador de 630kVA (230V; $U_c=10\%$). A instalação tem uma carga importante: $P=500\text{kW}$; $\cos \varphi = 0,75$ (ind). Considere uma compensação de energia reativa local (junto à carga).

- Especifique a bateria de condensadores.
- Qual a reserva de potência no transformador após compensação tarifária ($\text{tg } \varphi = 0,4$)?
- Qual a diminuição percentual de perdas nos cabos de alimentação?
- Para esta instalação seria necessária alguma medida adicional?

Problema 4

Considere uma empresa que consome apenas energia elétrica e funciona 365 dias por ano. A instalação elétrica na fábrica é trifásica 400/230 Vac (50 Hz). Apresenta-se de seguida o respetivo diagrama de carga diário, onde todos os consumos se podem considerar constantes ao longo de cada hora. Admita $\text{tg}(\varphi)=0,4$ como o limite estabelecido para o pagamento da energia reativa consumida, sendo que o custo da mesma vale 0,0184€/KVar.

Hora	Potência Activa (kW)					Potência Reactiva
	Iluminação	Força motriz	Aquecimento	Outros	Total	
1	20	0	0	5	25	0
2	20	0	0	5	25	0
3	20	0	0	5	25	0
4	20	0	0	5	25	0
5	20	0	0	5	25	0
6	60	0	0	10	70	0
7	70	0	0	10	80	0
8	70	300	0	25	395	120
9	60	300	0	25	385	120
10	50	300	80	25	455	204
11	50	300	80	25	455	204
12	50	300	80	15	445	204
13	100	60	160	35	355	216
14	100	408	160	35	703	420
15	100	408	160	35	703	420
16	100	408	160	35	703	420
17	90	408	160	35	693	420
18	80	108	0	25	213	60
19	80	108	0	25	213	60
20	70	108	0	25	203	60
21	50	108	0	10	168	60
22	20	0	0	5	25	0
23	20	0	0	5	25	0
24	20	0	0	5	25	0

- Caso não exista compensação do fator de potência, qual o valor diário de energia reativa pago ao fornecedor de energia.
- Especifique a bateria de condensadores trifásica (em termos de potência) a instalar na origem da instalação, para efetuar a compensação do consumo de energia reativa. Esta compensação deverá evitar o pagamento de energia reativa ao distribuidor de energia elétrica.
- Assumindo que o anterior banco de condensadores custa 12000€, determine o seu período simples de amortização.

Problema 5

Pretende-se compensar o consumo de energia reativa um motor monofásico (30kW; 0,65; 90%). Determine a potencia da bateria de condensadores considerando uma compensação local e total.

Problema 6

Considere uma unidade fabril, onde se pretende colocar uma bateria de condensadores junto a motor de grande potencia (compensação local). Os dados do motor são:

- $P_{electrica}=100kW$
- O motor funciona todo o ano
- Nos dias uteis funciona a plena carga (100kW) entre as 9 e as 19, e a meia carga (50kW) entre as 19 e as 24.
- O fator de potencia depende do regime de carga: 0,85 para plena carga e 0,73 para meia carga
- O preço da energia reativa fornecida é de 0,0184€/kWhr

Determine a potencia da bateria de condensadores a instalar, por forma a que seja evitada a faturação de energia reativa. Qual o período de retorno do investimento?

Pot (kVAr)	15	17,5	20	25	27,5	30
Preço (€)	932	974	1010	1052	1186	1226

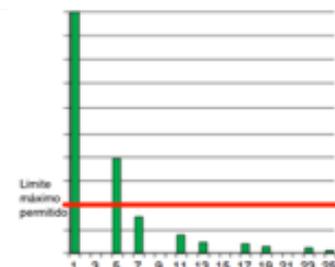
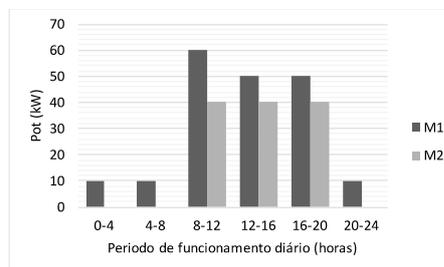
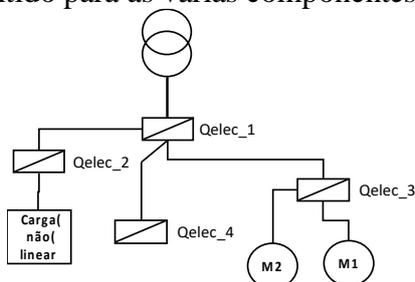
Problema 7

Uma empresa consome apenas energia elétrica e funciona 365 dias por ano, consumindo um total anual de 1658620 kWh de energia elétrica. Todos os motores são trifásicos. A instalação elétrica na fábrica é trifásica 400/230 Vac (50 Hz). A potência elétrica instalada é de 2000 kW. Apresenta-se de seguida o respetivo consumo horário de energia reativa (kVAr), ao longo de um dia. Determine a potência da(s) bateria(s) de condensadores, por forma a efetuar uma compensação global e total do fator de potência da instalação.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	0	10	10	17	17	17	17	18	35	35	35	35	5	5	5	5	0	0

Problema 8

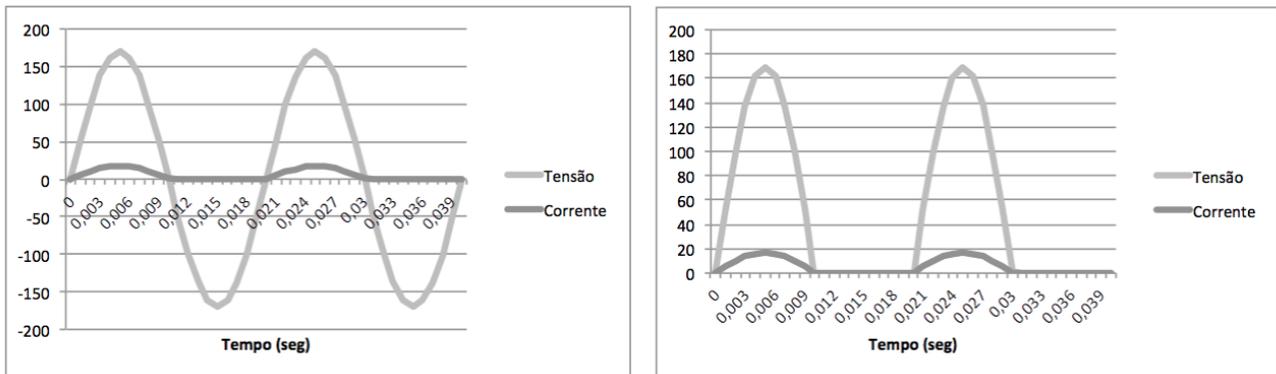
Considere uma fábrica que tem o diagrama de distribuição elétrica apresentado. O transformador tem as seguintes características: 15/0,4kV; 160 kVA; 50Hz. O motor M1 tem as seguintes características: $P_1=60kW$, $FP_1=0,85$. O motor M2 tem as seguintes características: $P_2=40kW$; $FP_2=0,7$. O diagrama diário de funcionamento de ambos os motores é o apresentado. Considere ainda que a carga não linear possui o conteúdo harmónico apresentado na figura, onde está também indicado o limite máximo permitido para as várias componentes harmónicas.



- Determine a potência de uma bateria de condensadores, por forma a efetuar uma compensação total do fator de potência dos dois motores M1 e M2.
- Indique, justificando, em que quadro elétrico deve ser colocada a anterior bateria de condensadores.
- Calcule a reserva de potência do transformador, antes e depois de efetuada a anterior compensação.
- Indique qual o valor da tensão de curto circuito do transformador (em percentagem) que pode originar problemas de ressonância harmônica com a bateria de condensadores. Para tal considere o conteúdo harmónico da carga não linear apresentado, bem como o respetivo limite máximo permitido.

Problema 9

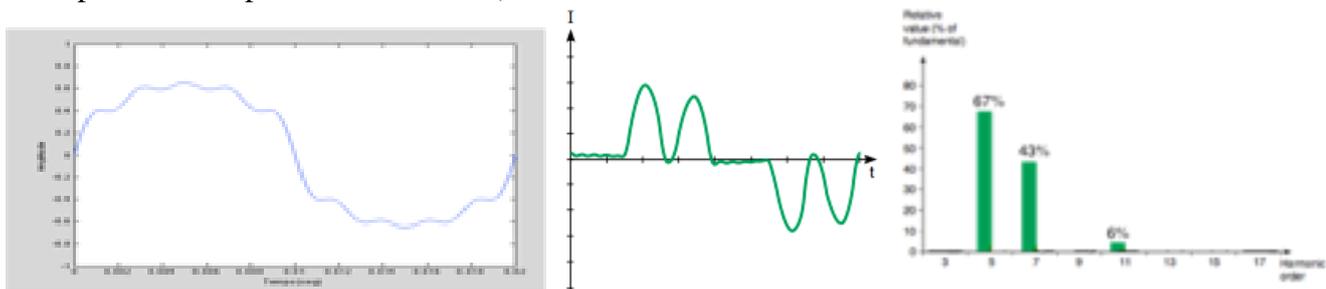
Uma das cargas não lineares (responsáveis por elevado conteúdo harmónico) presentes na fabrica é constituída por um rectificador monofásico de retorno pelo neutro (não controlado) que alimenta uma carga resistiva de 10Ω . A fonte de alimentação deste rectificador (considerada não distorcida) apresenta um valor eficaz de 120V e uma frequência de 50Hz. As duas figuras seguinte apresentam a tensão e a corrente, respetivamente na fonte e na carga.



- Determine o fator de potência à entrada do conversor.
- Sabendo que o valor da defasagem da primeira harmónica da corrente na fonte é nulo determine o valor eficaz da referida primeira harmónica da corrente na fonte.
- Determine a taxa de distorção harmónica da corrente pedida à fonte.

Problema 10

inda na mesma empresa, foi colocado um osciloscópio para analisar as grandezas eléctricas no ponto de alimentação da fabrica, apresentando-se na figura 1 a forma de onda da tensão de alimentação. A figura 2 apresenta a corrente medida no quadro QFM_2 e a figura 3 o seu respetivo espectro harmónico (onde não está apresentada a primeira harmónica).



- Por análise da figura 1 o que se pode concluir quanto à existência de harmónicas na rede de energia eléctrica do fornecedor?
- Relativamente ao quadro QFM_2 sabe-se que o valor eficaz da quinta harmónica corresponde a 17,7A, determine a taxa de distorção harmónica introduzida pelos equipamentos alimentados por esse quadro.

Problema 11

Considere uma fabrica de moveis de madeira cuja energia consumida é exclusivamente elétrica A instalação na fábrica é 400/230 Vac (50 Hz), sendo alimentada por um transformador EFACEC (630kVA) cujo catálogo se apresenta na tabela seguinte. As duas cargas mais importantes correspondem a dois motores de indução trifásicos com as seguintes características: 250 kW (FP=0,7) e 250 kW (FP=0,75).

Potência / Rated power	kVA	230	277	400	300	430
Perdas em vazio / No-load losses	W	810	950	1150	1360	1600
Perdas em carga / Load losses (75 °C)	W	3670	4180	5400	6100	6200
Perdas em carga / Load losses (120 °C)	W	4190	4720	6150	6950	7080
Tensão curto-circuito / Impedance voltage (120 °C)	%	6	6	6	6	6
Potência sonora / Sound power level (L _{max})	dB(A)	70	73	73	75	75

- Calcule o valor mínimo (kVAr) da bateria de condensadores a instalar por forma a reduzir o fator de potencia global para 0,93.
- Após a anterior compensação de fator de potência qual a nova reserva de potência do transformador (kVA)?
- Foi medida a corrente total absorvida com dois amperímetros distintos: um de resposta média e outro de verdadeiro valor eficaz (true-RMS). O amperímetro de resposta média registou 315 A e o amperímetro True-RMS registou 420 A. Justificando, explique se estamos perante a presença de harmónicas na instalação.
- Atendendo ao transformador instalado qual dos seguintes filtros passivos escolheria para evitar o perigo de ressonância? Filtro A: C=1µF + L=1,12H; Filtro B: C=0,5µF + L=1,62H; Filtro C: 1µF + L=0,4H.
- Utilizando um analisador de energia de verificou-se que a defasagem entre a primeira harmónica da corrente total absorvida e a tensão de alimentação vale 18° (atraso). Foram medidas as potências ativa e aparente, cujos valores registados foram 515 KW e 550 KVA, respetivamente. Além disso o valor eficaz da corrente de alimentação (medida com um amperímetro True-RMS) vale 806 A. Determine a taxa de distorção harmónica da corrente.

Problema 12

Dois circuitos de alimentação de força motriz, nomeadamente de dois motores de 10 e 5 kW, foram alvo de particular atenção numa auditoria efetuada, nomeadamente no que se refere ao conteúdo harmónico das correntes de alimentação. Para tal mediu-se a corrente em ambos os circuitos com dois amperímetros distintos: um de resposta média e outro de verdadeiro valor eficaz (true-RMS). Os resultados obtidos apresentam-se na tabela abaixo.

	Motor A - 10kW	Motor B - 5kW
Amperímetro Resposta Média	12,7 A	6,0 A
Amperímetro True-RMS	16,2 A	6,2 A

- Perante estes dados, indique explicando qual dos motores introduz maior conteúdo harmónico.
- A distorção harmónica do motor de 10 KW foi estudada com mais profundidade. Para tal utilizou-se um analisador de energia de verificou-se que a defasagem entre a primeira harmónica da corrente absorvida pelo motor e a tensão de alimentação vale 32° (atraso). Foram medidas as potências ativa e aparente, cujos valores registados foram 14,7 KW e 17,5 KVA, respetivamente. Determine a taxa de distorção harmónica da corrente de alimentação deste motor.

Problema 13

Considere que um dos motores convencionais da fábrica apresenta as seguintes características: 35CV; 400V; 50A; 50Hz; 2980rpm. Este motor funciona 8 horas por dia, à carga nominal. Sabe-se que apenas 80% da potência total entregue ao motor é utilizada para gerar trabalho, e que este aciona a sua carga através de uma caixa redutora de velocidade com uma redução de 5 vezes e um rendimento de 89%. Este motor é alimentado por um variador eletrónico de velocidade (de rendimento 95%), cuja taxa de distorção harmónica imposta às suas correntes de alimentação vale 15% (em regime nominal) e que o valor eficaz da primeira harmónica dessas correntes vale 49 A (também em regime nominal).

- Determine o rendimento nominal do conjunto motor+caixa.
- Qual a desfazagem entre a tensão de alimentação do eletrónico de velocidade, e a respetiva primeira harmónica de corrente.
- Em caso de avaria do anterior motor, a sua substituição custará 6000 euro. Um motor de elevado rendimento equivalente tem um rendimento de 92%. Caso se opte pela aquisição de um motor de elevado rendimento, determine o preço máximo do motor de elevado rendimento que o torna a sua aquisição competitiva face ao motor convencional, para um tempo de amortização do investimento igual a 3 anos (considere um cálculo económico simples).

Problema 14

Considere uma empresa que produz os seguintes artigos de cortiça:

Aglomerado negro de cortiça ($k=50$ kgep/m³) : Produção anual = 1800 m³

Aglomerado branco de cortiça ($k=120$ kgep/m³) : Produção anual = 1500 m³

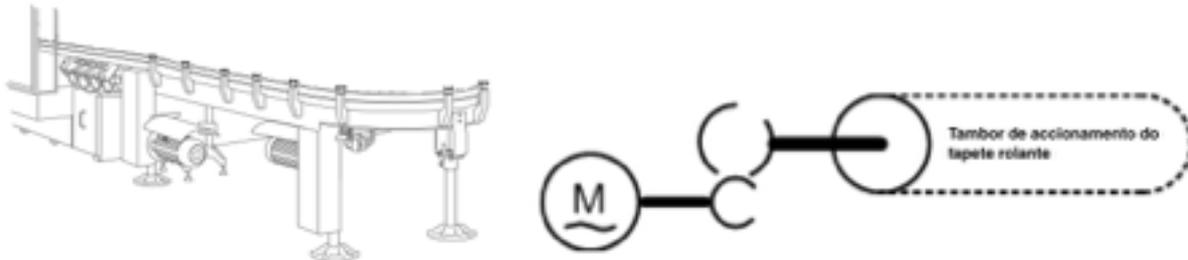
Esta empresa consome apenas energia elétrica (1658620 kWh por ano) e funciona 365 dias por ano. A instalação elétrica na fábrica é trifásica 400/230 Vac (50 Hz). Apresenta-se de seguida as especificações de um dos seus motores.

Motor da ponte	Caixa redutora de velocidade
Potência nominal: 30 kW	Redução: 10 vezes
Tensão nominal: 400 V	Rendimento: 90 %
Corrente nominal: 65 A	
Frequência nominal: 50 hz	
Velocidade nominal: 2980 rpm	
Rendimento: 85 %	
Regime de carga: 10 horas por dia a 80% da potência nominal	

Em caso de avaria do motor da ponte (motor convencional), a sua substituição custará 6000 euro. Um motor de elevado rendimento equivalente tem um rendimento de 92%. Caso se opte pela aquisição de um motor de elevado rendimento, determine o preço máximo do motor de elevado rendimento que o torna a sua aquisição competitiva face ao motor convencional, para um tempo de amortização do investimento igual a 3 anos (considere um cálculo económico simples). Considere o preço da energia ativa consumida igual a 0,12 €/KWh.

Problema 15

Considere uma fabrica, sujeita a um processo de auditoria, onde a rede elétrica BT apresenta 400V/50Hz. Nessa fabrica existe uma linha de montagem acionada por um motor de indução através de uma caixa redutora de velocidade.



O motor tem uma placa de características que já foi parcialmente apagada (como se pode verificar na figura seguinte).

MOTOR			
ORD NO.	1LAC20041E41	FR	
TYPE	RGZESD	FRAME	286T
H. P.	6.8	EFFICIENCY	0.85
AMPS		VOLTS	400
R.P.M.	727.5	HEAVY	
DUTY	CONT	TEMP	40°C
CLASS	F	INSUL	E
SP. END	5000	WIND	9.16
REV.		TYPE	EV9C03JPP3
		MADE IN	U.S.A.

A caixa redutora de velocidade tem uma relação 1:60 e um rendimento de 80%. Para fazer deslocar o tapete rolante nas condições especificadas, é necessário que no tambor de accionamento se tenha um binário igual a 3000 Nm e uma velocidade de rotação igual a 10 rpm. O tapete funciona, todo o ano, nestas condições durante 10 continuas horas por dia.

- Para as condições de funcionamento (no tambor) determine o binário, a velocidade e a potência mecânica no motor.
- Explique se o motor se encontra adequado ao accionamento?
- Sabendo que o motor apresenta um rendimento de 85%, determine a sua corrente nominal (apagada na placa)?
- Em caso de avaria do motor é colocada a hipótese de comprar um igual (900€, rendimento: 85%) ou substituí-lo por um motor de igual potência mas de elevado rendimento (1100€, rendimento: 92%). Caso a decisão seja a de adquirir um motor de elevado rendimento, qual o tempo de amortização? Considere as condições de funcionamento indicadas no enunciado e um calculo económico simples.
- Suponha agora que as condições de funcionamento se alteravam. As novas condições de funcionamento implicam as seguintes exigências no tambor do accionamento:
 - 4 horas diárias com binário igual a 3000 Nm e velocidade igual 2,5 rpm
 - 5 horas diárias com binário igual a 3000 Nm e velocidade igual a 10 rpm
 - 8 horas diárias com binário igual a 3000 Nm e velocidade igual a 5 rpm
 Nestas condições, e em caso de substituição pelo mesmo motor de elevado rendimento (1100€, rendimento: 92%), determine o tempo de amortização. Considere as condições de funcionamento indicadas no enunciado e um calculo económico simples.

Problema 16

Num motor de indução trifásico de rotor em gaiola de esquilo lêem-se, na chapa de características, os seguintes valores:

380V 50Hz $\text{rend}=90\%$ $\text{FP}=0,85$ 1440rpm 30kW 0,8 kgm² Triângulo

$I_{arr}=6I_{nom}$

$T_{arr}=T_{nom}$

Raio do rotor = 10 cm

Este motor aciona um monta-cargas através de uma caixa redutora de relação 20:1 e rendimento 95%, e de um tambor de enrolamento um raio igual a 20 cm.

- Determine o binário nominal do motor, a corrente nominal do motor e a velocidade nominal de ascensão do monta-cargas.
- Qual a velocidade do motor quando o monta-cargas eleva uma carga de 60 kg.
- Determine o rendimento de todo o sistema.

Problema 17

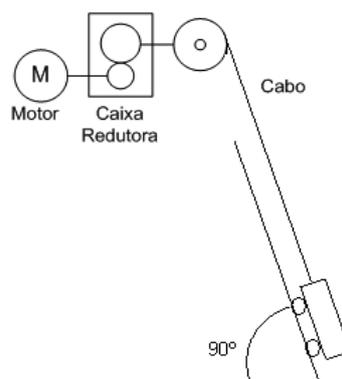
Considere um transportador elétrico acionado por intermédio de um motor de indução e de uma caixa redutora de velocidade. A massa total do veículo vale 600kg, a sua velocidade de deslocamento nominal 1m/s e a aceleração máxima permitida 0,5m/s². O diâmetro das rodas mede 200mm. O atrito viscoso pode ser considerado desprezável, mas o atrito estático vale 50N.

Das quatro hipóteses seguintes, qual a associação ‘motor+caixa’ que se adequa ao acionamento.

Opção	Motor								Caixa	
	P [W]	pólos	S_{nom} [%]	f [hz]	η [%]	$\cos \varphi$	T_{max} [N]	J [kgm ²]	i	η [%]
1	70	1 par	5	50	85	0,85	1,5	0,000352	30	80
2	50	1 par	5	50	80	0,85	1,5	0,00025	100	70
3	80	1 par	5	50	85	0,85	1	0,00043	30	80
4	100	1 par	5	50	90	0,85	2	0,00082	40	80

Problema 18

Considere o sistema de acionamento apresentado na figura. Este deve ser capaz de elevar uma carga de 22T a 0,1m/s. A caixa redutora de velocidade tem uma relação 50:1 e o conjunto caixa+roldana apresenta um rendimento de 90%.



- Considerando o conjunto de motores apresentado na tabela, escolha o motor adequado, calculando o binário de arranque à saída da caixa redutora.
- Admita que vinte destes sistemas se encontram numa fábrica, juntamente com um conjunto fornos de aquecimento que totalizam uma potência de 320kW, alimentada por uma subestação de distribuição de energia elétrica. Determine a corrente de regime permanente fornecida pela subestação, sabendo que as anteriores cargas correspondem a 83% da potência nominal da subestação.

Problema 19

Considere que o acionamento apresentado na figura utiliza um motor de indução trifásico de rotor em gaiola de esquilo, com os seguintes valores de catálogo:

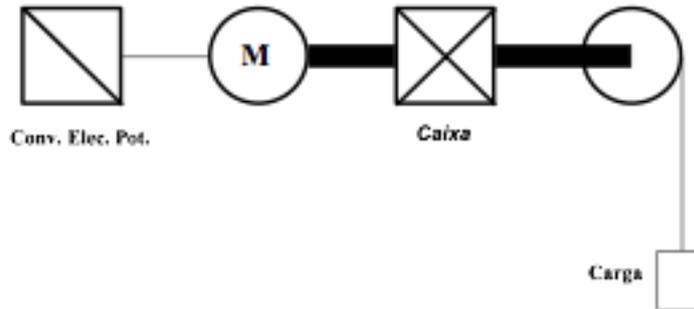
380V 50Hz Rend=90% FP=0,85 1440rpm 30kW 0,8 kgm² Triângulo

$I_{arr}=6I_{nom}$

$T_{arr}=T_{nom}$

Raio do rotor = 10 cm

A caixa redutora apresenta uma relação 20:1 e um rendimento de 90%, e o tambor de enrolamento um raio igual a 50 cm.



- Determine o binário e a corrente nominais do motor.
- Sabendo que a carga máxima pode pesar até 400kg e deslocar-se a uma velocidade máxima de 2m/s, será que este motor se adequa ao acionamento? Justifique.

Problema 20

Considere que um dos motores do QFM_1, motor standard (STD), avariou. Com os seguintes dados decida se decide repará-lo ou adquire um novo motor de elevado rendimento (EEM).

- 900 horas de funcionamento anual, a 75% do seu regime nominal
- Custo da energia elétrica: 0,1058 €/kWh
- Perda de 3% de rendimento na reparação
- Custo de reparação de um motor STD: 1200 euros
- Custo de um motor EEM com 85% de rendimento: 1600 euro