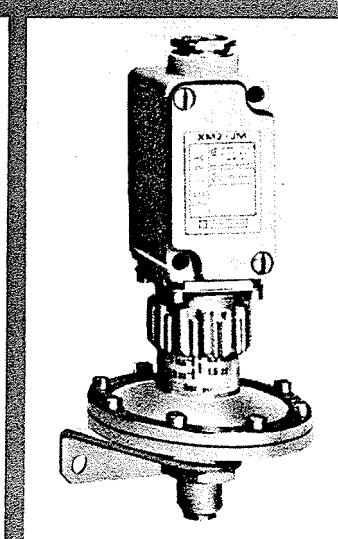
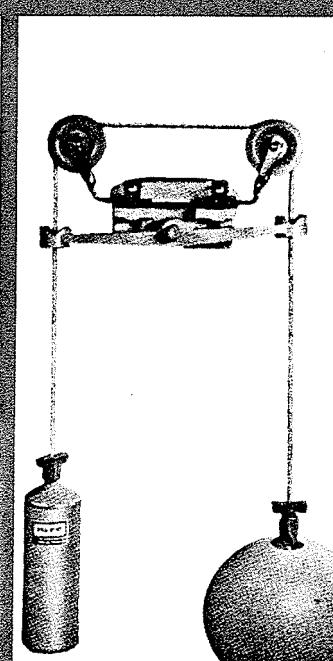
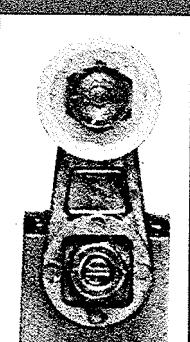
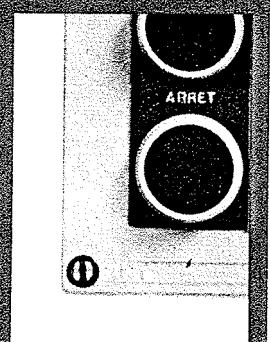
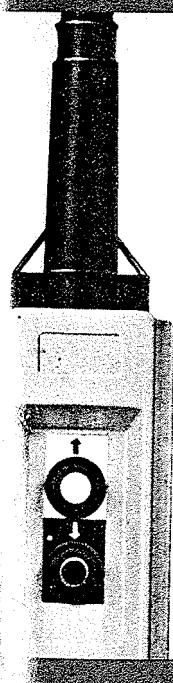
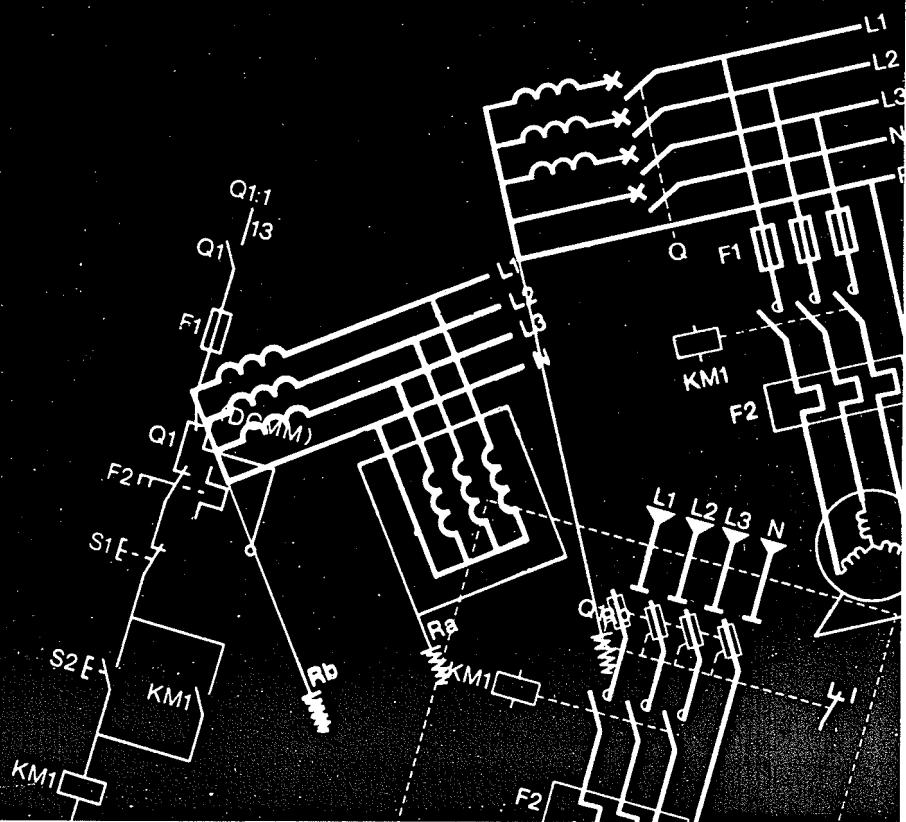


# AUTOMATISMOS INDUSTRIAS

## COMANDO E REGULAÇÃO



**DIDACTICA  
EDITORA**

7.ª edição DE - 1620 - 0793  
ISBN - 972 - 650 - 196 - 2  
tiragem 3 000 exemplares – Setembro de 1993  
direitos reservados © DIDÁCTICA EDITORA  
Av. Ilha da Madeira, 26 - A - 1400 LISBOA

**DISTRIBUIÇÃO: PLÁTANO EDITORA, SA**  
LISBOA: Rua João Ortigão Ramos, 29 - 29-B - Tel. 764 98 94 - 1500 LISBOA  
CENTRO: Estrada Nacional n.º 1 - 365 Pedrulha - Tel. 2 09 45 - 1300 COIMBRA  
NORTE: Alicerce Editora, Lda. - R. Guerra Junqueiro, 456 - Tel. 69 99 79 - 4100 PORTO

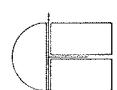
titulo AUTOMATISMOS INDUSTRIALIS – COMANDO E REGULAÇÃO  
autores JOSÉ VAGOS CARREIRA MATIAS  
LUDGERO PAULA NOBRE LEOTE  
capa e arranjo gráfico GABINETE GRÁFICO DA DIDÁCTICA EDITORA  
composição e montagem GRAFORIGEM – Artes Gráficas  
impressão e acabamento PERES - Artes Gráficas  
Venda Nova – Amadora  
Dep. Legal n.º 68670/93

**JOSÉ VAGOS CARREIRA MATIAS • LUDGERO PAULA NOBRE LEOTE**

**AUTOMATISMOS  
INDUSTRIAS  
COMANDO  
E REGULAÇÃO**

**EDIÇÃO REVISTA E AUMENTADA**

**DIDÁCTICA EDITORA**



## AO LEITOR

Sendo os automatismos industriais dispositivos que estão na ordem do dia, em qualquer pequena ou grande empresa, permitindo segurança e rapidez de actuação com o mínimo de intervenção humana, desnecessário se torna realçar aqui a sua importância.

Dada a quase inexistência de literatura em língua portuguesa sobre o tema, sentiram os autores necessidade de dotar o mercado nacional de um livro que simultaneamente se dirigesse aos cursos secundários e 12º ano de Electrotecnia, bem como a todos os interessados pelo aliciante tema dos Automatismos Industriais.

Dá este livro uma visão geral sobre diversos elementos de comando automático (interruptores de bóia, fins-de-curso, detectores, etc.), descreve a constituição e funcionamento de um contactor com a respectiva aplicação em vários esquemas de comando automático (inversão de marcha de motores, arranque estrela-triângulo, etc.) e finaliza com a concepção de circuitos de comando por aplicação da Álgebra de Boole. Além de problemas resolvidos, tem o livro no final uma lista de problemas para resolver, com aplicação da Álgebra de Boole.

Os autores agradecem a todos os colegas e amigos o apoio dado durante a elaboração do mesmo. Um agradecimento final à Telemec, pelo apoio dado durante a fase que precedeu a sua elaboração e pelas facilidades concedidas para a utilização de catálogos e literatura diversa.

Os Autores

## ÍNDICE

Pág.

<b>CONCEITOS BÁSICOS</b>	8
<b>Conceito de comando</b>	8
<b>Conceito de regulação</b>	8
<b>Sensores</b>	9
<b>ELEMENTOS DE COMANDO</b>	10
<b>Sua constituição</b>	10
dispositivo de comando	10
contactos	10
invólucro	10
<b>Dispositivos de comando por intervenção humana</b>	11
características	11
tipos de dispositivos	11
botoneiras de encastrar	11
botoneiras pendentes	12
combinadores	12
pedais	12
<b>Dispositivos de comando automático (detectores e transdutores)</b>	13
controlo de posição de um móvel	13
interruptor de fim-de-curso	13
detector fotoeléctrico	13
controlo de nível	14
interruptor de bóia	14
controlo de pressão	14
manostatos e vacuostatos (pressostatos)	14
controlo de tempo	14
programadores	14
controlo de temperatura	15
termostatos	15
<b>Contactores</b>	15
<b>ESTUDO DO CONTACTOR</b>	16
<b>Introdução</b>	16
<b>Constituição de um contactor</b>	16
contactor de rotação	16
contactor de translação	16
contactos principais ou pólos	17
sistemas de extinção do arco eléctrico	18
câmaras de fendas	18
câmaras de grelhas de extinção	18
sopro magnético	18
electroíman	19
espiras de Frager	19
<b>Comportamento do circuito magnético</b>	21
relação entre o esforço de atracção e a corrente de comando	21

circuito magnético em corrente alterna	22
circuito magnético em corrente contínua	22
<b>Contactos auxiliares</b>	22
contactos auxiliares instantâneos	22
normalmente abertos	22
normalmente fechados	22
contactos auxiliares temporizados	23
temporizados ao trabalho	23
temporizados ao repouso	23
<b>Tipos de contactores</b>	23
discontactor	23
contactor auxiliar ou relé auxiliar	24
<b>Características de um contactor</b>	24
cadência máxima de manobras	24
categoria de emprego	24
consumo médio das bobinas	26
corrente nominal de emprego	26
corrente nominal térmica	26
corrente de sobrecarga admissível	26
ciclo de manobras	26
robustez eléctrica	26
robustez mecânica	26
<b>Características gerais dos contactores</b>	27, 28, 29
posição de funcionamento	30
poder de corte	30
poder de fecho	30
potências nominais de emprego	30
temperatura ambiente	30
tempos de fecho e corte	30
tensão nominal de emprego	30
tensão nominal de isolamento	30
tensão de abertura	30
variação da tensão admissível no circuito do comando	30
<b>Ábacos de robustez eléctrica</b>	31
escolha de um contactor	32
<b>Aplicações práticas</b>	32
resistências de aquecimento	32
iluminação de uma nave fabril	33
motor assíncrono de rotor bobinado	33
motor assíncrono de rotor em curto-círcuito	33
<b>ESQUEMAS ELÉCTRICOS</b>	35
<b>Organização geral</b>	35
<b>Normalização e simbologia</b>	35
simbologia	36, 37
normalização de esquemas eléctricos	38

designação dos aparelhos num esquema desenvolvido	38
numeração dos bornes dos aparelhos	38
referenciação dos bornes	38
contactos principais	38
contactos auxiliares	39
órgãos de comando	39
execução dos esquemas	39
circuito de potência	39
circuito de comando e sinalização	35
<b>Esquemas de automatismos</b>	40
alguns esquemas simples de comando e sinalização	40
interruptores de posição e interruptores de impulso	40
comando local e à distância	41
encravamentos	41
eléctrico simples	41
eléctrico duplo	42
mecânico	42
circuitos sequenciais	43
sinalização	43
sinalização de serviço	43
sinalização de defeito	44
sinalização sonora	44
teste de lâmpadas	46
<b>Esquemas de automatismos para comando de motores</b>	46
discontactor	46
inversor	47
arrancador estrela-triângulo	47
arrancador para motores de duas velocidades	48
arrancador rotórico a 3 tempos	48
<b>Problemas para resolver, com solução</b>	54
<b>CONCEPÇÃO DOS CIRCUITOS DE COMANDO PARA AUTOMATISMOS</b>	68
<b>Introdução</b>	68
<b>Operadores elementares</b>	69
operador «E»	70
operador «NÃO»	70
<b>Propriedades da álgebra de Boole</b>	71
<b>Logigramas</b>	72
<b>Equação lógica de um circuito</b>	73
convenções	73
<b>Estabelecimento do esquema de um circuito cuja equação é dada</b>	75
<b>Simplificação de circuitos</b>	76
método de Karnaugh	77
<b>Concepção de circuitos</b>	81
<b>Automatismos industriais — concepção</b>	86
<b>ÍNDICE ALFABÉTICO</b>	91
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	95

## CONCEITOS BÁSICOS

### Conceito de comando

A noção de COMANDO é bastante intuitiva. Diz-se: um motor comandado por um botão, uma lâmpada comandada por um interruptor, etc. O artigo 32º do R.S.I.U.E.E. define APARELHO DE COMANDO como o que é destinado a modificar o regime de funcionamento de uma instalação ou de um aparelho de utilização.

De facto a energia eléctrica posta à disposição da indústria e demais consumidores, por intermédio da rede de distribuição, não pode ser ligada permanentemente aos receptores. Torna-se então necessário utilizar sistemas de comutação de potência, permitindo a transferência ou a interrupção de energia eléctrica provinda da rede para os receptores.

Essas operações constituem a FUNÇÃO COMANDO, a qual pode ser MANUAL (o operador altera directamente a ligação do receptor, através de interruptores ou de outros dispositivos) ou AUTOMÁTICA (a alteração é feita por intermédio de um contactor). Na maioria dos casos, para facilitar a exploração, assim como o trabalho do operador que se encontra normalmente afastado dos órgãos de comutação de potência (as máquinas propriamente ditas), é indispensável recorrer ao COMANDO À DISTÂNCIA, POR FIOS OU TELECOMANDO.

Podemos então distinguir um CIRCUITO DE

POTÊNCIA — que liga a rede de distribuição ao receptor e onde se dispõe de potências elevadas e logo correntes elevadas (normalmente trifásico) —, e um CIRCUITO DE COMANDO — monofásico, percorrido por correntes baixas e com fraco consumo de potência.

### Conceito de regulação

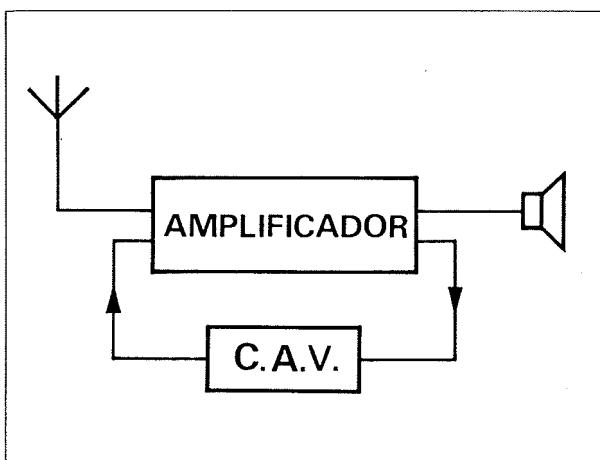
A REGULAÇÃO é um processo automático que mantém constante a saída de um sistema, independentemente das perturbações que tendam a alterá-la. A norma DIN 19226/5.68 define REGULAÇÃO como um processo em que uma grandeza (a de regulação), detectada de forma contínua, se compara com outra (grandeza guia) e fica influenciada em função do resultado da comparação, no sentido de ser ajustada à grandeza guia.

Tomemos o exemplo da regulação de temperatura de uma sala. O aquecimento é feito através de um aquecedor de resistências. A existência de um elemento sensor de temperatura — TERMOSTATO — leva a que, após ajuste para uma determinada temperatura, sempre que exista um arrefecimento, o termostato ligue de imediato o circuito de aquecimento durante o tempo necessário para que a temperatura ambiente regresse ao valor pré-estabelecido.

Diz-se que, neste caso, a REGULAÇÃO É DESCONTÍNUA, já que a actuação do termostato se faz em duas posições — ligado/desligado.

Tomemos agora para exemplo um receptor de rádio. O sinal que chega à antena (ondas de rádio) tem uma intensidade variável resultante de influências perturbadoras do tempo, camadas de ar atravessadas, etc. Deste modo o som que receberíamos do altifalante estaria continuamente a mudar de intensidade. Para evitar esse efeito desagradável usa-se um dispositivo — o COMANDO AUTOMÁTICO DE VOLUME (C.A.V.) — que faz variar em cada instante a amplificação do sinal, consoante a intensidade do mesmo que é recebida na antena (fig. 1).

Diz-se que, neste caso, A REGULAÇÃO É CONTÍNUA, já que a actuação da mesma se faz permanentemente.



**Fig. 1** — Comando automático de volume.

## Sensores

No comando e regulação assumem especial importância os SENSORES — dispositivos destinados à detecção de alterações de comportamento de grandezas variáveis (detectores) ou à transformação de grandezas não eléctricas em grandezas (sinais) eléctricas (transdutores).

Como detectores típicos refiram-se: bóias de nível, microinterruptores, células fotoeléctricas, etc.

Como transdutor típico refira-se por exemplo o par termoeléctrico. Este par é constituído por 2 metais de coeficientes de temperatura diferentes, soldados, e que, por aquecimento, saltam electrões de um para o outro, aparecendo, entre eles, uma diferença de potencial.

Note-se ainda que, na maioria dos casos, os sensores têm as duas funções (detector e transdutor).

## ELEMENTOS DE COMANDO

- **INVÓLUCRO** — Consoante o local de utilização, assim o invólucro obedece a determinadas exigências quanto a protecção: protecção contra contactos accidentais, ou involuntários, com peças sob tensão; protecção contra a penetração de poeiras e líquidos; protecção contra o choque, etc. Os invólucros podem ser ainda do tipo anticorrosivo ou antideflagrante.

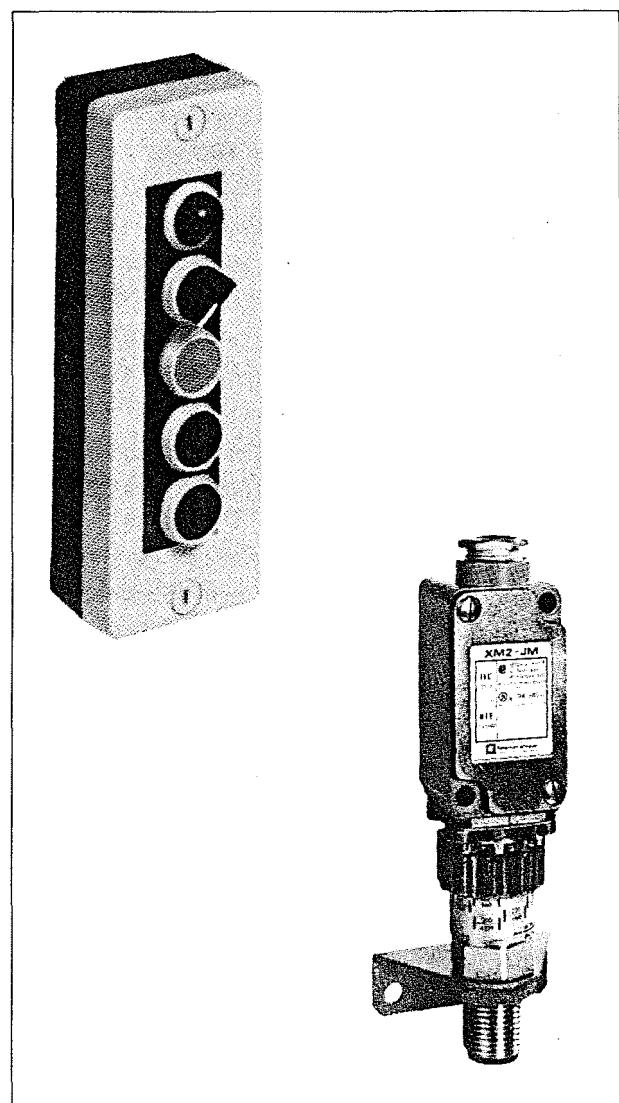
O Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica define, nos seus arts. 114º e 115º, as características dos invólucros, bem como a sua codificação. A norma NP-999 fixa por sua vez as classes de protecção asseguradas pelos invólucros dos aparelhos.

## Sua constituição

Seja qual for o tipo de comando, manual ou automático, o dispositivo auxiliar é sempre constituído por três partes principais:

- **DISPOSITIVO DE COMANDO** — A sua escolha faz-se considerando as condições de utilização e a natureza de intervenção: COMANDO POR INTERVENÇÃO HUMANA, dito «manual», por botão de pressão, comutador rotativo, pedal, volante, punho, etc.; COMANDO AUTOMÁTICO, por comando mecânico, manostatos, termostatos, vacuostatos, interruptores de bóia, interruptores de fim de curso, etc. Neste último tipo de comando, a escolha dos dispositivos auxiliares é ainda função da natureza do material a comandar (sólidos, líquidos ou gassosos), da velocidade e da massa (caso de dispositivos móveis), da frequência de manobras, etc. (fig. 2).
- **CONTACTOS** — Os auxiliares de comando são equipados de um certo número de contactos, NA (normalmente aberto), NF (normalmente fechado), NA + NA, NA + NF, NF + NF. Em certos modelos, a duração da abertura ou do fecho dos contactos é função da velocidade de «ataque» do dispositivo de comando (ex.: botão de pressão). Noutros a abertura e fecho são bruscos e efectuam-se sempre a intervalos de tempo constantes.

Fig. 2 — Exemplos de dispositivos de comando



# Dispositivos de comando por intervenção humana

## 1. Características

O comando por intervenção humana, dito «manual», deve:

- assegurar a protecção do pessoal assim como da máquina comandada;
- ser simples, seguro, robusto, resistir a um eventual choque anormal;
- evitar ao operador, graças a uma escolha judiciosa da localização dos aparelhos, as deslocações e os movimentos inúteis;
- impedir a colocação em marcha da máquina, se certas precauções não forem tomadas previamente (exemplo: portas de resguardo fechadas, circuitos de arrefecimento de máquinas ligados, etc.);
- permitir, se necessário, o arranque e a paragem a partir de vários locais de comando;
- impedir o arranque intempestivo após um corte de corrente.

**Em conclusão**, os principais critérios de escolha dos auxiliares de comando por intervenção humana são: as condições e local de utilização, bem como as características do circuito controlado.

Façamos então a abordagem superficial de alguns dispositivos de comando por intervenção humana.

## 2. Tipos de dispositivos

### BOTONEIRAS DE ENCASTRAR

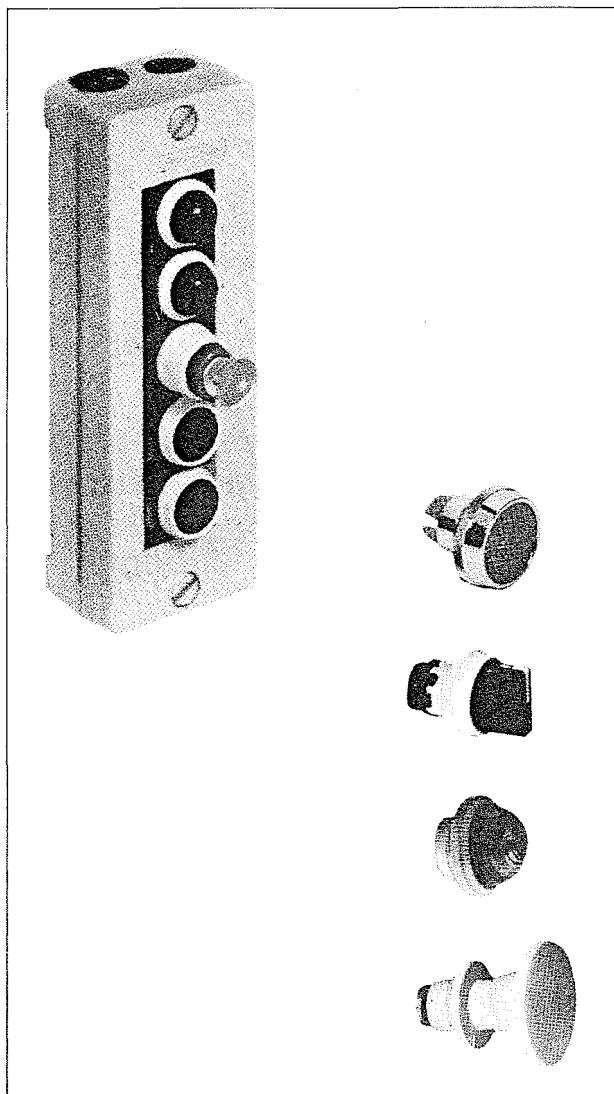
As botoneiras e as unidades de comando de encastrar (fig. 3) são equipadas de contactos que, em função do tipo e do dispositivo de comando:

- a) Não se estabelecem ou não se abrem senão durante o instante do impulso e retomam a posição inicial, desde que cesse o impulso (contactos instantâneos).

- b) Permanecem na posição para onde foram levados por acção do dispositivo de comando (contactos permanentes por encravamento). Neste caso uma segunda intervenção é necessária para anular a anterior.

O comando destas botoneiras efectua-se com o auxílio de: botões de pressão; botões rotativos (de duas ou três posições fixas ou com retorno automático ao zero); por chave, retirável ou bloqueada em certas posições, etc.

**Fig. 3** — Exemplos de botoneiras de encastrar.



### BOTONEIRAS PENDENTES

Estas botoneiras destinam-se ao comando de aparelhos de elevação (pontes rolantes, guindastes), máquinas-ferramenta, etc. (Fig. 4).

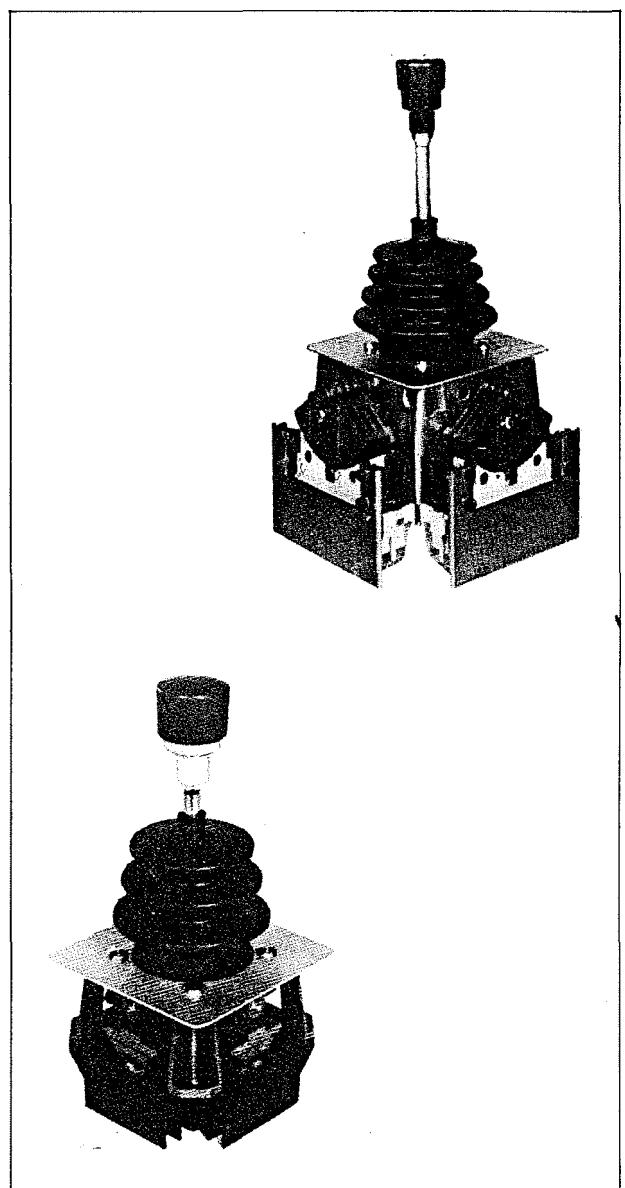
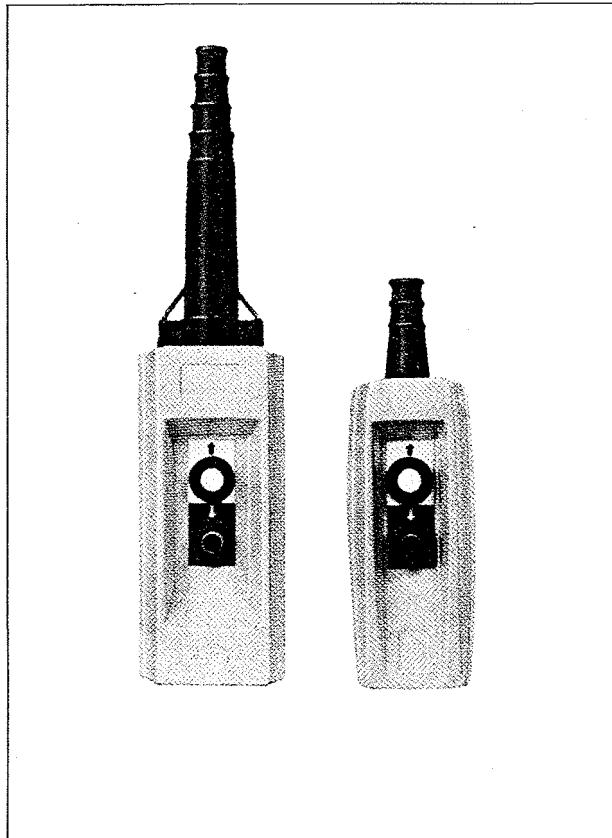
### COMBINADORES

Os combinadores são utilizados para o comando semiautomático de aparelhos de elevação (pontes rolantes, guindastes, etc.) São dispositivos que podem tomar diversas posições à escolha, comandando cada uma delas um ou mais circuitos, em vários tempos. Os seus múltiplos contactos provocam, por intermédio de contactores, o arranque, a aceleração ou a travagem dos motores que comandam (Fig. 5).

### PEDAIS

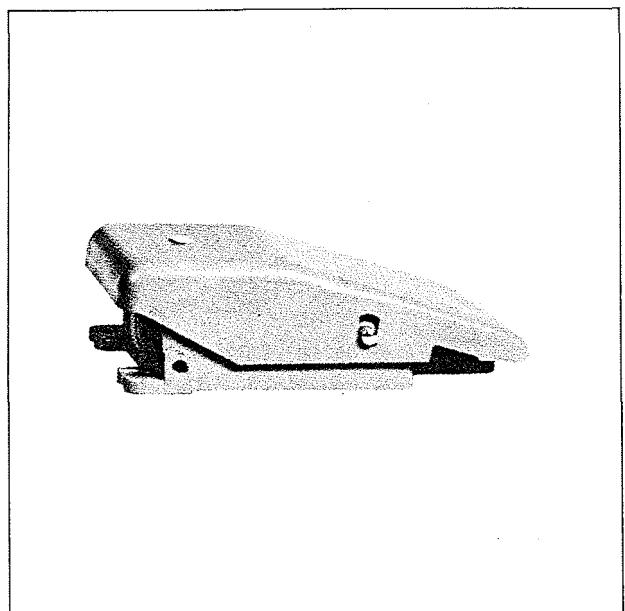
De impulso ou de engate, estes aparelhos destinam-se ao comando de contactores, máquinas-ferramenta, etc. São frequentemente utilizados quando o operador tem as mãos ocupadas com outras tarefas (Fig. 6).

**Fig. 4** — Botoneiras pendentes.



**Fig. 5** — Combinadores.

**Fig. 6** — Pedal.



# Dispositivos de comando automático

## Detectores e transdutores

O comando automático pode verificar-se por deslocamento de um móvel (detectores fotoeléctricos, interruptores de fim-de-curso, etc.), por variação de nível de um líquido (interruptores de bóia), por variação de temperatura (termostatos), por variação de pressão de um gás (pressostatos), etc. As aplicações do comando automático são, nos dias de hoje, inúmeras — pórticos rolantes, laminadores, silos de cereais, elevadores, etc.

### Controlo de posição de um móvel

#### INTERRUPTORES DE FIM-DE-CURSO

Os interruptores de fim-de-curso são aparelhos destinados a controlar a posição de um órgão de uma máquina. O móvel acciona, quando em movimento, contactos colocados em certas posições do seu percurso, permitindo o arranque ou paragem da máquina (Fig. 7).

Como exemplos de aplicação, refira-se o seu uso nos elevadores para paragem nos andares e nos tornos automáticos para mudança de sentido do carro desta máquina-ferramenta.

#### DETECTOR FOTOELÉCTRICO

O detector fotoeléctrico permite assinalar a presença ou passagem de um objecto, através de um feixe luminoso. A interrupção do feixe luminoso leva à mudança do estado de condução de uma célula fotoeléctrica, a qual comanda, após amplificação do sinal, a comutação do aparelho de potência. Exemplos: alarme de uma porta; abertura de portas por aproximação, etc. (Fig. 8).

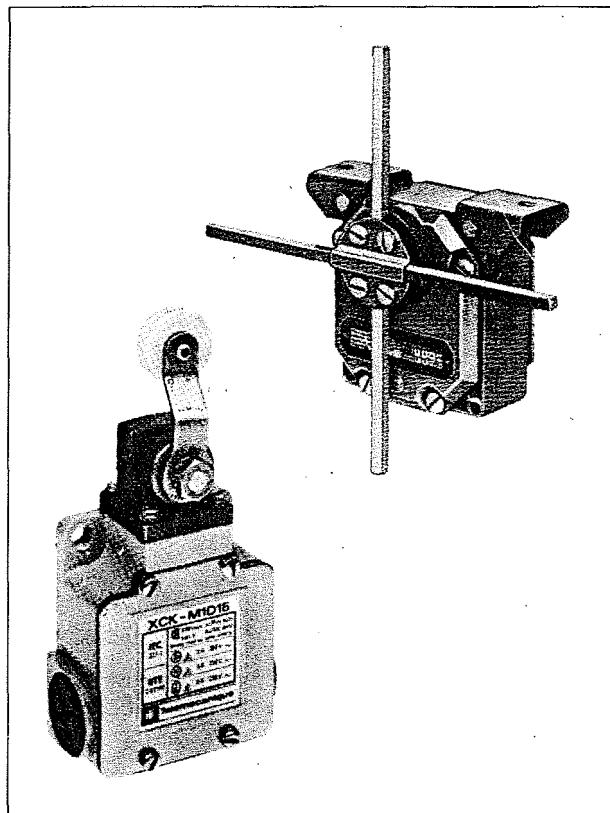
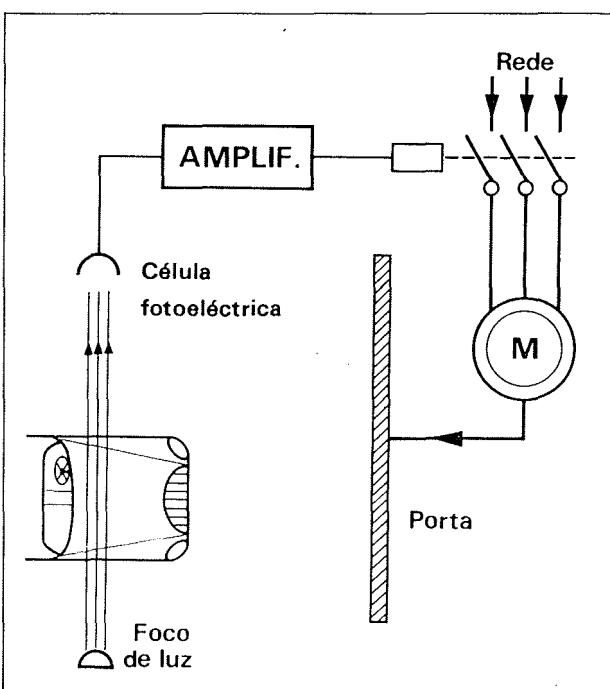


Fig. 7 — Exemplos de interruptores de fim-de-curso.

Fig. 8 — Exemplo de aplicação de um detector fotoeléctrico.



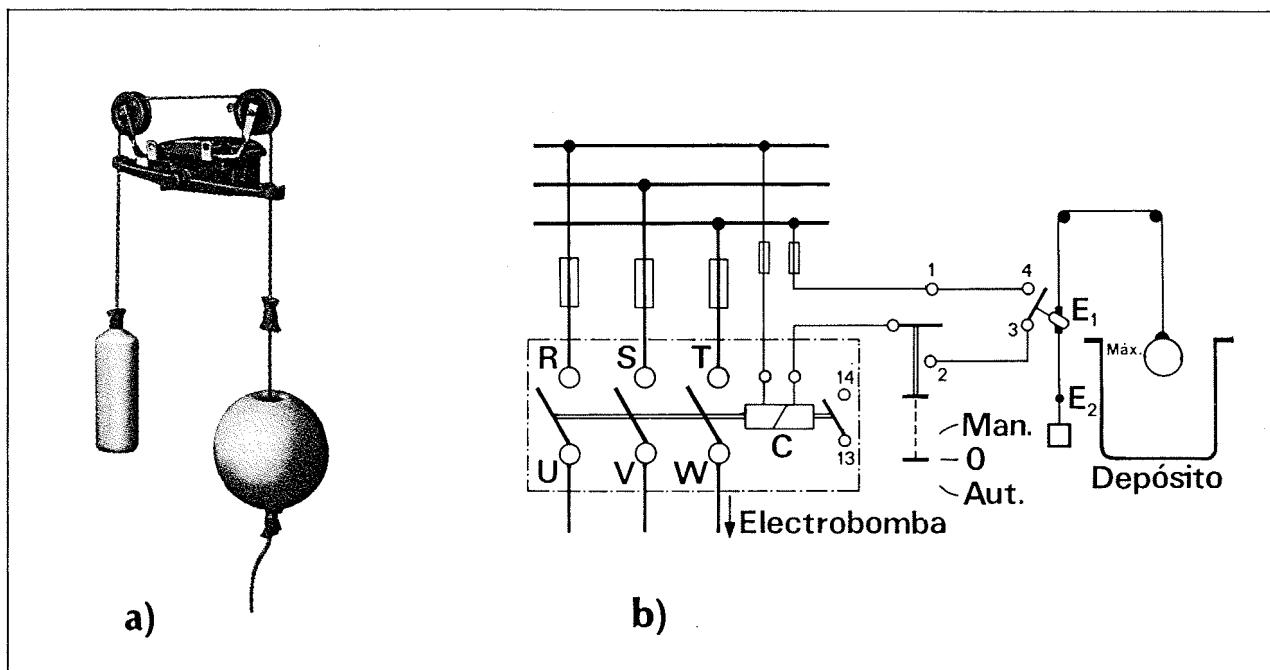


Fig. 9 — a) Interruptor de bóia. b) Electrobomba comandada por interruptor de bóia.

## Controlo de nível

### INTERRUPTOR DE BÓIA

O interruptor de bóia é utilizado no comando automático de estações de bombagem de líquidos. O flutuador actua sobre um interruptor de contacto, provocando a abertura ou fecho do circuito da electrobomba, como no exemplo da figura 9.

## Controlo de pressão

### MANOSTATOS E VACUOSTATOS (PRESSOSTATOS)

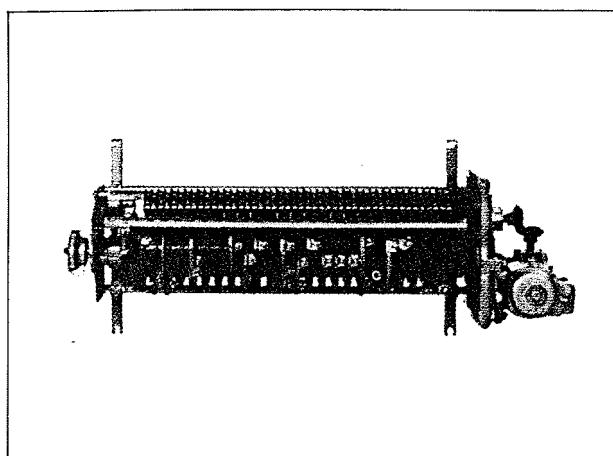
Os manostatos e vacuostatos destinam-se a regular ou a controlar respectivamente uma pressão ou uma depressão nos circuitos pneumáticos ou hidráulicos. Quando a pressão ou depressão atinge o valor de regulação, o contacto abertura-fecho, de ruptura brusca, bascula. São utilizados para comandar o arranque de compressores de ar, em função da pressão do reservatório; para assegurar a circulação de um fluido de lubrificação ou de arrefecimento de uma máquina, etc.

## Controlo de tempo

### COMUTADORES CÍCLICOS OU PROGRAMADORES

Estes aparelhos, arrastados por um motor, provocam o desenvolvimento de uma série de operações, segundo um ciclo ou um programa determinado. A sua concepção é tal que a ordem de sucessão das operações ou a sua duração podem ser modificadas por deslocação dos cames sobre um tambor. São utilizados em máquinas-ferramenta programáveis, em máquinas de lavar, em câmaras de frio industrial, etc. (Ver fig. 10).

Fig. 10 — Programador.



## Controlo de temperatura

### TERMOSTATOS

Estes dispositivos destinam-se a regular ou a controlar uma variação de temperatura. Para isso, utilizam lâminas bimetálicas, pares termoeléctricos, resistências de temperatura variável (NTC ou PTCs), etc. São utilizados em controlo de temperatura de habitações, motores, aparelhos electrónicos, processos químicos, etc.

## Contactores

Outro dos dispositivos de comando automático utilizado em Automatismos Industriais é o *contactor*. Na verdade, é o mais importante de todos os dispositivos referidos até aqui. Com efeito, qualquer circuito que utilize a aparelhagem electromecânica aqui estudada necessita sempre de um ou vários contactores. Por isso mesmo vamos estudá-lo em capítulo próprio.

## ESTUDO DO CONTACTOR

### Introdução

O artigo 40º do R.S.I.U.E.E. define «CONTACTOR» como «um aparelho de corte e comando, accionado em geral por meio de um electroíman, concebido para executar elevado número de manobras».

De facto, o contactor é um aparelho praticamente indispensável em todos os automatismos modernos — permite a interrupção ou o estabelecimento de correntes e potências elevadas, mediante correntes e potências fracas. Assim, só a título de exemplo, as bobinas de um contactor de calibre 300 A absorvem cerca de 40 W em corrente contínua e 100 W em corrente alternada, o que corresponde respectivamente a 180 mA e 450 mA, sob 220 V.

Os contactores apresentam ainda a vantagem de poderem ser comandados à distância por meio de contactos diminutos e sensíveis, tais como, botões de pressão, manipuladores e ainda automaticamente, por meio de detectores: termostatos, interruptores de fim de curso, de bóia, etc.

Podemos classificar os contactores, quanto ao tipo de corrente utilizada, em:

- contactores de corrente contínua;
- contactores de corrente alternada (para a frequência industrial);
- contactores de alta frequência (para  $f > 10\text{kHz}$ ).

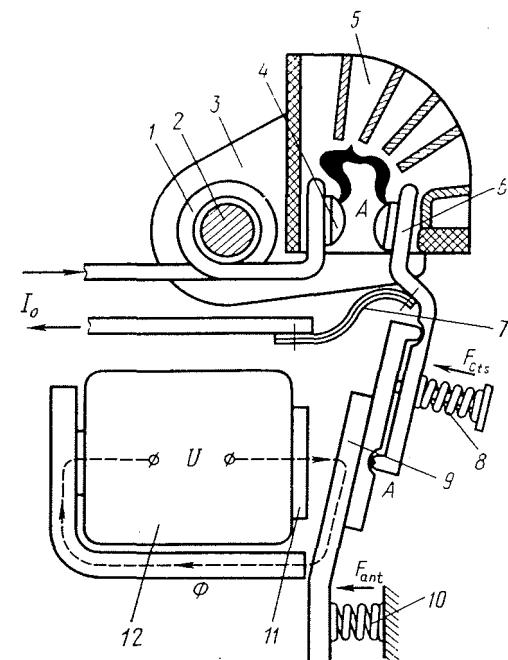
### Constituição de um contactor

As figuras 11 e 12 representam dois tipos diferentes de contactores, quanto ao modo de funcionamento:

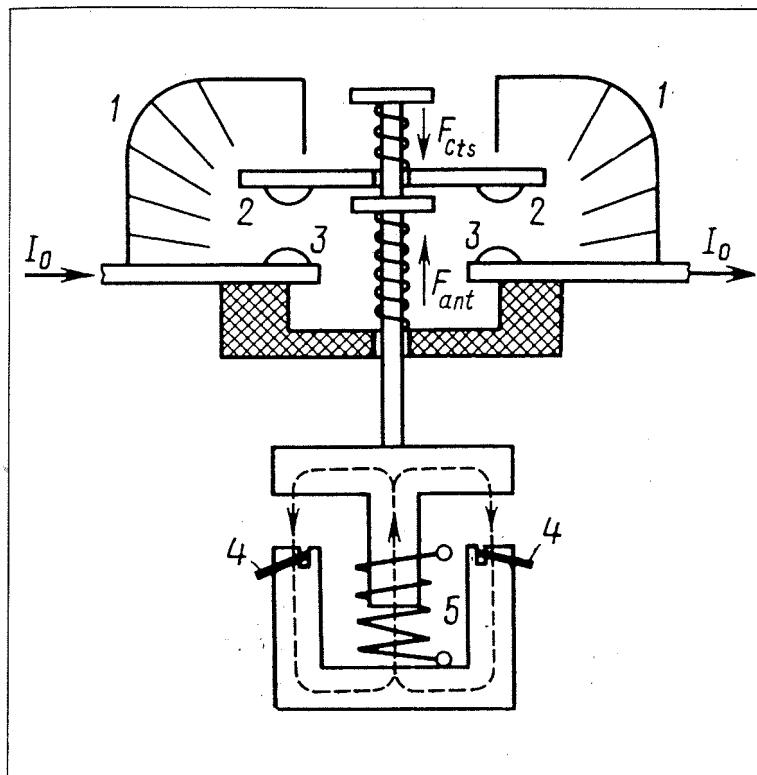
- **CONTACTOR DE ROTAÇÃO**, (Fig. 11), utilizado normalmente em condições difíceis de funcionamento (circuitos indutivos e grande frequência de manobras) e a correntes nominais relativamente importantes (dezenas e centenas de amperes).
- **CONTACTOR DE TRANSLAÇÃO**, (Fig. 12), geralmente utilizado em condições de funcionamento mais fáceis e a correntes nominais mais baixas (dezenas de amperes).

Em qualquer destes contactores podemos encontrar como componentes essenciais:

- **Os contactos principais ou pólos**, que



**Fig. 11** — Contactor de rotação: 1 — bobina de sopro magnético, 2 — núcleo da bobina de sopro, 3 — placa do pólo fixo, 4 — contacto fixo, 5 — câmara de grelhas, 6 — contacto móvel, 7 — fita condutora, 8 — mola, 9 — armadura, 10 — mola, 11 — peça polar, 12 — bobina.  
 A — arco eléctrico, U — tensão de alimentação da bobina,  $\Phi$  — fluxo magnético,  $I_0$  — corrente cortada.



**Fig. 12** — Contactor de translação. 1) Câmara de grelhas. 2) Contacto móvel. 3) Contacto fixo. 4) Espira de Frager. 5) Bobina.  $I_0$  — Corrente cortada.

asseguram o fecho e a abertura das correntes principais (círcuito de potência)

- **O sistema de extinção do arco eléctrico**
- **O electroíman**, que é o órgão motor do contactor
- **Os contactos auxiliares.**

Passaremos a desenvolver sucintamente cada um destes componentes.

### Contactos principais ou pólos

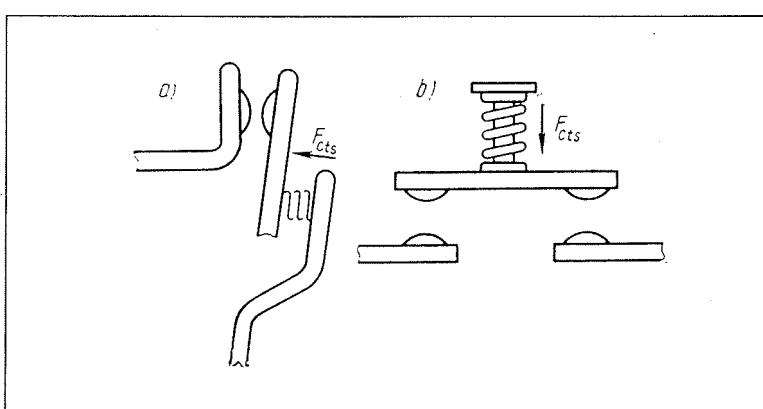
São eles que se encarregam de estabelecer ou de romper a corrente no círcuito de potência. Em consequência disso, são dimensionados para permitir a passagem da corrente nominal do contactor, em serviço permanente, sem aquecimento anormal.

Comportam uma parte fixa e uma parte móvel, esta última munida de molas que transmitem uma pressão conveniente nos contactos.

Os contactos podem ser de CORTE SIMPLES (Fig. 13a) ou CORTE DUPLO (Fig. 13b).

Na abertura dos primeiros forma-se um arco, enquanto que na dos segundos se formam dois arcos. Assim, em igualdade de condições, o poder de corte dos aparelhos com contactos de corte duplo É MAIOR que o dos aparelhos de contactos de corte simples. Em relação aos contactos simples, os contactos duplos possuem um inconveniente: têm duas junções de contacto, pelo que a força da mola  $F_{ant}$  deve ser dupla.

Os contactos são equipados de PASTILHAS



**FIG. 13** — a) Contactos de corte simples. b) Contactos de corte duplo.

DE CONTACTO fabricadas em materiais apropriados, em prata, por exemplo, ou por uma liga prata-óxido de cádmio, cuja resistência mecânica e ao arco eléctrico é elevada.

### Sistemas de extinção do arco eléctrico

Nos contactores para corrente alternada que se destinem a intensidades de corrente a cortar até 100 A (à tensão de 100 a 200 V), as CÂMARAS DE EXTINÇÃO DE ARCO não são obrigatórias, pois que o arco se extingue por alongamento no ar, quando os contactos se afastam. Para evitar a recuperação dos arcos eléctricos, os pólos vizinhos estão munidos de tabiques separadores isolantes.

Existem igualmente contactores para corrente contínua com CORTE DE ARCO NO AR, mas as intensidades cortadas são sensivelmente mais baixas.

Para grandes intensidades de corrente a cortar, os aparelhos são munidos de CÂMARAS DE EXTINÇÃO DE ARCO, de que as mais utilizadas são:

- Câmaras de fendas (fig. 14)
- Câmaras de grelhas de extinção (fig. 15)

A habilidade de um bom sistema de extinção de arco não reside tanto na extinção do arco em si, mas em fazê-lo numa região reduzida, com o mínimo de ruído e de emissão de luz, num curto período e com reduzido desgaste dos elementos constituintes.

Uma CÂMARA DE FENDAS é constituída por espaços estreitos (fendas) entre paredes de material isolante resistente ao arco (amianto, fibrocimento, etc.). É por elas que passa o arco (ver figura 14) para se extinguir, devido a uma dissipação intensa de calor nas paredes da fenda.

Uma CÂMARA DE GRELHAS DE EXTINÇÃO é constituída por um conjunto de lâminas metálicas finas (1 a 3 mm de espessura) e que cumprem o papel de radiadores destinados a dissipar o calor do arco de um modo intenso, facilitando assim a sua extinção. A prática demonstra que as grelhas de extinção se tornam ineficazes para cortes frequentes do circuito, em correntes relativamente grandes. De facto, se a frequência de corte é grande,

as lâminas aquecem fortemente e não chegam a ter tempo de arrefecer — não podem portanto, nesse caso, cumprir o seu papel de arrefecimento do arco.

Para o caso de grandes frequências de corte utilizam-se, portanto, as CÂMARAS DE FENDAS.

Podemos resumir o papel de qualquer destes dispositivos dizendo que contribuem para aumentar a resistência do arco, logo, para a diminuição da corrente.

Em paralelo com qualquer destes sistemas, é utilizado um dispositivo de SOPRO MAGNÉTICO, destinado a criar forças suplementares que servem para afastar o arco dos contactos e fazê-lo entrar na câmara de extinção (Fig. 16).

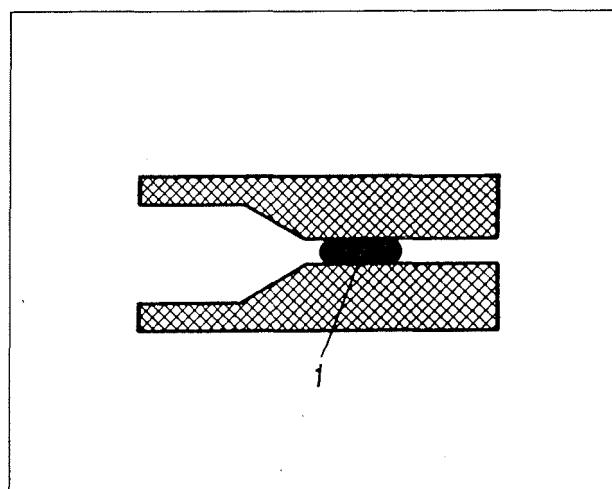


Fig. 14 — Desenho em corte de uma câmara de fendas. 1 — Arco eléctrico.

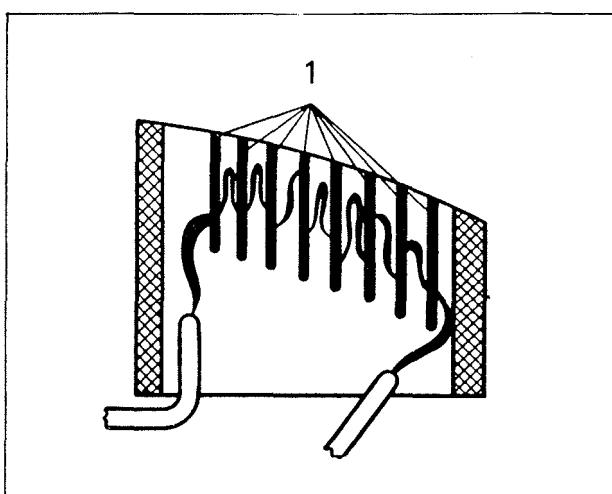


Fig. 15 — Desenho em corte de uma câmara de grelhas. 1 — Grelhas.

Vejamos então como funciona o SOPRO MAGNÉTICO.

A bobina 1 de «sopro magnético» é colocada em série no circuito cuja corrente se quer cortar. O fluxo magnético  $\phi$  produzido por esta bobina é levado por intermédio das peças 2 e 3 do núcleo magnético até à zona do arco eléctrico, junto à entrada para a câmara de extinção 4. A interacção do campo magnético  $B$  e da corrente do arco eléctrico  $I$  faz aparecer uma força electrodinâmica  $F_{ed}$  ( $F_{ed} = B \cdot I \cdot l$ ) que, actuando sobre o arco (de comprimento  $l$ , fá-lo dirigir-se para a câmara — REGRA DOS TRÊS DEDOS DA MÃO DIREITA).

Atendendo a que, como é sabido, o campo magnético  $B$  é proporcional à corrente  $I$  que o provoca, vem que a força é proporcional ao quadrado da corrente ( $F_{ed} \sim I^2$ ).

Daí resulta a grande aplicação deste sistema nos dispositivos destinados a cortar correntes muito elevadas.

Por outro lado, a direcção da força  $F_{ed}$  não depende da direcção da corrente, pois quando a corrente muda de sentido, o fluxo  $\phi$  muda simultaneamente com aquela. Este facto permite a utilização do sistema quer em corrente alternada quer em corrente contínua.

Existem ainda sistemas que utilizam quer ímanes permanentes, quer a bobina em paralelo, não sendo no entanto utilizados em corrente alternada, por não ser possível nesses casos manter constante o sentido da força.

### O electroíman

O electroíman é o elemento motor do contactor.

Compreende essencialmente um circuito

magnético e uma bobina. A sua forma varia em função do tipo de contactores e pode ainda diferir consoante a corrente de alimentação é alternada ou contínua. Um ligeiro entreferro previsto no circuito magnético na posição de fecho evita o risco de colagem por magnetismo remanescente. O entreferro de ar pode ainda ser substituído por inserção de um material não magnético.

O circuito magnético de um contactor alimentado em corrente alternada é constituído por chapas de aço-silício para reduzir as perdas por correntes de Foucault e por histereose. O núcleo é ainda provido de uma ou duas ESPIRAS DE FRAGER (ou espiras de desfasagem) que têm como objectivo diminuir a trepidação resultante do anulamento periódico do fluxo, logo da força de atracção.

Vejamos então o que se passa.

### ESPIRAS DE FRAGER

É já conhecida, desde o estudo do electromagnetismo, a fórmula de Maxwell que nos dá a força electromagnética por pólo de um electroíman.

$$F = \frac{B^2 S}{2\mu_0}$$

onde

$B$  — indução magnética no entreferro (T)

$S$  — área da secção do pólo ( $m^2$ )

$\mu_0$  — permeabilidade magnética do ar ( $= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ )

$F$  — força electromagnética (N)

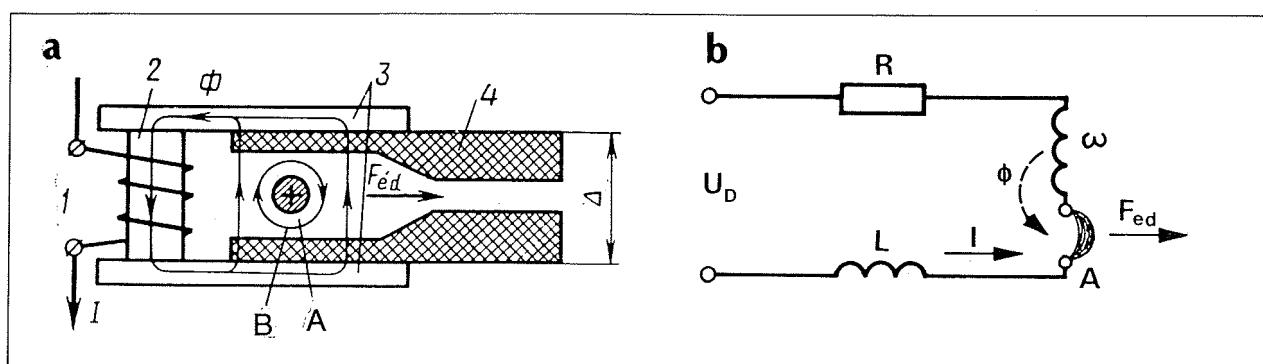


Fig. 16 — a) Sopro magnético com extinção em câmara de fendas. b) Circuito equivalente. A — arco; B — indução.

Ora, se no entreferro tivermos um fluxo sinusoidal  $\phi = \phi_M \cdot \sin \omega t$ , vem

$$F = \frac{B^2 S}{2 \mu_0} = \frac{\phi^2}{2 \mu_0 S} = \frac{\phi_M^2 \cdot \sin^2 \omega t}{2 \mu_0 S}$$

e atendendo a que

$$\sin^2 a = \frac{1 - \cos 2a}{2}$$

$$\text{vem } F = \frac{\phi_M^2}{2 \mu_0 S} \cdot \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

Concluímos assim que a força atractiva do electroíman em corrente alternada varia a uma frequência dupla entre 0 e  $F_{\max}$ .

Em geral, a armadura está constantemente submetida à acção de uma força antagonista de uma mola  $F_{\text{ant}}$ . Nos intervalos de tempo em que  $F < F_{\text{ant}}$  (intervalo A A' na figura 17), a armadura afasta-se dos pólos, enquanto que nos outros intervalos em que  $F > F_{\text{ant}}$ , a armadura é atraída para os pólos.

Este fenómeno é inconveniente, já que provoca a vibração da armadura do electroíman em corrente alternada.

Essa vibração provoca não só a deformação dos pólos como um ruído intenso e desagradável. Por outro lado, o facto de o entre-

ferro aumentar, nos afastamentos da armadura, conduz a um aumento da corrente e, portanto, a uma sobrecarga da bobina.

O meio mais eficaz de combater este efeito é a colocação de uma espira curto-circuitada sobre o pólo fendido do electroíman (ver figura 18) — a ESPIRA DE FRAGER.

Então, o fluxo  $\phi$  criado pela bobina do electroíman divide-se em duas partes:  $\phi_1$  e  $\phi_2$ . O fluxo  $\phi_1$  passando pela espira curto-circuitada induz aí uma f.e.m., a qual provoca o aparecimento de um novo fluxo  $\phi_{\text{cc}}$ . Deste modo os fluxos numa parte e noutra do pólo são  $\phi_1 + \phi_{\text{cc}}$  e  $\phi_2 - \phi_{\text{cc}}$ , os quais estão desfasados entre si de um ângulo  $\phi$ .

A força atractiva do electroíman é então a soma das forças  $F_1$  e  $F_2$  provocadas por cada um dos fluxos, como mostra a figura 19.

**A força total é agora sempre superior a zero e basta que  $F_0 > F_{\text{ant}}$  para que não haja vibração.**

No circuito magnético de um electroíman alimentado em corrente contínua, não se verifica o aparecimento de correntes de Foucault. Deste modo o núcleo pode ser de aço maciço e portanto particularmente robusto.

Por outro lado, uma vez que se não verifica variação de fluxo, não são necessárias espiras de Frager.

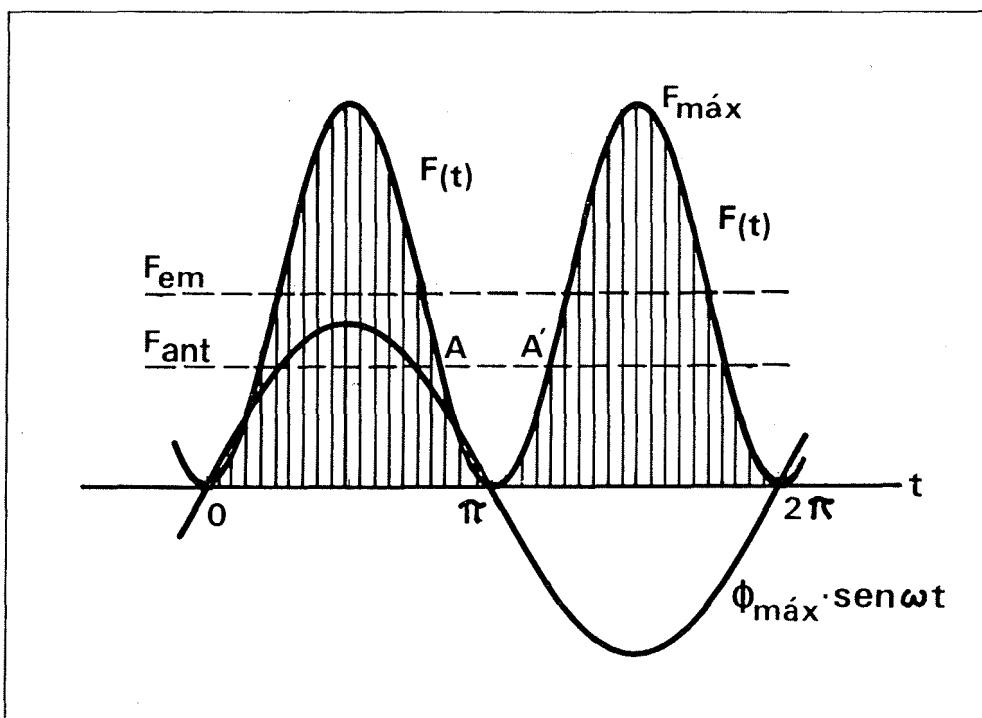
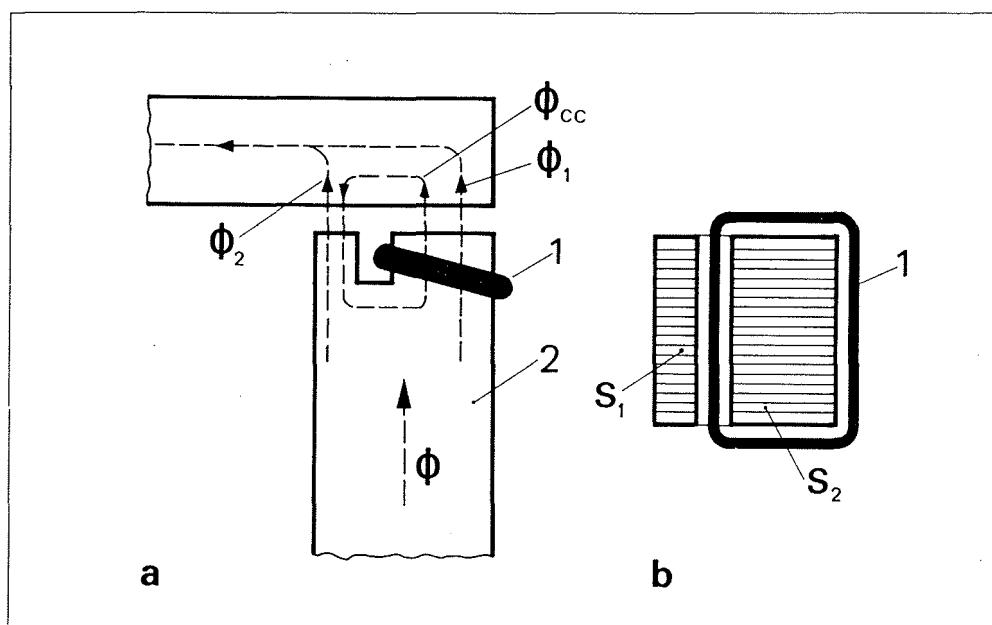


Fig. 17 — Curva da força atractiva do electroíman.



**Fig. 18**  
 a) Circuito magnético onde se representa a espira de Frager.  
 1 — Espira de Frager.  
 2 — Núcleo.  
 b) Planta, representando a espira de Frager.  
 S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub> — Superfícies de contacto do núcleo.

## Comportamento do circuito magnético

### RELAÇÃO ENTRE O ESFORÇO DE ATRACÇÃO E A CORRENTE DE COMANDO

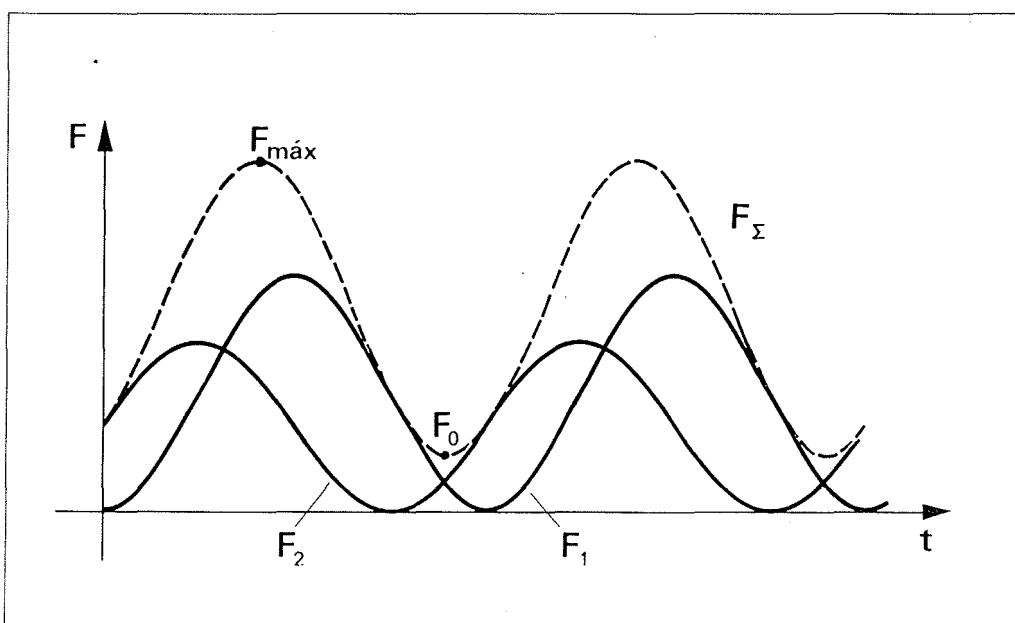
Quando o contactor está em repouso, as linhas de força do campo magnético têm um percurso muito grande no ar e a relutância total do circuito magnético  $R_m$  é muito elevada ( $\phi = \text{constante}$ ). Então, a CORRENTE DE CHAMADA é muito grande, já que

$$\phi = \frac{nI}{R_m}$$

(ver fig. 12 — circuito magnético).

Logo que o contactor é actuado, o circuito magnético fecha, pelo que a relutância diminui e, para a mesma força de atracção ( $\phi$  constante), a corrente diminui.

Resulta daí que a corrente de manutenção



**Fig. 19**  
 Representação temporal da força  $F_\Sigma$  resultante da introdução da espira de Frager.

da bobina, e logo a potência consumida pela bobina, diminui.

Por exemplo, para os contactores D 09 (Telemecanique), o consumo da bobina na chamada é de 73 a 80 VA, enquanto na retenção é de 8 VA (ver tabela pág. 28).

Vamos então analisar o modo como é feita a redução de corrente nos circuitos magnéticos dos electroímães, em corrente alternada e contínua.

#### CIRCUITO MAGNÉTICO EM CORRENTE ALTERNADA

Em corrente alternada, a corrente na bobina é limitada apenas pela impedância da mesma  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ .

Na **chamada**, atendendo a que a relutância é elevada, vem que  $L$  é baixo (pois  $L = n^2/R_m$ ), pelo que a impedância é pequena e a corrente elevada. Na **retenção**, a corrente é fraca, já que, diminuindo  $R_m$ , aumenta  $L$  e logo a impedância também aumenta.

Concluímos assim que a corrente se reduz automaticamente, através da diminuição da relutância.

#### CIRCUITO MAGNÉTICO EM CORRENTE CONTÍNUA

Em corrente contínua, a corrente é limitada apenas pela resistência da bobina, que é baixa.

Na **chamada**, as características da bobina são tais que a resistência determina a corrente (logo o fluxo), necessária para o fecho do circuito magnético.

Na **retenção**, a corrente mantém-se com o mesmo valor, já que só depende da resistência da bobina. Isto é, apesar de ser suficiente uma corrente pequena para manter o contactor na retenção (neste caso  $R_m$  é baixo e logo para garantir o mesmo fluxo a corrente necessária diminui), o circuito impõe, no entanto, uma corrente elevada.

Tal situação leva a um aumento exagerado da temperatura da bobina.

Para evitar isso, usa-se o circuito da figura 20, onde  $R'$  é uma RESISTÊNCIA DE REDUÇÃO DE CONSUMO (RDC), a qual é ligada após o fecho do contactor.

Assim, enquanto a corrente de chamada é

dada por  $I_a = U/R$  (onde  $R$  — resistência da bobina), a corrente de retenção vem dada por  $I_f = U/(R + R')$ , inferior a  $I_a$ .

Tal solução permite a utilização da mesma bobina, quer em corrente contínua quer em corrente alternada — basta incluir ou não a RDC.

#### Contactos auxiliares

Os contactos auxiliares são fundamentalmente de dois tipos, a saber:

• **CONTACTOS AUXILIARES INSTANTÂNEOS** — são destinados a assegurar a auto-alimentação do contactor, os encravamentos, as sinalizações, etc.

Estes contactos podem ainda ser:

a) **NORMALMENTE ABERTOS (NA)** — os contactos estão abertos e fecham quando o electroíman é alimentado.

Também são chamados *Contactos de Fecho (F)*.

b) **NORMALMENTE FECHADOS (NF)** — os contactos estão fechados e abrem logo que o electroíman é alimentado.

Também são chamados *Contactos de Abertura (O)* — do francês Ouverture.

Os contactores possuem, em geral, associações diversas destes dois tipos de contac-

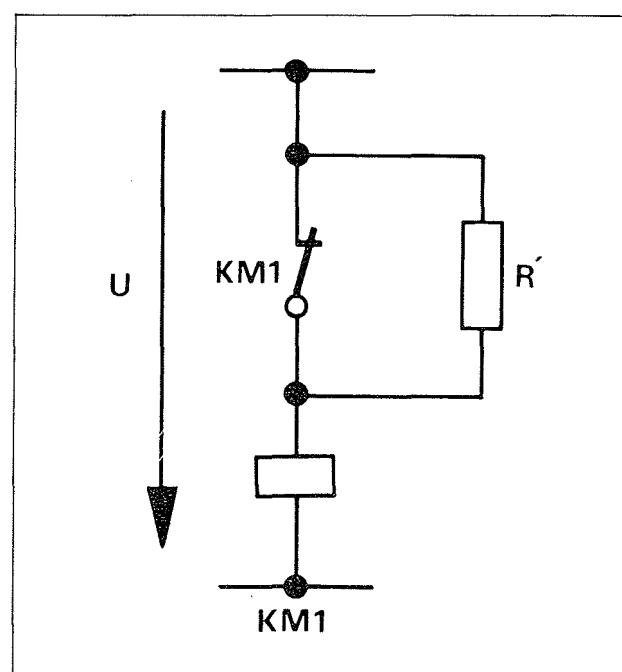


Fig. 20 — Circuito de comando eléctrico com resistência de redução de consumo.

tos (ex: 1 NA + 1 NF; 1 NA + 2 NF; 3 NA; etc.).

• **CONTACTOS AUXILIARES TEMPORIZADOS** — estabelecem ou abrem um circuito, algum tempo depois do fecho ou abertura do contactor que os acciona. Encontram a sua principal aplicação no arranque automático de motores.

Estes contactos podem ainda ser:

a) **TEMPORIZADOS AO TRABALHO OU À ACÇÃO** — se o contactor está em repouso e, **ao ser accionado**, os contactos se abrem (NF) ou fecham (NA), passado um tempo determinado;

b) **TEMPORIZADOS AO REPOUSO** — se, sendo o contactor (e todos os seus contactos) actuado instantaneamente, **ao ser desligado** os contactos se abrem (NA) ou fecham (NF) passado um tempo determinado.

Na fig. 21 representa-se um contactor de translação com adaptador e temporizador de contactos auxiliares.

Assim, vamos passar em revista algumas definições (norma CEI-158-1).

Servir-nos-emos ainda de tabelas referentes à marca de contactores TELEMECANIQUE, por ser o equipamento mais utilizado nas nossas escolas (consultar páginas 27, 28 e 29, para todas as características que vamos definir).

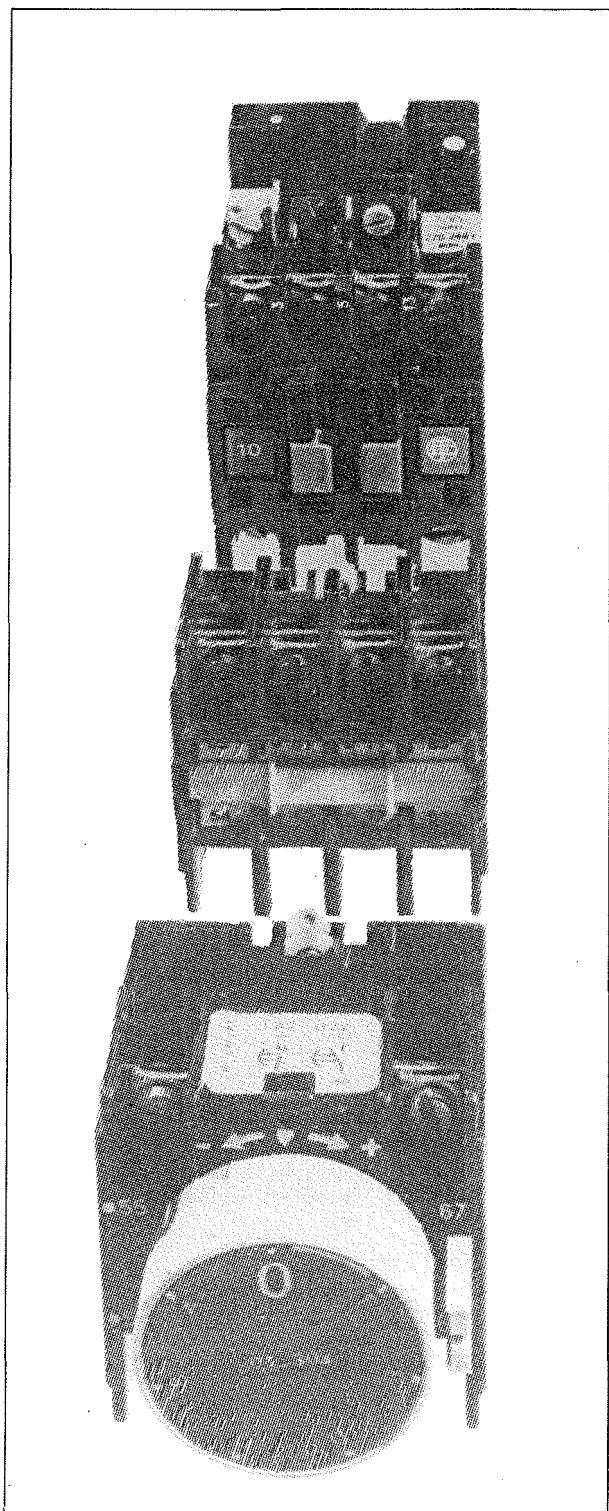


Fig. 21 — a) Contacto de translação; b) Adaptador de contactos auxiliares; c) Temporizador.

## Tipos de contactores

Embora as aplicações dos contactores sejam muito vastas, podemos definir dois tipos básicos:

1) O contactor para comando de motores eléctricos, muitas vezes combinado com dispositivos de disparo automático (relés térmicos ou outros).

O conjunto tem então o nome de DISCONTACTOR.

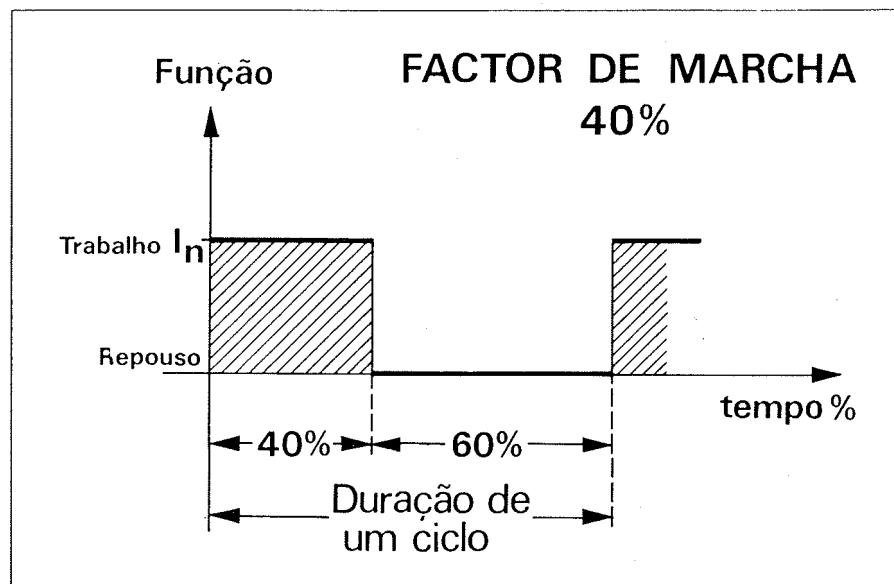
Este tipo de contactores é fabricado para correntes nominais de 10 a 600 A e mesmo mais.

2) O contactor para circuitos auxiliares de comando, sinalização, encravamento, etc.

Para este tipo de aplicações, o contactor é normalmente dimensionado para correntes de 3 a 15 A e toma muitas vezes o nome de RELÉ AUXILIAR OU CONTACTOR AUXILIAR.

## Características de um contactor

Como qualquer outro dispositivo eléctrico, torna-se necessário utilizar os contactores dentro das especificações com que foram construídos.



**FIG. 22** — Representação temporal dum ciclo de manobra.

## • CADÊNCIA MÁXIMA DE MANOBRAS

É o número máximo de ciclos de manobras por hora que pode ser exigido de um contactor, tendo em conta um factor de marcha de 40% (\*). Uma frequência de ciclos de manobras de 10 800 por hora corresponde a 3 fechos/abertura por segundo (Fig. 22).

\* Os valores normais do factor de marcha, definidos nas normas CEI e NF são de 15, 25, 40 e 60%.

## • CATEGORIAS DE EMPREGO

A categoria de emprego tem em conta o valor das correntes que o contactor deve estabelecer ou cortar no decurso de manobras em carga.

A categoria de emprego depende:

- Da natureza do circuito comandado (motor de rotor em curto-circuito, motor de rotor bo-

binado, resistências de aquecimento, iluminação...).

— Das condições em que se efectuam os cortes (motor lançado ou motor não lançado).

O quadro a seguir resume as características de ensaios correspondentes às categorias de emprego usuais, em corrente alternada

APLICAÇÕES CARACTERÍSTICAS EM CORRENTE ALTERNADA	CATEGORIAS	CONDIÇÕES DE FECHO E CORTE CORRESPONDENTES A FUNCIONAMENTO NORMAL			
		FECHO		CORTE	
		I	U	I	U
Resistências (cargas não indutivas)	AC1	Ie	Ue	Ie	Ue
Motor de rotor bobinado: Corte de motor lançado Corte de motor não lançado	AC'2 AC2	2,5 Ie 2,5 Ie	Ue Ue	Ie 2,5 Ie	0,4 Ue Ue
Motor de rotor em curto-círcuito: Corte de motor lançado Corte de motor não lançado	AC3 AC4	6 Ie 6 Ie	Ue Ue	Ie 6 Ie	0,17 Ue Ue

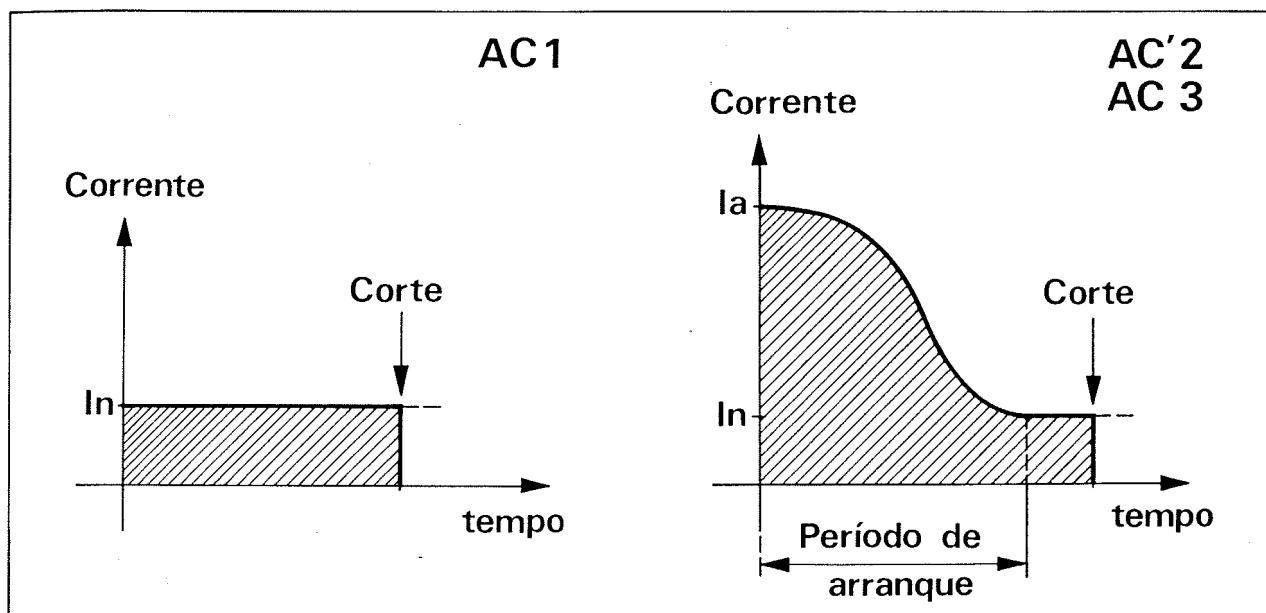


Fig. 23 — a) Corte de uma corrente em categoria AC1. b) Corte de uma corrente nas categorias AC'2 e AC3.

### Categoria AC1

Esta categoria aplica-se a todos os aparelhos de utilização em corrente alternada (receptores) cujo factor de potência é pelo menos igual a 0,95 ( $\cos \phi \geq 0,95$ ) (cargas não indutivas ou fracamente indutivas) (Fig. 23a).

### Categoria AC'2

Esta categoria diz respeito aos motores de rotor bobinado e com corte efectuado quando o motor já está lançado.

No fecho, o contactor estabelece a corrente de arranque próxima de duas a duas vezes e meia a corrente nominal do motor. O valor exacto é função da resistência do circuito rotórico.  **$I_a$  (ou  $I_n$ ) é a corrente em regime estabelecido e coincide com a corrente nominal do motor.**

Na abertura, o contactor corta a corrente nominal do motor. A tensão que aparece aos seus bornes é função da força contra-eletromotriz do motor. O corte é fácil (Fig. 23b).

### Categoria AC2

Esta categoria diz respeito aos motores de rotor bobinado e abrange o arranque, a travagem em contra-corrente e a marcha por impulsos ( $\cos \phi$  de 0,3 a 0,7).

No fecho o contactor estabelece a corrente de arranque, próxima de duas a duas vezes e meia a corrente nominal do motor.

Na abertura o contactor corta a corrente de arranque sob uma tensão igual à tensão da rede; tensão tanto mais elevada quanto mais baixa for a velocidade do motor e portanto com força contra-electromotriz pouco elevada. O corte é difícil (Fig. 24).

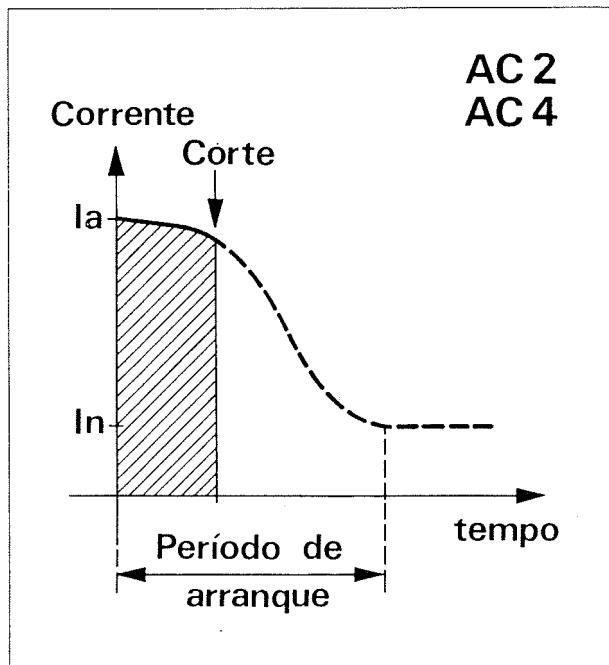


Fig. 24 — Corte de uma corrente nas categorias AC2 e AC4.

### Categoría AC3

Esta categoría diz respeito aos motores de rotor em curto-círcito e com corte efectuado quando o motor já está lançado.

No fecho o contactor estabelece a corrente de arranque próxima de cinco a sete vezes a corrente nominal do motor.

Na abertura o contactor corta a corrente nominal absorvida pelo motor. A tensão aos bornes dos seus pólos é da ordem de 20% da tensão da rede.

Em categoria AC3 o número de manobras horárias pode ser elevado. O corte é fácil. Aliás, os contactores são geralmente concebidos para suportar um certo número de cortes em corrente de arranque do motor (categoria AC4) (Fig. 23b).

### Categoría AC4

Esta categoría diz respeito aos motores de rotor em curto-círcito, inclui o arranque, a travagem em contra-corrente e a marcha por impulsos (Fig. 24).

O contactor fecha-se sobre uma ponta de intensidade que pode atingir cinco e mesmo sete vezes a corrente nominal do motor. Logo que o aparelho abre, corta essa mesma corrente sob uma tensão tanto mais elevada quanto mais baixa for a velocidade do motor. Esta tensão pode ser igual à da rede. O corte é extremamente difícil.

### • CONSUMO MÉDIO DAS BOBINAS

Em corrente alternada o consumo médio das bobinas é indicado em 50 e 60Hz quer para a chamada, isto é, para o fecho do circuito magnético quer para a manutenção do circuito magnético fechado (retenção).

Enquanto o circuito magnético do electroíman permanece aberto a impedância da sua bobina é fraca e a corrente de chamada pode atingir seis a dez vezes a intensidade de manutenção.

Em corrente contínua o consumo médio das bobinas é igual quer na chamada quer na manutenção.

### • CORRENTE NOMINAL DE EMPREGO

A corrente nominal de emprego ( $I_e$ ) dum contactor é definida segundo a tensão nominal de emprego, o serviço nominal, a cate-

goria de emprego e a temperatura do ar circundante ao aparelho.

#### • CORRENTE NOMINAL TÉRMICA

A corrente nominal térmica ( $I_t$ ) dum contactor é o valor da corrente que define as condições de aquecimento do circuito principal na ausência de qualquer manobra de fecho ou de abertura dos contactos.

O contactor deverá ser capaz de suportar essa corrente durante um período de 8 horas, com os contactos principais fechados durante todo esse período e sem que o aquecimento das diversas partes ultrapasse os limites fixados.

#### • CORRENTE DE SOBRECARGA ADMISSÍVEL

É a corrente que um contactor em posição fechada pode suportar durante um tempo curto sem que as suas partes constituintes sejam deterioradas.

Para os vários calibres de contactores TELEMECANIQUE indicam-se os valores de corrente de sobrecarga em função do tempo de permanência (págs. 27, 28, 29). Como é óbvio, estes valores são superiores à corrente nominal em categoria AC1.

#### • CICLOS DE MANOBRAS

No decurso dum ciclo de manobras as partes móveis do contactor passam da posição aberta (repouso) à posição fechada (trabalho) e voltam à sua posição inicial.

#### • ROBUSTEZ ELÉCTRICA

É o número de ciclos de manobras em carga que o contactor é susceptível de efectuar sem que haja necessidade de fazer a substituição dos contactos.

Esta robustez depende da categoria de emprego, da corrente nominal de emprego e da tensão nominal de emprego.

#### • ROBUSTEZ MECÂNICA

É o número de manobras em vazio (sem a corrente a circular nos contactos principais) que o contactor é capaz de efectuar sem qualquer manutenção. Neste caso apenas se

# CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS CONTACTORES

## 1. CIRCUITO DE POTÊNCIA

		LC1 D09	LC1 D12	LC1 D16	LC1 D25	LC1 D40	LC1 D50	LC1 D63	LC1 D80	CN2 FC	CN1 GC	CN2 GC	CN1 HC	CN2 HC	CN1 JC	LC1 FU	LC1 FJ2	LC1 FK2	LC1 FL2	LC1 FX2
<b>CORRENTE NOMINAL DE EMPREGO NA CATEGORIA AC3</b>	A	9	12	16	25	40	50	63	80	80	125	125	200	200	260	—	330	450	630	780
<b>CORRENTE PERMANENTE MÁX. CATEGORIA AC1</b>	A	25	25	40	40	60	80	80	125	110	160	160	210	210	300	260	400	630	1000	1600
<b>TENSÃO NOMINAL EMPREGO ISOLAMENTO</b>	V	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	500	660	500	640	1000	1000
<b>LIMITES DE FREQUÊNCIA</b>	Hz															DE 25 A 400Hz				
<b>PODER DE FECHO</b>	A	250	250	320	450	800	900	1000	1100	1000	1250	1250	2000	2000	2600	2600	3500	4500	6300	8000
<b>PODER DE CORTE</b>																				
380V	A	250	250	320	450	800	900	1000	1100	1000	1250	1250	2000	2000	2600	2600	3500	4500	6300	7000
415/440V	A	250	250	320	450	800	900	1000	1100	1000	1250	1250	2000	2000	2600	2600	3500	4500	6300	7000
660V	A	85	85	120	180	400	500	630	630	500	—	500	—	800	—	—	2700	3600	5500	6240
1000V	A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1400	2800	3400	3400
<b>CORRENTE DE SOBRECARGA ADMISSÍVEL</b>																				
1s	A	250	250	400	400	800	800	1000	900	1125	1125	1800	1800	2300	—	2800	3600	5000	6400	
5s	A	140	140	200	200	430	440	440	600	530	800	800	1050	1050	1400	—	2800	3600	5000	6400
10s	A	105	105	156	156	320	350	350	450	400	600	600	800	800	1000	—	2500	3500	4900	6200
30s	A	68	68	97	97	192	208	208	300	260	400	400	520	520	770	—	1700	3200	4800	6000
1 min	A	56	56	80	80	160	180	180	230	200	300	300	400	400	580	—	1200	2200	3900	5500
3 min	A	35	35	55	55	105	125	125	150	125	190	190	250	250	360	—	680	1200	2200	3000
15 min	A	25	25	40	40	60	80	80	120	110	160	160	210	210	300	—	410	650	1100	1650
<b>IMPEDÂNCIA POR PÓLO</b>	mΩ	2,5	2,5	2	2	1,5	1	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,37	0,20	0,12	0,1	

## CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS CONTACTORES (CONT.)

	LC1 D09	LC1 D12	LC1 D16	LC1 D25	LC1 D40	LC1 D50	LC1 D63	LC1 D80	LC1 FC	CN2 GC	CN2 GC	CN1 HC	CN2 HC	CN1 JC	LC1 FU	LC1 F12	LC1 FK2	LC1 FL2	LC1 FX2
--	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------

### 2. CARACTERÍSTICAS DO CIRCUITO DE COMANDO

TENSÃO NOMINAL DE COMANDO	50 Hz	V	12 a 660	24 a 660	24 a 660	24 a 660	24 a 660	24 a 660	42 a 500	42 a 500	42 a 500	42 a 500	110 a 500							
	C.C.	V	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48 a 440	48 a 440	48 a 440	48 a 440	48 a 440		
<b>CONSUMO MÉDIO</b>																				
CHAMADA	VA	80	80	100	100	220	220	220	230	380	500	500	830	980	1200	1200	1250	1950	3900	
RETENÇÃO	VA	8	8	9	9	22	22	22	22	36	46	46	57	57	80	19	19	21	32	64
DISSIPAÇÃO	W	1,8 a 2,7	2,5 a 3,5			6 a 10			13,5	16,5	16,5	24	24	36	17	17	19	29	58	
CHAMADA	VA	—	—	—	—	—	—	—	220 a 290	280 a 370	280 a 370	450 a 600	450 a 600	440 a 610	—	—	—	—	—	
RETENÇÃO	W	—	—	—	—	—	—	—	7,5 a 10,5	9,5 a 15	9,5 a 15	13 a 23	13 a 23	15 a 23	—	—	—	—	—	
CHAMADA	W	—	—	—	—	—	—	—	170 a 250	290 a 350	290 a 350	320 a 480	320 a 480	440 a 700	1000	1000	1100	1650	—	
RETENÇÃO	W	—	—	—	—	—	—	—	10 a 25	10 a 30	10 a 30	11 a 23	11 a 23	16 a 24	5,5 5,5	5,5 6	6 9	—	—	
<b>TEMPO DE FUNCIONAMENTO MÉDIO a Un (em ms)</b>																				
• C.A.	NA	15 a 22	18 a 25		14 a 21	20 a 35	40 a 85	30 a 80	30 a 80	30 a 55	30 a 55	24 a 40	24 a 40	80	80	80	80	80	80	
	NF	5 a 15	7 a 19		6 a 16	6 a 20	10 a 20	10 a 20	10 a 20	10 a 20	10 a 12	5 a 100	5 a 100	100	100	100	100	100	100	
• C.A. rectificada ou C. contínua com resistência de consumo	NA	—	—	—	—	—	—	30 a 50	30 a 50	30 a 50	30 a 50	40 a 60	85	85	85	85	85	—		
	NF	—	—	—	—	—	—	10 a 20	10 a 20	10 a 20	10 a 20	10 a 20	30	30	30	30	30	—		

ROBUSTEZ MECÂNICA (MILHÕES DE MANOBRAS)		20	20	20	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10	5	10	10	10	5	5
CADÊNCIA MÁXIMA DE MANOBRAS	man /h	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	900	1200	900	600	

## CARACTERÍSTICAS DOS CONTACTOS AUXILIARES INSTANTÂNEOS E TEMPORIZADOS

verifica a fadiga dos materiais que constituem o contactor, em especial as molas e guias.

#### • POSIÇÃO DE FUNCIONAMENTO

Normalmente, a fixação dos aparelhos é feita sobre um plano vertical; os contactores TELE-MECANIQUE, por exemplo, funcionam bem com inclinações de 22° e 30' numa direcção qualquer em referência à posição normal. Em homologações para fins navais este valor é muito importante.

#### • PODER DE CORTE

É o valor eficaz de corrente máxima que o contactor pode cortar. Este valor é tanto maior quanto mais baixo for o valor da tensão da rede.

**Exemplo:** 250A/380V; 85A/660V com  $\cos\phi = 0,35$  para um contactor  $I_n = 9A$ , tipo LC1/DO9.

#### • PODER DE FECHO

É o valor eficaz da corrente máxima que o contactor pode estabelecer. Na prática, a corrente é independente da tensão.

**Exemplo:** 250A para um LC1/DO9 ( $I_n = 9A$ )

#### • POTÊNCIAS NOMINAIS DE EMPREGO

Na utilização de contactores para o comando de motores, além da corrente nominal máxima de emprego, é necessário ter presente as potências normalizadas máximas de emprego referentes às tensões nominais de utilização mais correntes. Os gráficos da página 31 definem o tipo de contactor a utilizar no caso das categorias de emprego AC1, AC2, AC3 e AC4.

Os valores indicados são considerados sem substituição dos contactos.

#### • TEMPERATURA AMBIENTE

É a temperatura do ar ambiente existente no local de instalação do aparelho, após a sua entrada em serviço.

#### • TEMPOS DE FECHO E CORTE À TENSÃO $U_n$

##### Tempo de fecho

É o tempo compreendido entre o aparecimento da tensão aos bornes da bobina e a

entrada em contacto das partes fixas e móveis dos pólos principais.

##### Tempo de corte

Ao tempo compreendido entre o instante de corte do circuito da bobina e a separação das partes fixas e móveis dos pólos chama-se **tempo de abertura**.

A este tempo deve juntar-se o **tempo de extinção do arco** (à volta de 10 ms). O **tempo de corte** é a soma destes dois valores.

#### • TENSÃO NOMINAL DE EMPREGO — $U_e$

É o valor da tensão de utilização do contactor que, combinado com a corrente ou potência nominais de emprego, determina a escolha daquele e à qual se referem os poderes de fecho e de corte, o tipo de serviço e a categoria de emprego.

#### • TENSÃO NOMINAL DE ISOLAMENTO

A tensão nominal de isolamento ( $U_i$ ) é o valor da tensão que serve para designar o isolamento e à qual se referem os ensaios dielétricos, as linhas de fuga e as distâncias no ar. As prescrições não são idênticas para todas as normas.

#### • TENSÃO DE ABERTURA

É a tensão para a qual a parte móvel do circuito magnético do contactor retoma a sua posição de repouso, isto é, a bobina deixa de garantir a manutenção do circuito magnético fechado.

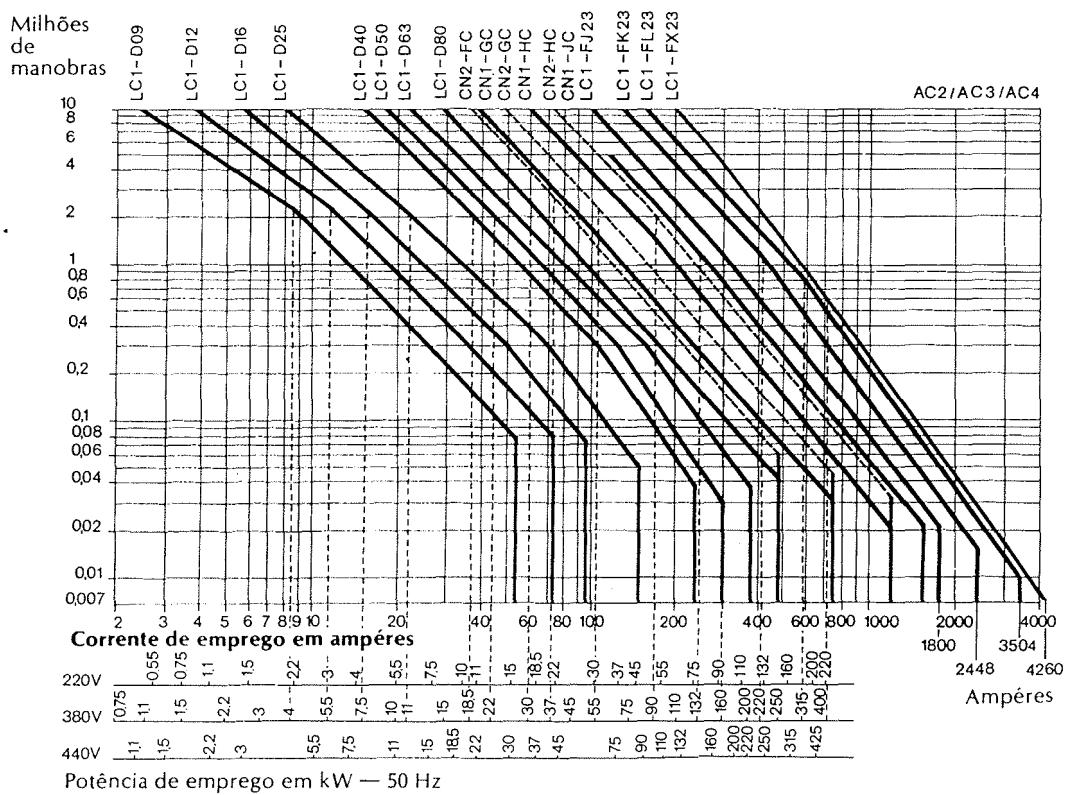
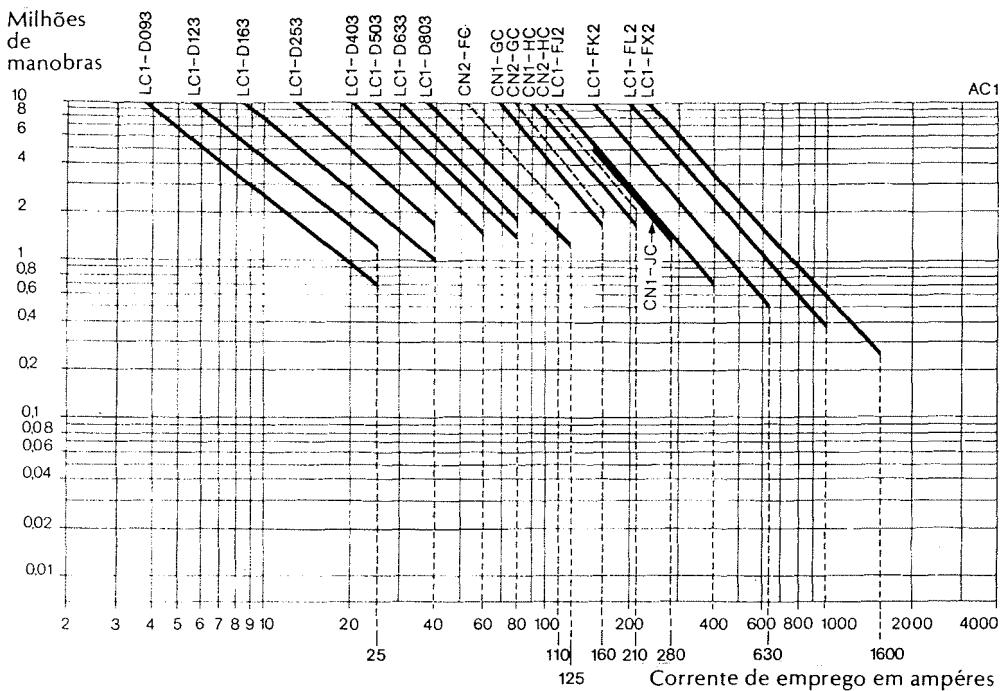
#### • VARIAÇÃO DA TENSÃO ADMISSÍVEL NO CIRCUITO DE COMANDO

Salvo indicação em contrário, o fecho dos contactores deve ser assegurado para qualquer tensão de alimentação de comando compreendida entre 85% e 110% do seu valor nominal.

**Exemplo:** para uma bobina de 220 V  
 $U_{\min} = 187$  V,  $U_{\max} = 242$  V

Os contactores fecham-se francamente mesmo que a tensão cresça lentamente. O fecho franco elimina os riscos de soldadura e

## Ábacos de robustez eléctrica



de destruição dos contactos. A bobina pode permanecer indefinidamente alimentada sob 1,1 Un. A tensão de abertura é normalmente inferior à tensão mínima de actuação.

## Escolha de um contactor

Na escolha dos contactores podemos considerar essencialmente dois grandes tipos de funcionamento do circuito onde vai actuar:

- Resistivo (categoria AC1)
- Indutivo (restantes categorias)

No 1.º caso (categoria AC1) temos uma corrente (nominal térmica) permanente onde é importante apenas o aquecimento dos condutores e enrolamentos.

No 2.º caso (categorias AC2, AC3, AC4), de tipo indutivo, onde há cortes mais ou menos frequentes, sendo então importante o efeito destruidor dos arcos eléctricos formados no corte.

Deste modo, no 1.º caso atende-se ao valor da corrente nominal térmica e no 2.º atende-se às correntes indutivas, sob a forma de arco, produzidas no corte.

Pelos motivos apontados, na pág. 27 o contactor LC1 D09 (por exemplo) suporta em AC1 uma corrente nominal térmica de 25 A, enquanto em AC3 (situação mais desfavorável) apenas suporta 9 A. Obviamente que nas restantes categorias suportará sempre uma intensidade inferior aos 25 A.

Além deste factor deve atender-se também ao PODER DE FECHO do contactor, para o que deve calcular-se a corrente de arranque (de pico) da carga; atender-se-á também ao PODER DE CORTE do contactor, o qual deve ser superior à corrente cortada (que poderá ser a nominal ou bastante superior a esta, caso de corte com motor não lançado). Na página 27 é indicado, para cada contactor, o poder de fecho e poder de corte respectivos.

Finalmente o «Ábaco de robustez eléctrica» indicar-nos-á o número de manobras que cada contactor poderá efectuar para as condições do circuito. Nas «Aplicações práticas» apresentamos alguns dos exemplos mais vulgares.

Os valores obtidos na utilização destes

ábacos indicam, para a categoria de emprego considerada e em função da tensão da rede de alimentação, da potência ou da corrente de emprego, o número de manobras eléctricas que pode ser efectuado sem mudança de contactos.

A consideração do número de manobras é particularmente importante no caso dos motores.

**Pelo contrário, torna-se insignificante para aplicações como iluminação e aquecimento.**

### EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO NAS CATEGORIAS AC2-AC3-AC4

#### Motor de 7,5 kW — 380 V

- A robustez do contactor LC1-D16 será de cerca de 2 milhões de manobras.
- O contactor LC1-D25 permitirá 3,5 milhões de manobras.
- O contactor LC1-D40 permitirá 10 milhões de manobras.

**NOTA:** Em AC1 e geralmente em lâmpadas, dado o pequeno número de manobras normalmente efectuado, não há necessidade de consultar o ábaco (consulte-se apenas a página 27) pois 1 milhão de manobras => milhares de anos de duração.

## Aplicações práticas

Consideremos vários receptores trifásicos (A, B, C, D, E), todos com as características seguintes:

$$P = 18,5 \text{ kW}, U = 380V/50Hz, \text{ trifásico}$$

e determinemos os contactores mais indicados consoante o tipo de receptor. O calibre do contactor será definido (escolhido) para 1 e 4 milhões de ciclos de manobras, considerando que se encontram montados sobre chassis (sem caixa) a uma temperatura ambiente de 40°C.

### A — RESISTÊNCIAS DE AQUECIMENTO

Categoria de emprego AC1 ( $\cos \phi = 0,95$ ) calculando I, vem

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi} = 29,5 \text{ A}$$

Escolhemos o contactor de calibre D16, cuja corrente térmica em AC1 pode atingir 40 A (Tabela pág. 27.)

**Nota:** no ábaco, o D16 corresponde ao D163 (o algarismo 3, em todos os contactores deste ábaco, quer dizer que o contactor é tripolar).

#### B — CIRCUITO DE ILUMINAÇÃO DE UMA NAVE FABRIL (LÂMPADAS DE FILAMENTO)

**ponta de corrente:**  $I_p = 16 \times I$

$\cos \varphi = 0,95$  (AC1)

calculando  $I$ , vem  $I = 29,5$  A

A intensidade de ponta na ligação atinge  $I_p = 29,5$  A  $\times 16 \approx 472$  A

Atendemos então ao PODER DE FECHO e, embora o calibre D16 tenha uma corrente térmica de 40 A, tem um poder de fecho insuficiente — 320 A. Escolhemos então o calibre D40. (Poder de fecho 800 A.)

#### C — CIRCUITO DE ILUMINAÇÃO DE UMA NAVE FABRIL (LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO DE ALTA PRESSÃO SEM COMPENSAÇÃO)

**ponta de corrente:**  $I_p = 1,6 \times I$

$\cos \varphi = 0,5$  (é equiparado à categoria de AC3)

O regime de corrente térmica que temos vindo a considerar deixa de ser aplicável pois  $\cos \varphi = 0,5$ . O circuito é indutivo e no corte produz-se arco importante.

Calculando  $I$ , vem

$$I = \frac{18\,500}{380 \times \sqrt{3} \times 0,5} = 56,2 \text{ A}$$

Atendendo a que se trata de um receptor de carácter indutivo, escolhemos então o contactor D63 cuja intensidade de emprego em AC3 é de 63 A e o poder de fecho de 1000 A contra os 90 A necessários ( $I_p = 56,2 \times 1,6 = 90$  A).

#### D — MOTOR ASSÍNCRONO DE ROTOR BOBINADO OU EM CURTO-CIRCUITO (CORTE DO MOTOR LANÇADO)

Categorias de emprego:

- AC'2 para o motor de rotor bobinado
- AC3 para o motor de rotor em curto-círcuito

Atendendo a que

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_c \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \text{ (A)}$$

vem, por substituição, para  $P = 18,5$  kW,  $\cos \varphi = 0,86$ ,  $\eta = 88\%$  (vide qualquer tabela de motores)

$$I = 37 \text{ A} = I_{\text{emprego}} = I_{\text{corte}}$$

Sendo idêntica a intensidade de emprego nos dois casos e efectuando-se o corte com o motor lançado, as duas categorias podem ser equiparáveis. Não há que ter em conta as pontas de corrente de arranque, porque já estão previstas no ábaco respectivo. As correntes de corte, dada a existência de arcos eléctricos, é que têm de ser tomadas em consideração, visto que danificam os contactos. Neste caso a corrente cortada é igual à de emprego, portanto baixa.

Teremos que considerar então o número de manobras pedido.

O ábaco da página 31 indica-nos:

- para 1 milhão de manobras — D40
- para 4 milhões de manobras — D63

#### E — MOTOR ASSÍNCRONO DE ROTOR BOBINADO OU EM CURTO-CIRCUITO (CORTE DURANTE O ARRANQUE OU TRAVAGEM)

Categorias de emprego:

AC2 para o motor de rotor bobinado

AC4 para o motor de rotor em curto-círcuito

São cortes bastante difíceis (circuitos indutivos com arcos eléctricos fortes). Nestes dois casos, a corrente de emprego do contactor será bastante superior à nominal e igual a  $I_{\text{cortado}}$ .

$$I_{\text{nominal}} = 37 \text{ A}$$

$$I_{\text{cortado}} = 2,5 \times 37 = 92,5 \text{ A em AC2}$$

$$I_{\text{cortado}} = 6 \times 37 = 222 \text{ A em AC4}$$

O ábaco da página 31 indica para o motor de rotor bobinado — AC2

- para 1 milhão de ciclos de manobras ( $I_c = 92,5$  A) — D80

- para 4 milhões de ciclos de manobras ( $I_c = 92,5$  A) — CN1/HC

O ábaco da página 31 indica para o motor de rotor em curto-círcuito — AC4

- para 1 milhão de ciclos de manobras ( $I_c = 222$  A) — CN2/HC

- para 4 milhões de ciclos de manobras ( $I_c = 222$  A) — LC1/FK23

Na tabela seguinte faz-se uma comparação entre os calibres obtidos dos contactores para os exemplos anteriores.

## COMPARAÇÃO ENTRE OS CALIBRES ESCOLHIDOS

UTILIZAÇÃO	POTÊNCIA	NÚMERO DESEJADO DE CICLOS/MANOBRAS	
Illuminação (Lâmpadas de vapor de mercúrio sem compensação)	18.5 kW 380 V	1 MILHÃO D63	4 MILHÕES —*
Illuminação (Lâmpadas de filamento)	50 Hz	D40	—*
Aquecimento eléctrico — AC1		D16	—*
Motor assíncrono de rotor bobinado ou em curto-círcuito após o arranque — AC'2/AC3		D40	D63
Motor assíncrono de rotor bobinado com corte durante o arranque — AC2		D80	CN1 — HC
Motor assíncrono de rotor em curto-círcuito com corte durante o arranque — AC4		CN2 — HC	LC1 — FK23

\* Não se faz a escolha por ser desnecessário, em virtude de conduzir a valores das centenas de milhar de anos.

# ESQUEMAS ELÉCTRICOS

## Organização geral

A representação de esquemas eléctricos de comando é feita normalmente ou por «esquemas de execução de ligações» ou por «esquemas de percurso de corrente».

Nos primeiros, os aparelhos são representados de modo a que todos os elementos constituintes (ex: contactos principais e auxiliares, bobinas, etc.) apareçam numa visão de conjunto, como se encontram na realidade. Na prática, isso leva a que, em circuitos complexos, os fios de ligação se cruzem, dificultando a compreensão e a leitura.

Ao invés, os «planos de percurso de corrente» são mais claros e, por isso mesmo, cada vez mais utilizados. Neles, os circuitos DE COMANDO e DE POTÊNCIA são desenhados separadamente. O circuito de potência comporta por exemplo todos os elementos percorridos pela corrente do motor. Não interessa aqui se este ou aquele dispositivo faz parte do mesmo aparelho. Obtém-se assim um esquema sem cruzamentos. Por outro lado, o esquema de montagem fica claro. (Ver esquemas das páginas 49 a 53.)

## Normalização e simbologia

Uma breve nota apenas sobre esta questão. Sendo o esquema eléctrico constituído por símbolos, convém que os mesmos sejam normalizados, permitindo assim uma leitura internacional.

Os princípios de representação tendem cada vez mais a uniformizar-se e, por isso, existem documentos oficiais — as NORMAS que estabelecem as regras de representação.

No ramo electrotécnico, a normalização internacional pertence à Comissão Electrotécnica Internacional (C.E.I.). Para além dessas recomendações e normas internacionais, existem ainda as normas nacionais, em cada país, como as VDE-DIN (Alemanha Federal), as UTE (França), as NP (Portugal), etc.

Neste livro, por falta de normas internacionais comuns sobre o tema, seguiremos aquelas que são mais utilizadas no equipamento vendido em Portugal — a CEI 117, a DIN 40719 (parte III) e CENELEC EN 50 005.

Nas páginas 36 e 37 apresentam-se os principais símbolos a utilizar no comando eléctrico, segundo a norma EN 50 005.

Apresentamos também nas páginas 38 e 39 as principais normas utilizadas na execução de esquemas eléctricos. Para facilitar a compreensão deste assunto aconselhamos o leitor a consultar os esquemas das páginas 49 a 53.

## Simbologia

Ligação de terra	
Ligação à massa	
Borne de ligação	
Sinalizador branco	
Sinalizador vermelho	
Sinalizador verde	
Sinalizador amarelo	
Sinalizador azul	
Sinalizador laranja	
Sinalizador pisca-pisca	
Buzina	
Contacto ao fecho	
Contacto à abertura	
Contacto de duas direcções e posição média de abertura	
Contacto inversor	
Comutador rotativo com 3 posições	
Sirene	
Contacto de abertura por relé térmico	
Contacto de acção retardada (NA)	

Contacto de acção retardada (NF)	
Contacto temporizado à acção (NA)	
Contacto temporizado à acção (NF)	
Contacto temporizado ao repouso (NA)	
Contacto temporizado ao repouso (NF)	
Interruptor de posição (NA)	
Interruptor de posição (NF)	
Interruptor	
Interruptor seccionador	
Seccionador	
Seccionador fusível	
Disjuntor	
Contactor	
Ruptor	
Bobina	

Temporizado ao trabalho	
Temporizado ao repouso	
Relé pisca-pisca	
Relé de impulsos	
Relé magnético	
Relé térmico	
Relé magnetotérmico	
Acção por nível de fluido	
Fusível	
Fusível com percutor	
Rectificador	
Ponte rectificadora	
Condensador	
Resistência	
Potenciómetro	
Transformador de tensão	
Transformador de corrente	
Arrancador estrela-triângulo	
Amperímetro	
Voltímetro	

Contador de energia	
Contador de impulsos	
Relógio	
Electroválvula	
Freio	
Dispositivo de prisão	
Retorno automático	
Encravamento mecânico	
Comando mecânico manual	
• geral	
• com retorno automático (botão de pressão)	
Cabeça de cogumelo	
Pedal	
Alavanca com punho	
Chave	
Encravamento, com botão de desencravamento	
Rolete	
Cames rolete	
Motor assíncrono trifásico	
rotor em curto-circuito	
2 enrolamentos estatóricos separados	
rotor bobinado	

## Normalização dos esquemas eléctricos

### DESIGNAÇÃO DOS APARELHOS NUM ESQUEMA DESENVOLVIDO

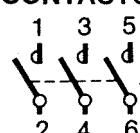
Material	Desig.	Material	Desig.	Material	Desig.
Alternador	G	Contador horário	P	Material diverso	E
Amplificador	A	Corta-círcuito		Memória	D
Aparelho registador	P	fusível	F	Motor	M
Aparelho indicador	P	Desmodulador	U	Ondulador	U
Aparelho mecânico de ligação de circuitos de potência	O	Detector de proximidade	B	Pára-raios	F
Aparelho mecânico de ligação de circuitos de comando	S	Detector de temperatura	B	Pedal (contacto)	S
Aparelho mecânico accionado electricamente	Y	Detector de rotação	B	Placa de bornes	X
Aquecedor	E	Detector de pressão	B	Ponte de diodos, rectificador	V
Avisador luminoso	H	Díodo	V	Potenciómetro	R
Avisador sonoro	H	Dinamo taquimétrico	B	Rectificador	V
Bateria de acumuladores de pilhas	G	Dispositivo (geral) de protecção	F	Registador	P
Bobina de indução	L	Dispositivo de memória	D	Relé auxiliar	K, KA
Botão	S	Dispositivo de sinalização	H	Relé temporizado	K, KA
Botoneira	S	Electroíman	Y	Relé polarizado	K, KA
Cabo	W	Embraiagem	Y	Relé de memória	K, KA
Célula fotoeléctrica, termoeléctrica	B	Ficha	X	Relé de protecção	F
Combinador	S	Filtro	Z	Relé magnético	F
Comutador	S	Fim de curso	S	Relé magneto-térmico	F
Condensador	C	Freio electro-mecânico	Y	Relé térmico	F
Contactor de potência	K, KM	Fusível	F	Relógio	P
Contactor auxiliar	K, KA	Gerador	G	Resistência	R
Contactor auxiliar temporizado	K, KA	Iluminação	E	Seccionador	Q
Contactor auxiliar de memória mecânica	K, KA	Indutância	L	Selector	S
Contador de impulsos	P	Instrumento de medida	P	Semicondutor, tubo electrónico	V
		Interruptor de posição e proximidade	S	«Shunt»	R
		Lâmpada	E	Sinalizador luminoso	H
		Limitador de sobretensão	B	Sinalizador sonoro	H
		Manómetro e manostato	B	Termistância	R
				Termostato	B
				Tiristor	V
				Tomada	X
				Transdutor	B
				Transf. potência	T
				Transf. corrente	T
				Transf. tensão	T

### NUMERAÇÃO DOS BORNES DOS APARELHOS

Permite uma economia importante quando da concepção do esquema e da cablagem do equipamento. Facilita as operações de ensaio de manutenção e de reparação de avarias.

**REFERENCIAÇÃO DOS BORNES DE LIGAÇÃO DOS APARELHOS:** As referências indicadas são as que constam nos bornes ou na placa sinalética do aparelho. A cada órgão de comando, tipo de contactos (principal, auxiliar, instantâneo ou temporizado) são afectadas 2 referências alfanuméricas ou numéricas, próprias destes aparelhos.

**CONTACTOS PRINCIPAIS** (contactores, seccionadores e relés de protecção contra sobrecargas):



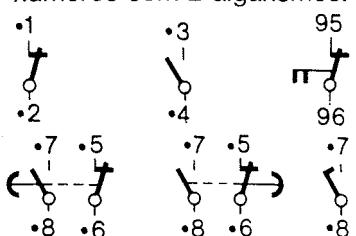
Os bornes são referenciados com 1 só algarismo.

- de 1 a 6 em tripolar
- de 1 a 8 em tetrapolar
- de 1 a 0 em pentapolar

Os algarismos ímpares são colocados no cimo (a montante) e a progressão é efectuada de cima para baixo e da esquerda para a direita.

Nos contactores de pequeno calibre (9 e 12A), o quarto pôlo dum contactor tetrapolar faz a excepção a esta regra: os seus bornes têm as mesmas referências que as do contacto auxiliar «F» de que ocupa o lugar.

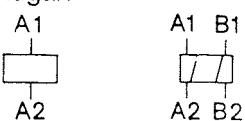
**CONTACTOS AUXILIARES:** Os bornes dos contactos dos circuitos de comando são referenciados por números com 2 algarismos. Os algarismos das unidades indicam a função do contacto auxiliar.



- 1 e 2: contacto normalmente fechado (NF)
- 3 e 4: contacto normalmente aberto (NA)
- 5 e 6: contactos normalmente fechados (de funcionamento especial tal como temporizado, decalado, de passagem, de protecção dum relé de sobrecarga)
- 7 e 8: contactos normalmente abertos (de funcionamento especial tal como temporizado, decalado, de passagem, de protecção dum relé de sobrecarga)

O algarismo das dezenas indica o número de ordem de cada contacto do aparelho, o qual pode corresponder à fila do contacto auxiliar no aparelho, indo-se da esquerda — fila 1 — para a direita. A fila 9 (e 0 se necessário) está reservada aos contactos auxiliares dos relés de protecção contra sobrecargas seguida da função 5 e 6 ou 7 e 8.

**ÓRGÃOS DE COMANDO** (bobinas): As referências são alfanuméricas, estando a letra colocada em primeiro lugar:



- bobina de comando dum contactor A1 e A2 (em certos aparelhos utiliza-se ainda A e B).
- bobina de comando de 2 enrolamentos dum contactor: A1 e A2, B1 e B2

### REFERENCIAÇÃO DOS BORNES NAS CAIXAS DE BORNES:

Círculo de potência: Alimentação: L1-L2-L3-N-PE.

Para um motor: U-V-W; K-L-M.

Para resistências de arranque: A-B-C, etc.

Círculo de comando: Em cada grupo de bornes, a numeração vai em ordem crescente e da esquerda para a direita, de 1 a n.

### EXECUÇÃO DOS ESQUEMAS

O círculo de potência e o círculo de comando são representados em duas partes distintas do esquema:

#### CÍRCUITO DE POTÊNCIA (desenhado a traço grosso):

Na parte superior do esquema do círcuito de potência, as linhas horizontais representam a rede de alimentação. Os diferentes motores ou aparelhos receptores são colocados nas derivações. A representação pode ser feita quer sob a configuração unifilar para os casos simples (discontactores, arrancadores estatóricos, etc.) quer multifilar para os outros casos (inversores, arrancadores «estrela-triângulo», motores de 2 velocidades, etc.). Numa representação unifilar, a quantidade de traços oblíquos cortando a linha de ligação indica a quantidade de condutores semelhantes do circuito representado (2 para a rede monofásica, 3 para a rede trifásica, etc.).

O utilizador pode determinar a secção dos condutores consultando as características eléctricas de cada receptor, indicadas quer no esquema se ele é simples, quer numa nomenclatura se ele é complicado.

#### CÍRCUITO DE COMANDO E SINALIZAÇÃO (desenhado a traço fino):

Duas linhas horizontais ou «condutores comuns» ilustram a alimentação.

Os símbolos de todos os órgãos de comando estão dispostos uns a seguir aos outros, sempre que possível, na ordem correspondente à sua alimentação quando em funcionamento normal.

As bobinas dos contactores e os diversos receptores, lâmpadas, avisadores, relógios, etc., são directamente ligadas ao condutor inferior. Os outros órgãos (contactos auxiliares, dispositivos de comando tais como botões de pressão ou interruptores de posição) assim como os bornes de ligação estão representados por cima dos órgãos de comando. Os bornes de ligação distinguem-se dos aparelhos por um círculo de maior diâmetro. A sua referência de identificação alfanumérica ou gráfica é indicada ao lado.

Os conjuntos e os aparelhos auxiliares externos são eventualmente desenhados num enquadramento a tracejado fino e misto.

## Esquemas de automatismos

### 1 — Alguns esquemas simples de comando e sinalização

#### INTERRUPTORES DE POSIÇÃO E INTERRUPTORES DE IMPULSO (PRESSÃO)

Os INTERRUPTORES DE POSIÇÃO são interruptores que permanecem na posição para onde são levados e podem tomar várias posições (várias posições de ligado e uma de desligado). A figura 25 exemplifica um interruptor de posição, com uma posição de ligado e outra de desligado, permitindo comandar a alimentação da bobina de um contactor.

Os INTERRUPTORES DE IMPULSO (PRESSÃO) são interruptores que só permanecem na posição para onde são levados enquanto durar a ação do operador. Têm, portanto, uma posição de ligado e outra de desligado, podendo por isso ser interruptores NF (interruptor S1 na figura 26) ou NA (interruptor S2 na figura 26). O interruptor de pressão NA tem frequentemente em paralelo um contacto auxiliar NA do contactor com o qual está em série. Este contacto fecha logo que o contactor é alimentado pela simples pressão do interruptor S2, permitindo assim que o contactor conti-

nue alimentado. Por este facto, a este contacto chama-se contacto de AUTO-ALIMENTAÇÃO (contacto K na figura 26).

Os dois tipos de interruptores apresentados têm as seguintes vantagens e desvantagens um em relação ao outro.

**a)** O interruptor de posição é mais fácil de cablar (ligar os fios), já que são necessários apenas 2 fios para ligar o interruptor, enquanto que para ligar o interruptor de pressão são necessários 3 fios (comparar figuras 25 e 26).

**b)** O interruptor de pressão tem a vantagem de permitir o comando de locais diferentes. O uso do outro é bastante mais complexo.

**c)** Os interruptores de pressão permitem que a ligação seja manual, sendo, no entanto, a paragem feita automaticamente (fim-de-curso, flutuador de bóia, etc.).

**d)** Em caso de falta de tensão, em ambos os casos os circuitos respectivos ficariam sem tensão (bobinas não actuadas). No entanto, enquanto o circuito com interruptor de posição se religaria por si só, o circuito com interruptor de pressão para ser religado terá que ser actuado novamente no interruptor S2. Trata-se, na maioria dos casos, de uma vantagem do interruptor de pressão, visto assim o circuito ficar protegido contra os incon-

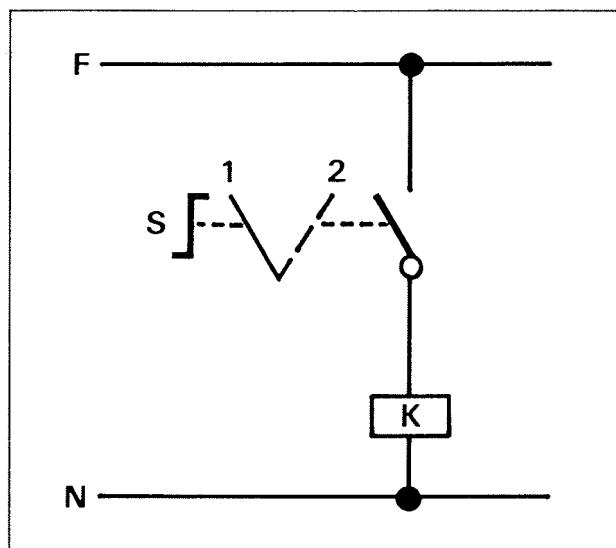


Fig. 25 — Interruptor de posição.

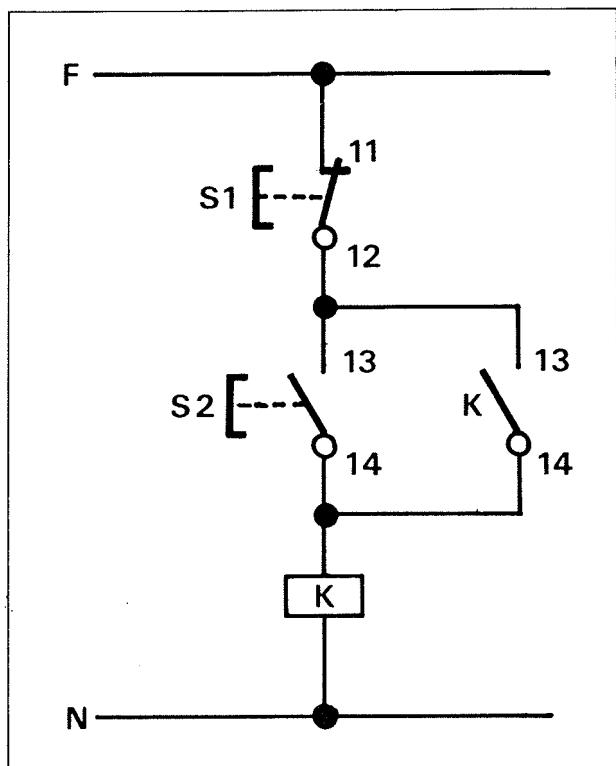


Fig. 26 — Interruptor de impulso com auto-alimentação.

venientes que podem advir do regresso da tensão, sem serem tomadas as precauções aconselháveis em cada caso. Há casos no entanto (menos frequentes) em que existe vantagem na ligação automática do circuito logo que volte a tensão (por exemplo nas bombas de água).

e) Em circuitos com interruptor de pressão não é possível saber, pela posição do interruptor, se o contactor está ou não actuado. Para evitar esta desvantagem é frequente usar-se uma lâmpada de sinalização.

### COMANDO LOCAL E À DISTÂNCIA

A necessidade de efectuar o comando, por exemplo de uma máquina, de vários locais diferentes, leva a que se utilizem quase exclusivamente botões de pressão. Consideremos então o circuito da figura 27.

Neste circuito, a parte a cheio constitui o comando local, enquanto a parte a tracejado (interruptor S4) constitui o comando à distância.

Verifica-se assim que o comando de dois ou mais locais diferentes é garantido atendendo às seguintes duas regras:

a) Todos os interruptores de «paragem» (S1 e S2) devem estar colocados em série com o respectivo contactor (K).

b) Todos os interruptores de «marcha» (S3 e S4) devem estar colocados em paralelo entre si e com o contacto de auto-alimentação quando existe.

### ENCRAVAMENTOS

O **encravamento** é uma técnica que permite evitar a ligação simultânea de 2 ou mais receptores. A sua aplicação é muito generalizada, nomeadamente no ARRANQUE e na INVERSÃO DE MARCHA de motores.

a) O **ENCRAVAMENTO ELÉCTRICO SIMPLES** é obtido por inserção de um contacto normalmente fechado, NF, do comando de um dos receptores, no circuito de comando do outro receptor. A figura 28 exemplifica este encravamento.

Por análise da figura 28 verifica-se que, enquanto o contactor K2 estiver alimentado (o resto deste circuito está representado a tracejado por ser desnecessário para o raciocínio que se está a fazer), o seu contacto K2

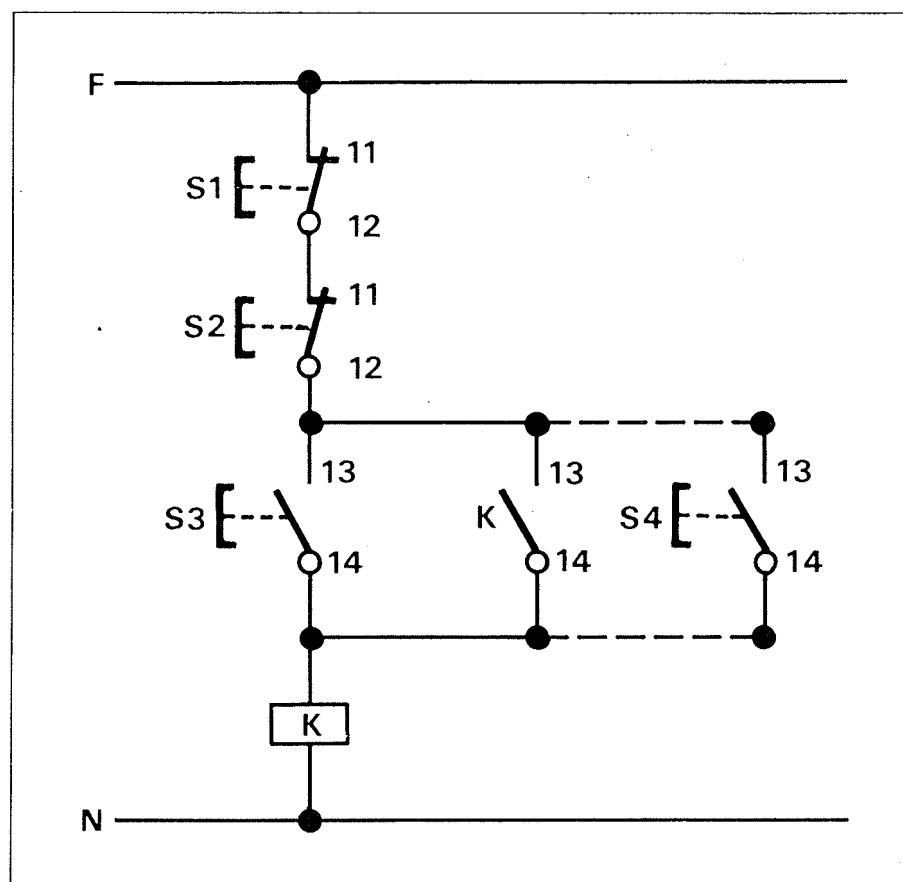


Fig. 27 — Comando local e à distância com interruptor de impulso.

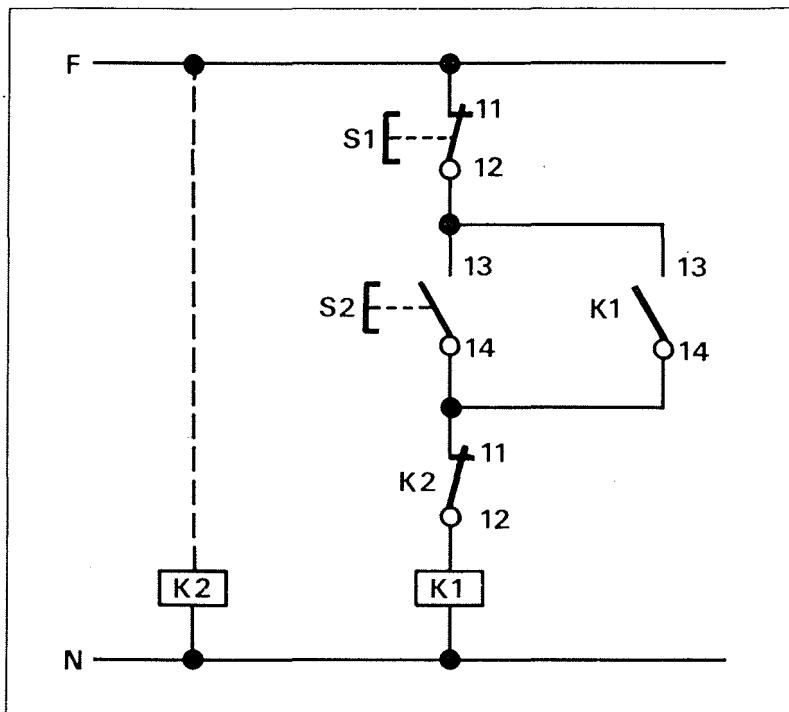
(11-12) abre, evitando assim que o contactor K1 seja também alimentado.

**b)** O ENCRAVAMENTO ELÉCTRICO DUPLO obtém-se por inserção de contactos NF, quer dos contactores, quer dos interruptores de «marcha» (ver figura 29).

Deste modo consegue-se que, ao premir-se simultaneamente, por descuido, os 2 interruptores S2 e S4, nenhum dos contactores

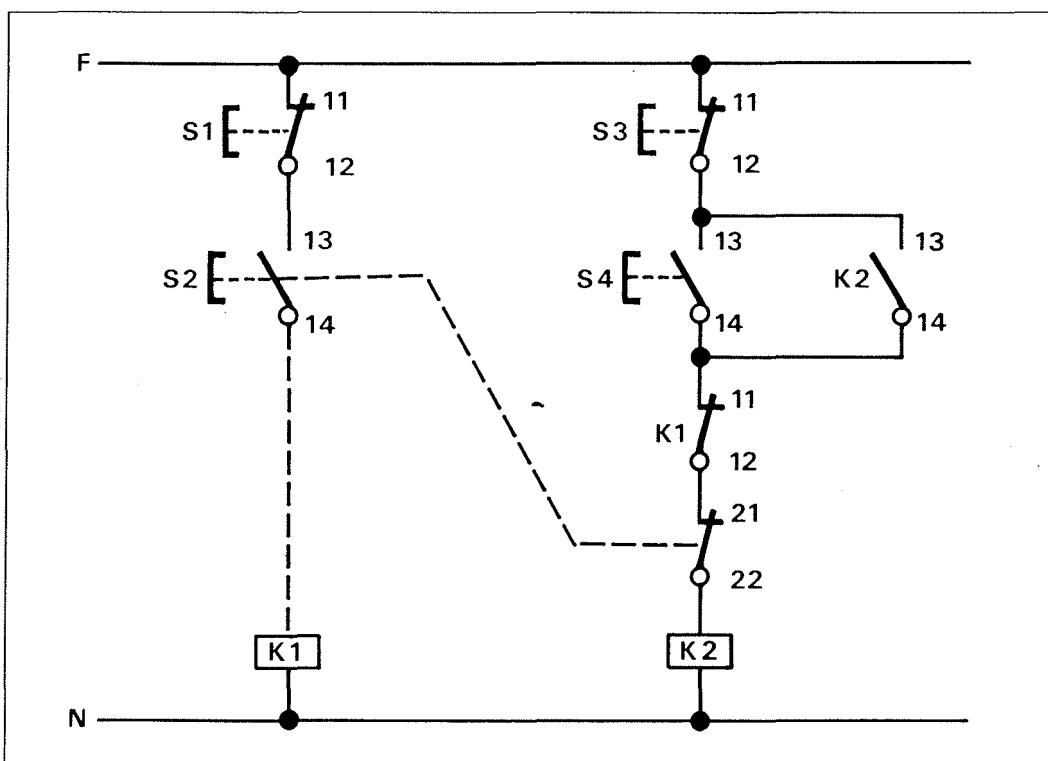
seja ligado. Observe-se que o encravamento duplo pode também ser feito de outras formas (por exemplo: entre um contacto K1 e e outro K2 normalmente fechados; entre os 2 interruptores S2 e S4).

**c)** O encravamento pode ainda ser MECÂNICO, pelo uso de um dispositivo mecânico que impede que um dos contactores feche enquanto o outro estiver ligado. Tal disposi-



**Fig. 28** — Encravamento eléctrico simples entre contactores.

**Nota:** o tracejado quer dizer que faltam alguns elementos no circuito, os quais não foram indicados por não influírem no raciocínio que se está a fazer.



**Fig. 29**  
Encravamento  
eléctrico duplo.

tivo é usado em casos em que se exige máxima segurança, nomeadamente nas inversões de marcha de motores de potência elevada e no arranque de motores em estrela-triângulo. Note-se que é mais fácil uma avaria num sistema de encravamento eléctrico do que num sistema de encravamento mecânico. De qualquer forma é frequente em circuitos em que se exige grande segurança serem utilizados simultaneamente os 2 tipos de encravamento. O símbolo utilizado para o encravamento mecânico é o indicado na figura 30.

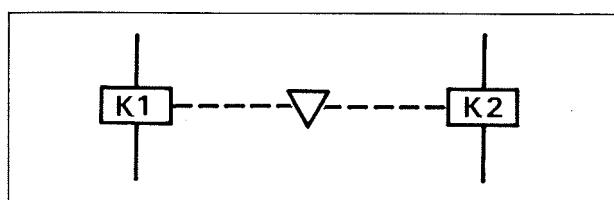


Fig. 30 — Encravamento mecânico entre contactores.

### CIRCUITOS SEQUENCIAIS

Surge, por vezes, a necessidade de que um receptor ligue só após outro ter sido ligado. Tal situação é muito frequente, nomeadamente em termoventiladores (a ligação das

resistências de aquecimento só é feita depois de ser ligado o ventilador), em cadeias de transporte (ligação sucessiva de várias passadeiras rolantes).

Um circuito simples que permite executar esta cadeia de operações é exemplificado na figura 31.

É simples de verificar que o contactor K2 só é alimentado depois de o contactor K1 o ser, assim como K3 só o é depois de K2 e assim sucessivamente.

### SINALIZAÇÃO

A sinalização é um aspecto essencial na comunicação ao utilizador de informações sobre o funcionamento do circuito.

Estas indicações podem ser de carácter sonoro ou luminoso, estando os elementos respectivos frequentemente instalados em painel, ao qual se dá o nome de QUADRO SÍNÓPTICO, desde que represente esquematicamente o funcionamento da instalação.

Vejamos então alguns dos principais tipos de sinalização.

- **Sinalização de serviço**

A informação de que um certo aparelho está em serviço pode ser dada por qualquer dos circuitos da figura 32.

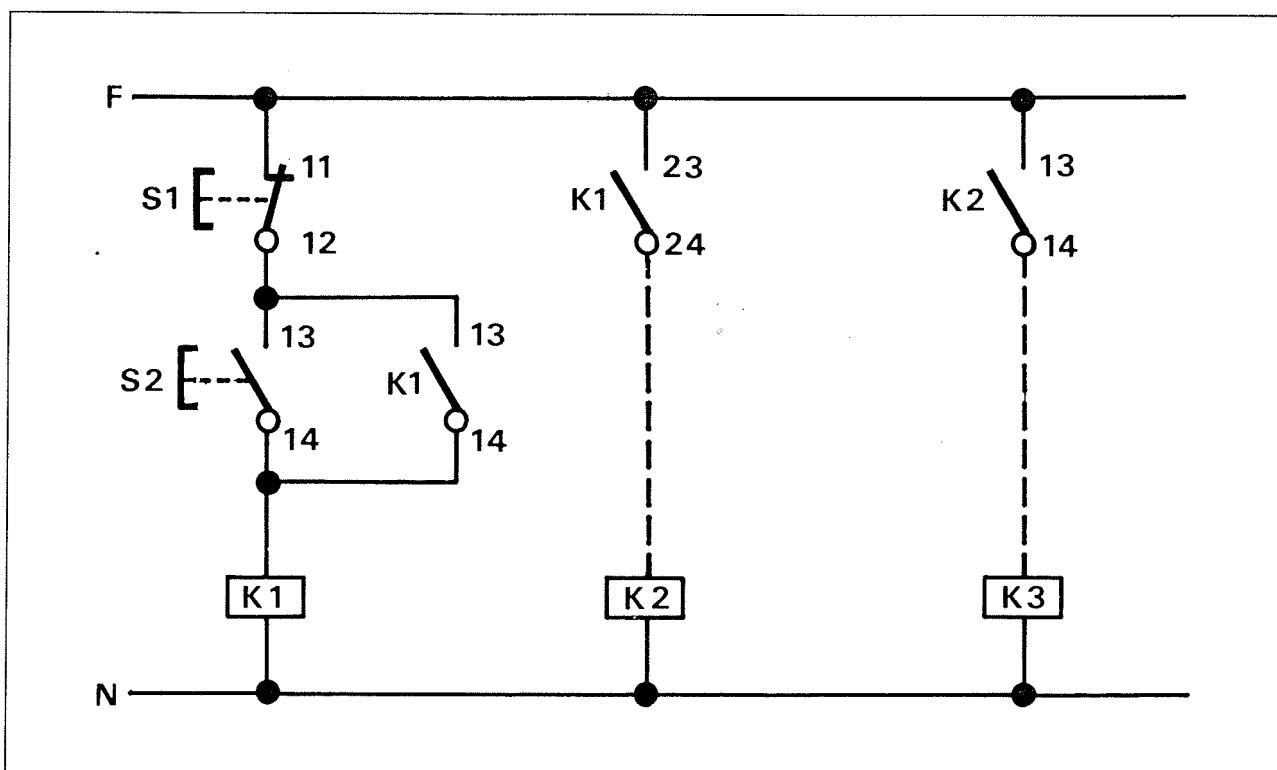


Fig. 31 — Circuitos sequenciais. Ligação sucessiva de contactores.

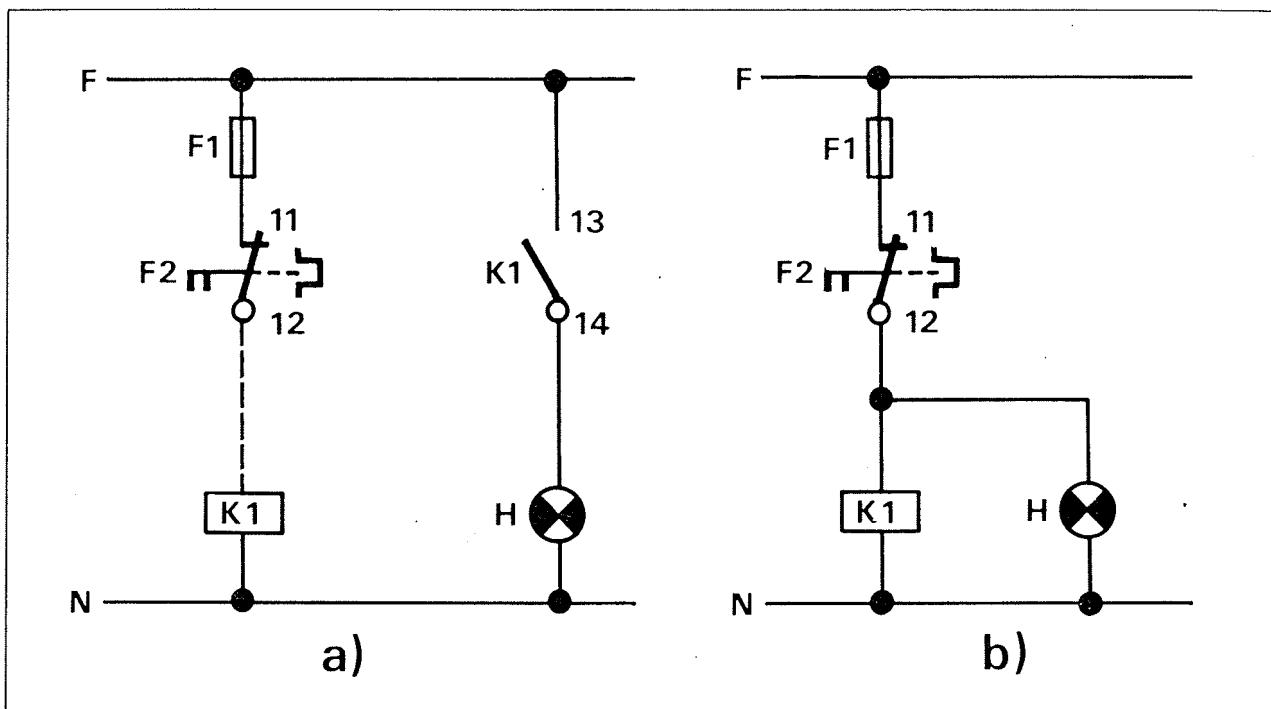


Fig. 32 — Sinalização de serviço. a) A lâmpada só acende quando o contactor “atráca”. b) A lâmpada acende desde que o contactor esteja sob tensão (“atraque” ou não).

Em qualquer dos casos, quando o contactor K1 estiver sob tensão, a lâmpada sinalizadora, H, acende, dando-nos a informação de que nada de anormal se passa no circuito. Se o fusível, F1, fundir ou o relé, F2, disparar, o contactor K1 deixa de ser alimentado, desligando a lâmpada e indicando-nos que algo de anormal se passa.

A utilização do segundo circuito pode, no entanto, danificar a lâmpada dado o carácter indutivo da bobina do contactor K1. Por outro lado, mesmo que a bobina do contactor se queime, a lâmpada continua acesa, não indicando o defeito no contactor, o que não se verifica no exemplo a) da figura 32.

#### • Sinalização de defeito

A comunicação ao operador dos defeitos ocorridos num equipamento é do maior interesse, pois que permite fazer a localização rápida da avaria, a respectiva resolução ou mesmo a tomada de providências: como desligar parte do circuito ou fazer arrancar um equipamento de reserva (socorro).

Os tipos mais vulgares de sinalização de defeito são: sinalização de disparo de relé térmico (por sobrecarga) e de disparo de fusível (por curto-círcito).

No circuito da figura 33, o disparo do relé,

F2, provoca a ligação da lâmpada sinalizadora, H1. O disparo do fusível com percutor, F3, provoca a ligação da lâmpada, H2.

Um outro circuito utilizado para o mesmo efeito é o indicado na figura 34.

Este circuito é mais eficiente (fiável), pois o disparo de F2 permite ligar o contactor auxiliar KA, o qual dá a ordem de acender a lâmpada. Além disso permite ligar simultaneamente várias lâmpadas de sinalização em locais diferentes, através dos múltiplos contactos auxiliares do contactor KA.

#### • Sinalização sonora

A sinalização sonora é utilizada também quer como sinalização de serviço (muito rara), quer como sinalização de defeito (alarme). Torna-se então necessário incluir um dispositivo que permita interromper o alarme (buzina, campainha, sirene, etc.), durante a reparação da avaria. O circuito da figura 35 cumpre essa função.

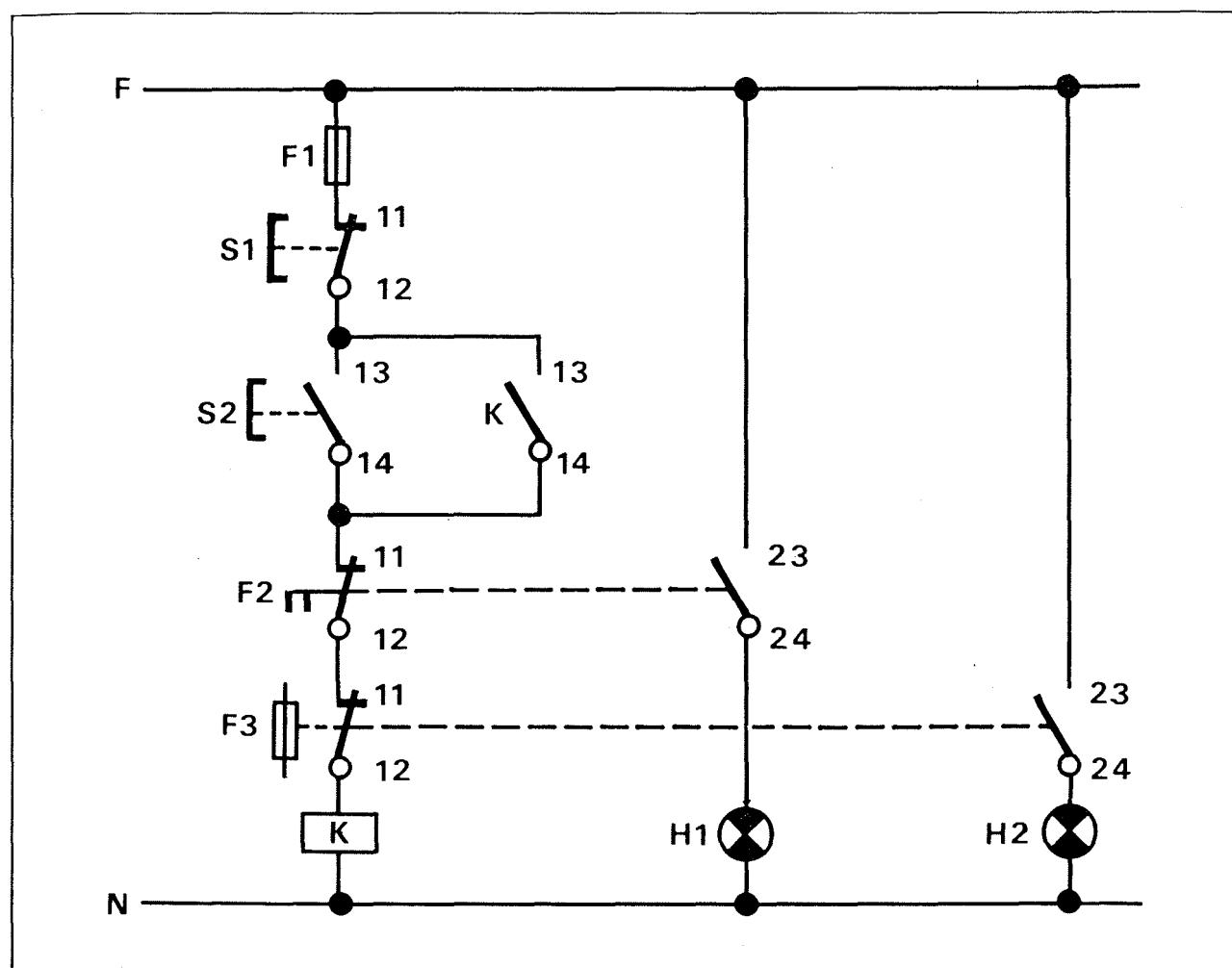
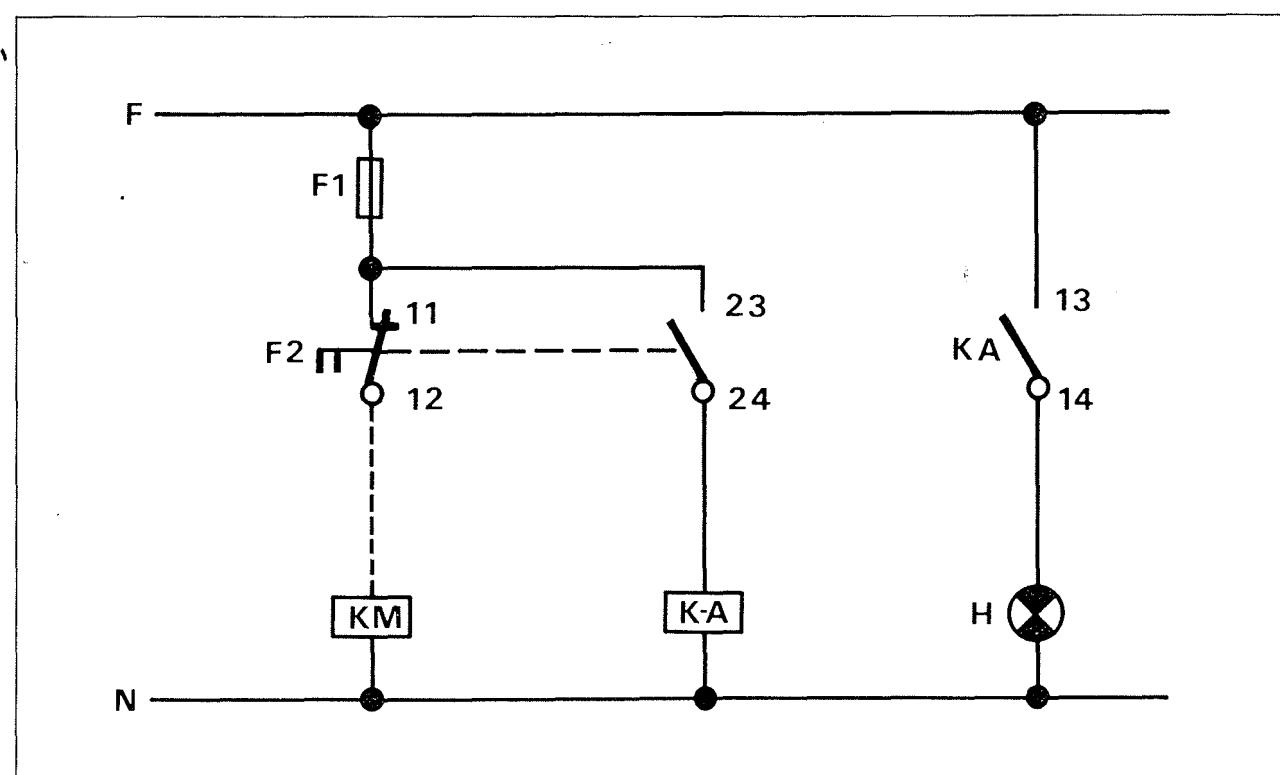
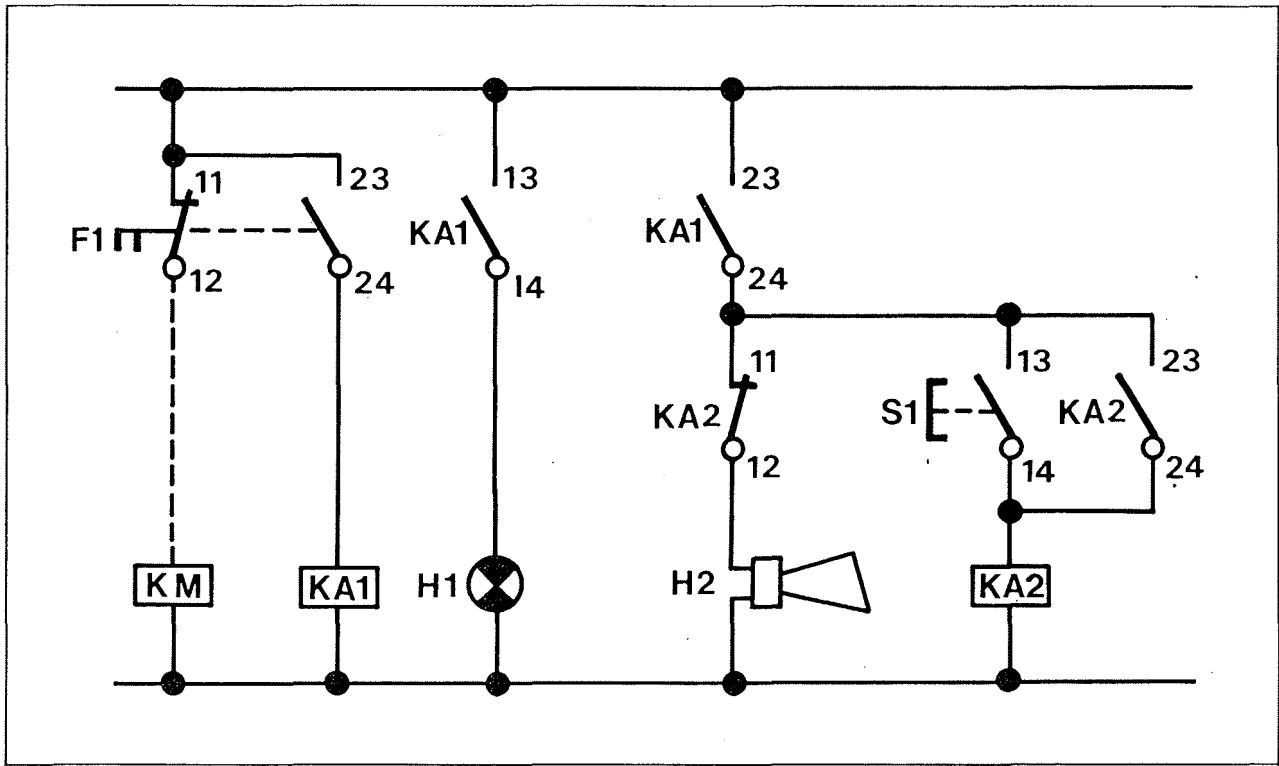


Fig. 33 — Sinalização de defeito. As lâmpadas acendem quando há uma sobrecarga ou um curto-circuito no circuito de potência.

Fig. 34 — Sinalização de defeito, utilizando um contactor auxiliar KA.





**Fig. 35** — Sinalização sonora. A lâmpada acende e a sirene toca quando há uma anomalia no circuito de potência.

Logo que haja uma sobrecarga que faça disparar o relé F1, o contactor auxiliar KA1 ao ser alimentado liga a lâmpada H1 e a sirene H2, sinalizando o defeito. Premindo o interruptor S1, o contactor auxiliar KA2, sendo alimentado, faz abrir o seu contacto KA2 (11-12) desligando a sirene, podendo deste modo ser reparada a avaria sem o incómodo da sirene.

#### • Teste de lâmpadas

Para permitir a substituição periódica de lâmpadas sinalizadoras avariadas, bem como para, em caso de defeito no circuito (receptores), verificar o bom funcionamento das lâmpadas, é utilizado um circuito — o TESTE DE LÂMPADAS, conforme é indicado na figura 36.

Premindo S1, o contactor TL ao ser alimentado abre TL (11-12) e fecha TL (23-24), alimentando a lâmpada H pelo «ramo de teste». Se a lâmpada acende desta forma, não há necessidade de a substituir e temos a garantia de que se disparar F1 a lâmpada sinalizará o facto.

Note-se que o contacto TL (11-12) permite fazer este teste com o circuito a testar, ligado.

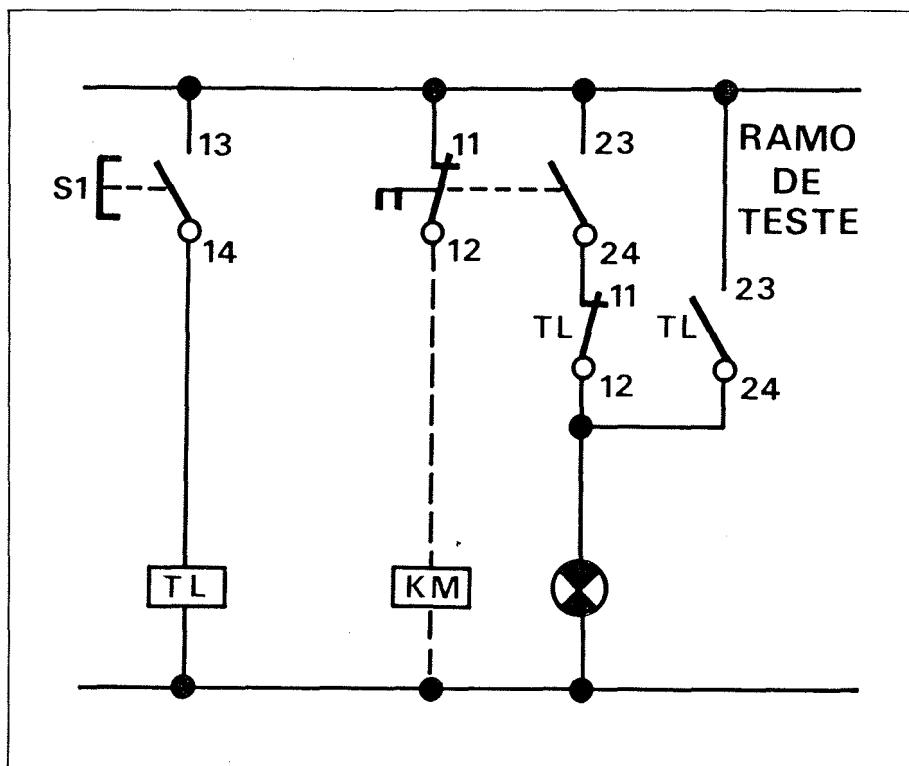
## 2 — Esquemas de automatismos para comando de motores

#### DISCONTACTOR

O esquema da pág. 49 representa um circuito para arranque de um motor assíncrono trifásico, através de um contactor e botoneira com dois botões de pressão «Marcha-Paragem» (S2-S1). A protecção do circuito é feita por um relé térmico F2 (contra sobrecargas) e por um seccionador fusível tripolar Q1 (contra curtos-circuitos). O comando da bobina do contactor é feito do seguinte modo: quando o botão de «Marcha» S2 é accionado, fecham-se os seus contactos NA 13-14 (Q1 foi fechado manualmente), o que leva a que a bobina do contactor seja alimentada. Fecham-se então automaticamente os contactos principais do contactor KM1, bem como os contactos auxiliares 13-14, os quais estabelecem a auto-alimentação da bobina.

Deste modo, ao deixar de actuar sobre S2, a bobina mantém-se alimentada através dos contactos auxiliares.

A paragem do motor é feita por accionamento do botão de pressão S1, o qual interrompe os contactos NF 11-12 e, consequen-



**Fig. 36** — Teste de lâmpadas. Verificação do bom funcionamento da sinalização.

temente, a alimentação da bobina. De igual modo, será o circuito interrompido por abertura dos contactos 95-96 do relé térmico.

#### INVERSOR

Em certos trabalhos é necessário inverter o sentido de rotação do motor, como é o caso dos tornos mecânicos, pontes rolantes, etc. O esquema da pág. 50 representa um desses circuitos.

A inversão do sentido de rotação é feita através de dois contactores, um para o arranque num sentido — KM5 e o outro para a inversão de sentido de rotação — KM6, a qual se consegue por troca de duas fases na alimentação do motor.

Os contactores possuem um encravamento mecânico (símbolo  $\text{--} \nabla \text{--}$ ) que impede o fecho simultâneo de ambos.

O comando é feito através de uma botoneira de três botões de pressão S6 (NF 11-12), S7 (NA 13-14) e S8 (NA 13-14). Vejamos como.

Accionando S7, o circuito da bobina do contactor KM5 fecha-se, ligando o motor no sentido de rotação normal. Simultaneamente são fechados os contactos auxiliares 13-14

do contactor KM5, o que permite a auto-alimentação do mesmo, quando se deixa de accionar S7.

Independentemente do encravamento mecânico que impede o fecho de KM6, existe também ENCRAVAMENTO ELÉCTRICO, já que os contactos auxiliares NF 31-32 de KM5 estão em série com o circuito da bobina de KM6, impedindo a sua alimentação.

Para a inversão do sentido de marcha é necessário accionar primeiro o botão de paragem S6. Depois disso, basta accionar o botão S8, que, funcionando de igual modo que S7, liga o contactor KM6 e, portanto, os contactos, que trocam duas fases da rede.

Os contactos S3 e S4 são acessórios para paragem automática por contacto mecânico (ex: fins de curso).

#### ARRANCADOR ESTRELA-TRIÂNGULO ( $\lambda-\Delta$ )

O arranque estrela-triângulo é de grande aplicação nos motores assíncronos com o rotor em curto-circuito. O sistema consiste em ligar primeiramente os enrolamentos do estator do motor em ESTRELA e, logo que o motor arranque, ligá-los em TRIÂNGULO, que é o modo mais usual de funcionamento. Como é

sabido, esta técnica reduz a corrente de arranque a 1/3 do seu valor. O circuito da página 51 permite o arranque automático, isto é, ao fim de um certo tempo o contactor KM2, de acção retardada, passa a ligação de estrela para triângulo.

● **FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO DE POTÊNCIA**

Sequência de procedimentos — fecho manual de Q1; fecho de KM1 (ligação em estrela); fecho de KM2 (alimentação do motor); abertura de KM1 (eliminação da ligação em estrela); fecho de KM3 (ligação em triângulo).

● **FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO DE COMANDO**

Sequência de procedimentos — accionamento de S10; fecho de KM1; fecho de KM2 por KM1 (contactos auxiliares 13-14); auto-alimentação de KM1 e KM2 por KM2 (contactos 13-14); abertura de KM1 por KM2 (contactos 55-56); fecho de KM3 por KM1 (contactos 31-32); paragem-por accionamento de S9.

Nota — existe encravamento eléctrico entre KM1 e KM3.

**ARRANCADOR PARA MOTOR DE DUAS VELOCIDADES**

(enrolamentos separados, um para cada velocidade)

Na página 52 representa-se o comando automático deste motor.

● **FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO DE POTÊNCIA**

Sequência de procedimentos — fecho manual de Q1; fecho de KM5 ou KM6.

Note que existe encravamento mecânico e eléctrico entre KM5 e KM6.

● **FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO DE COMANDO**

Sequência de procedimentos — accionamento de S2; fecho de KM5; encravamento de KM6 por KM5 (contactos 31-32); auto-alimentação de KM5 (contactos 13-14) ou accionamento de S3; fecho de KM6, etc.; paragem-por accionamento de S1.

**ARRANCADOR ROTÓRICO A 3 TEMPOS**

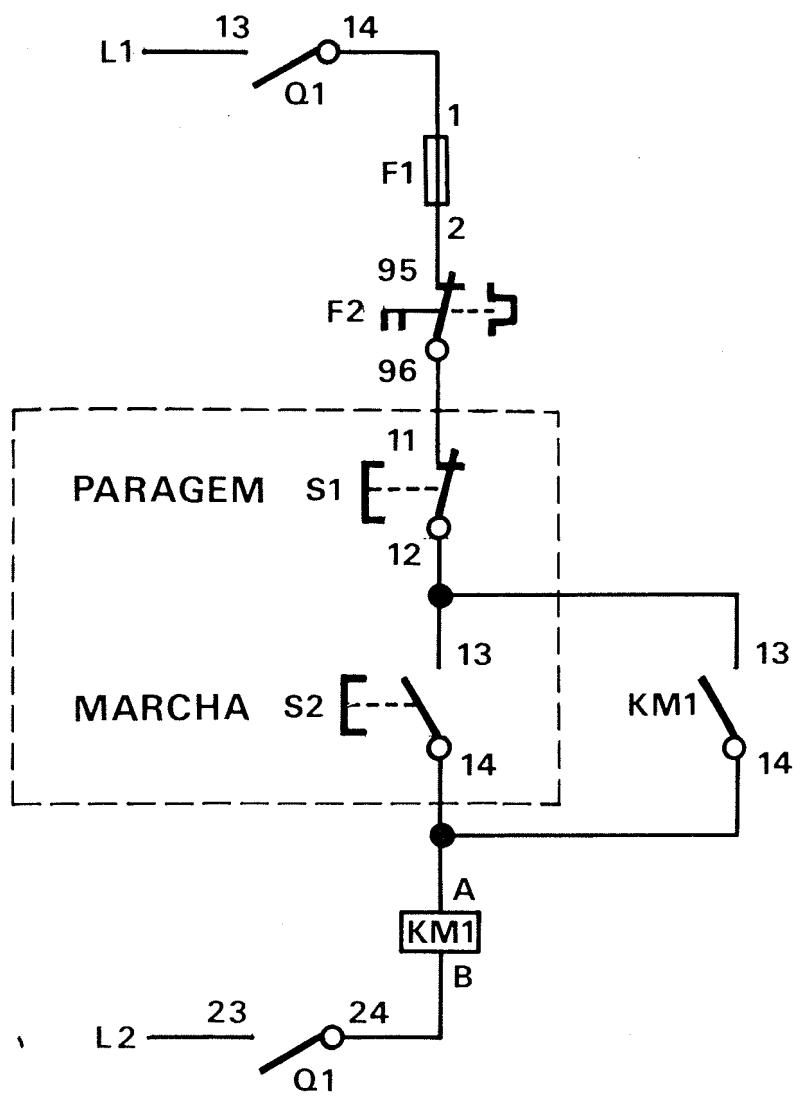
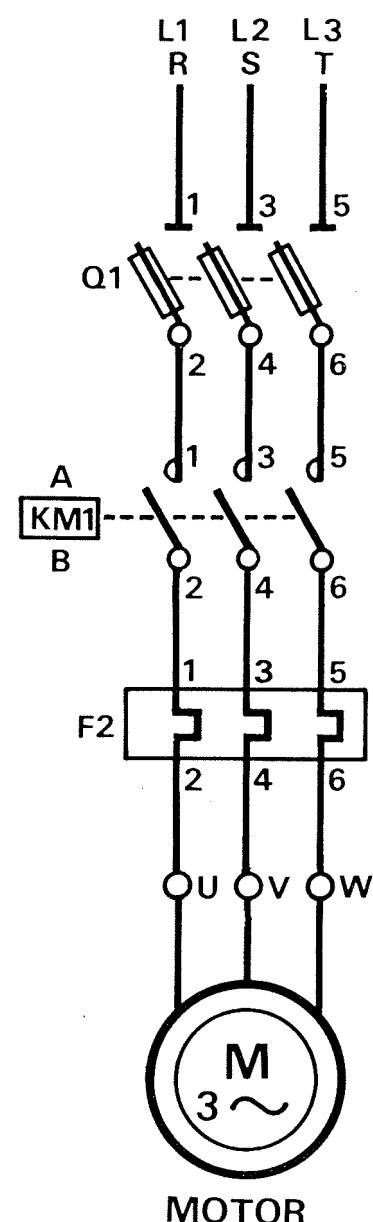
Um motor de rotor bobinado não pode arrancar com os enrolamentos do rotor curto-circuitados, sem provocar pontas de binário e de corrente perigosas. É necessário, então, inserir no circuito do rotor agrupamentos de resistências que serão gradualmente retiradas.

O circuito da página 53 retira dois grupos de resistências R1 e R2 através dos contactores KM3 e KM2.

Os relés de automatismos temporizados à acção KA3 e KA4 accionam, a tempos determinados, os contactores adequados.

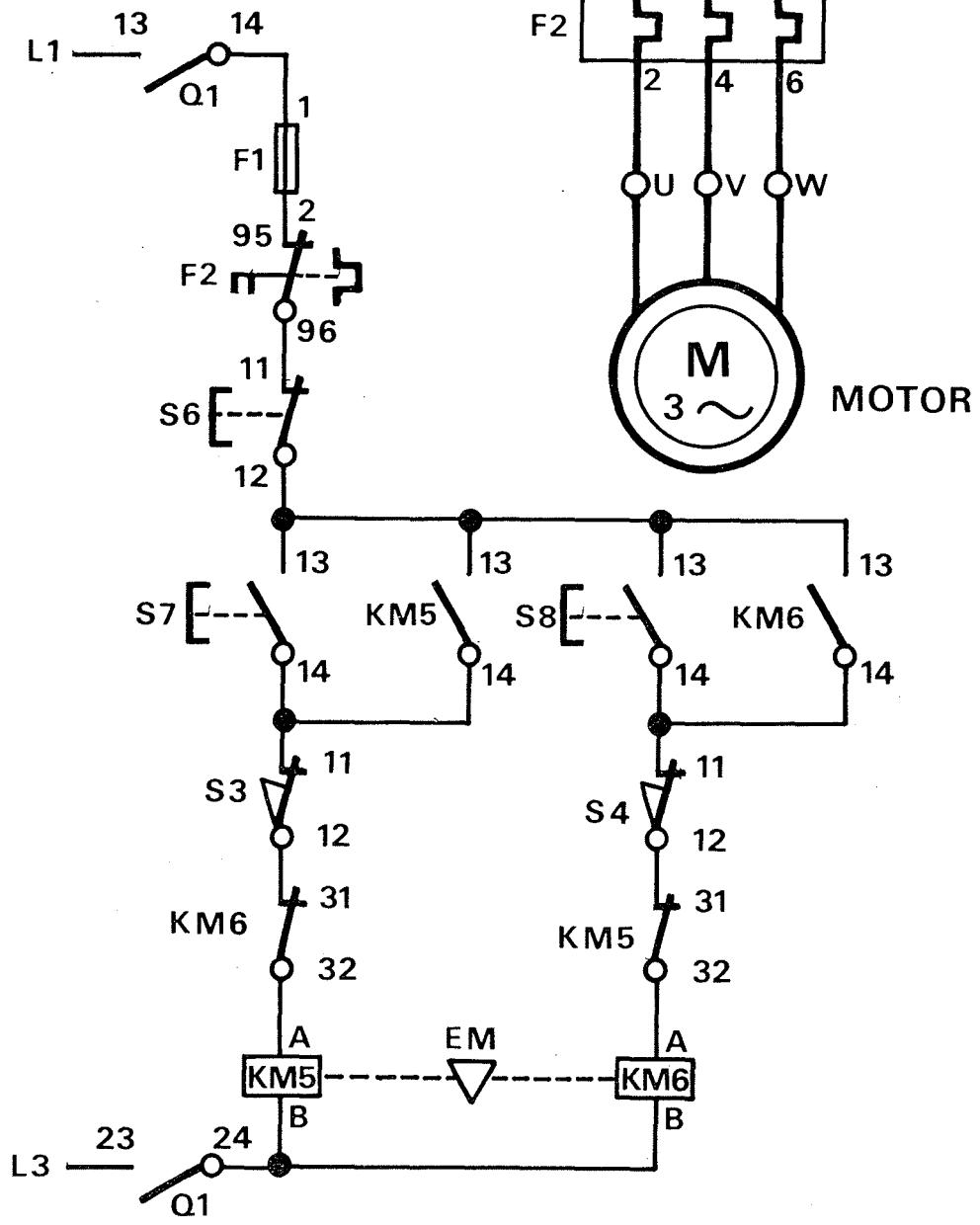
**Como exercício, descreva o funcionamento do circuito de comando.**

## DISCONTACTOR

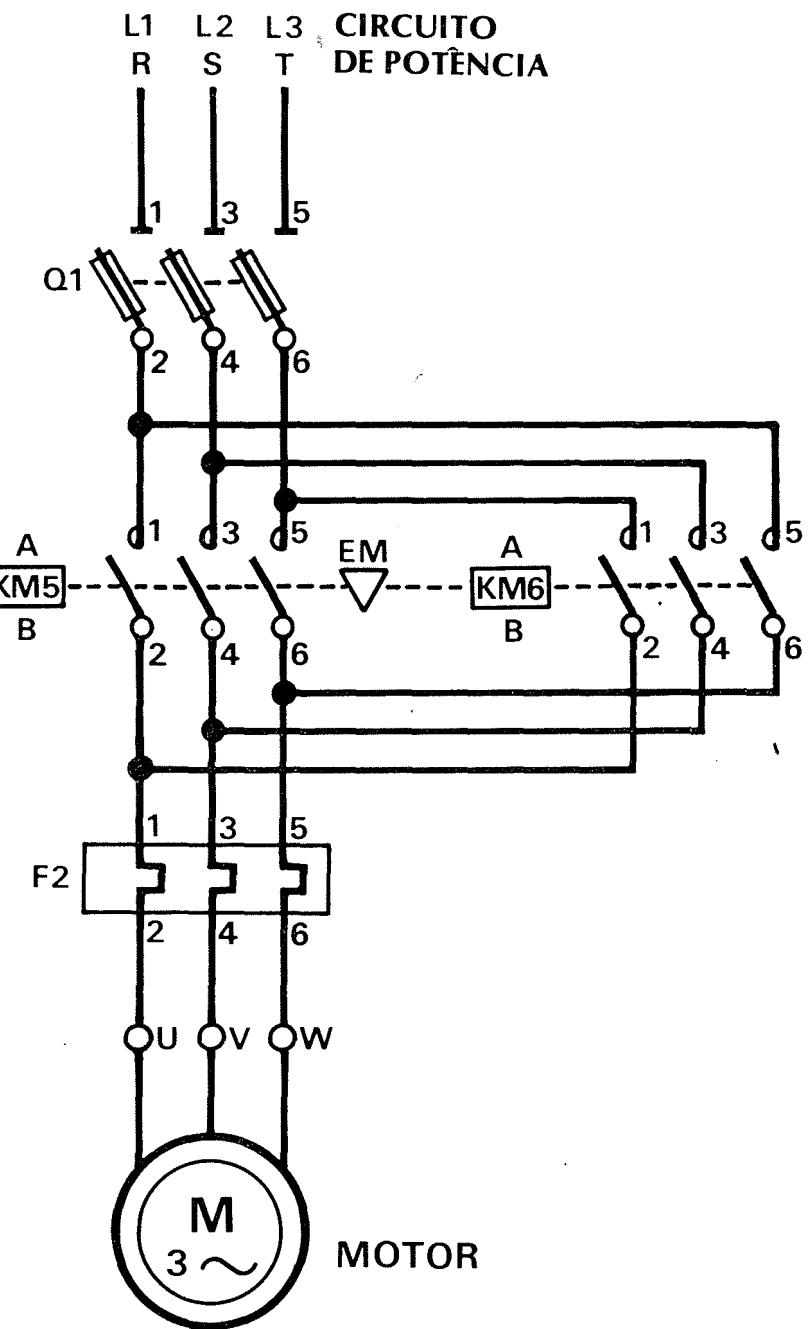
CIRCUITO  
DE COMANDOCIRCUITO  
DE POTÊNCIA

# INVERSOR

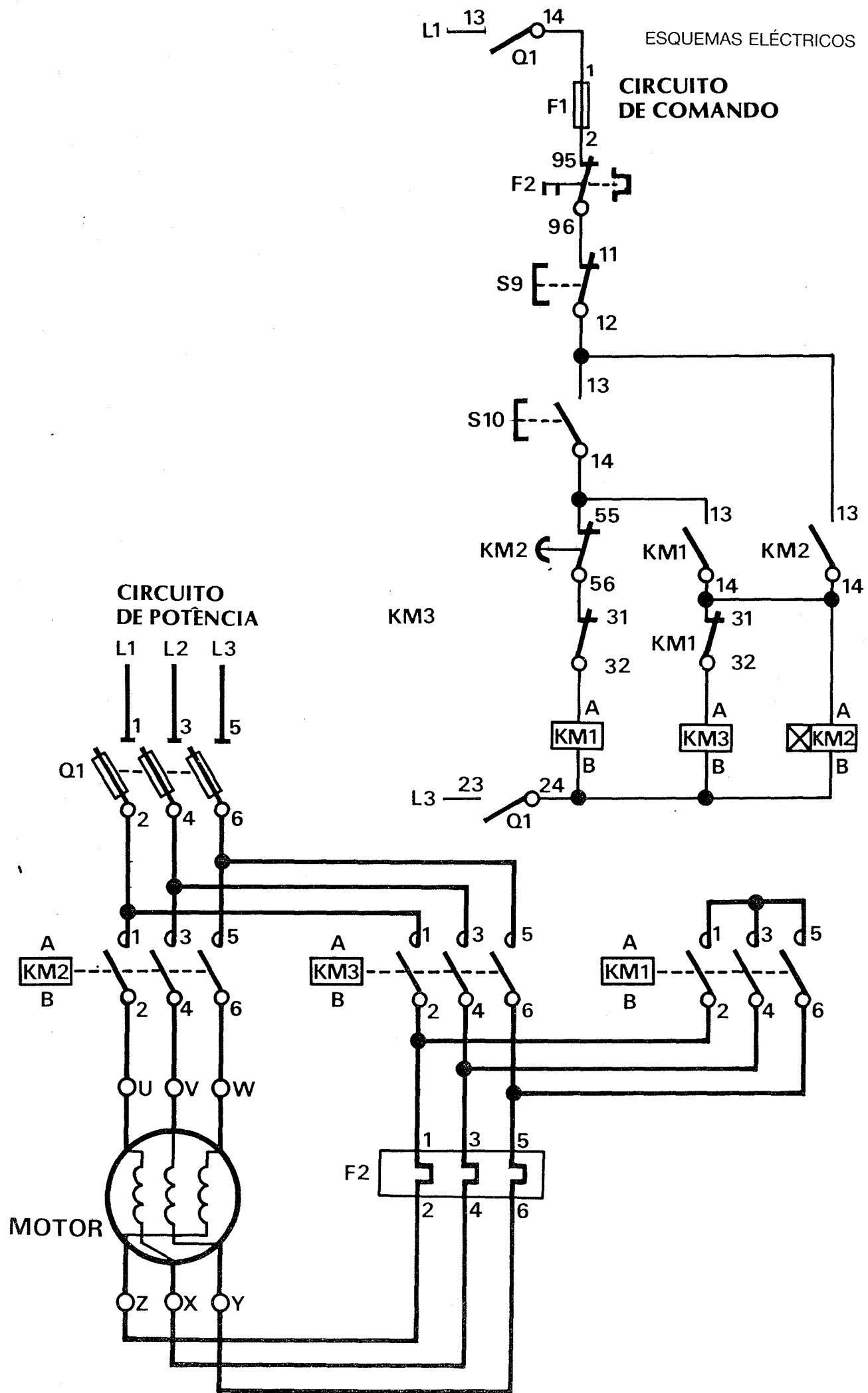
## CIRCUITO DE COMANDO



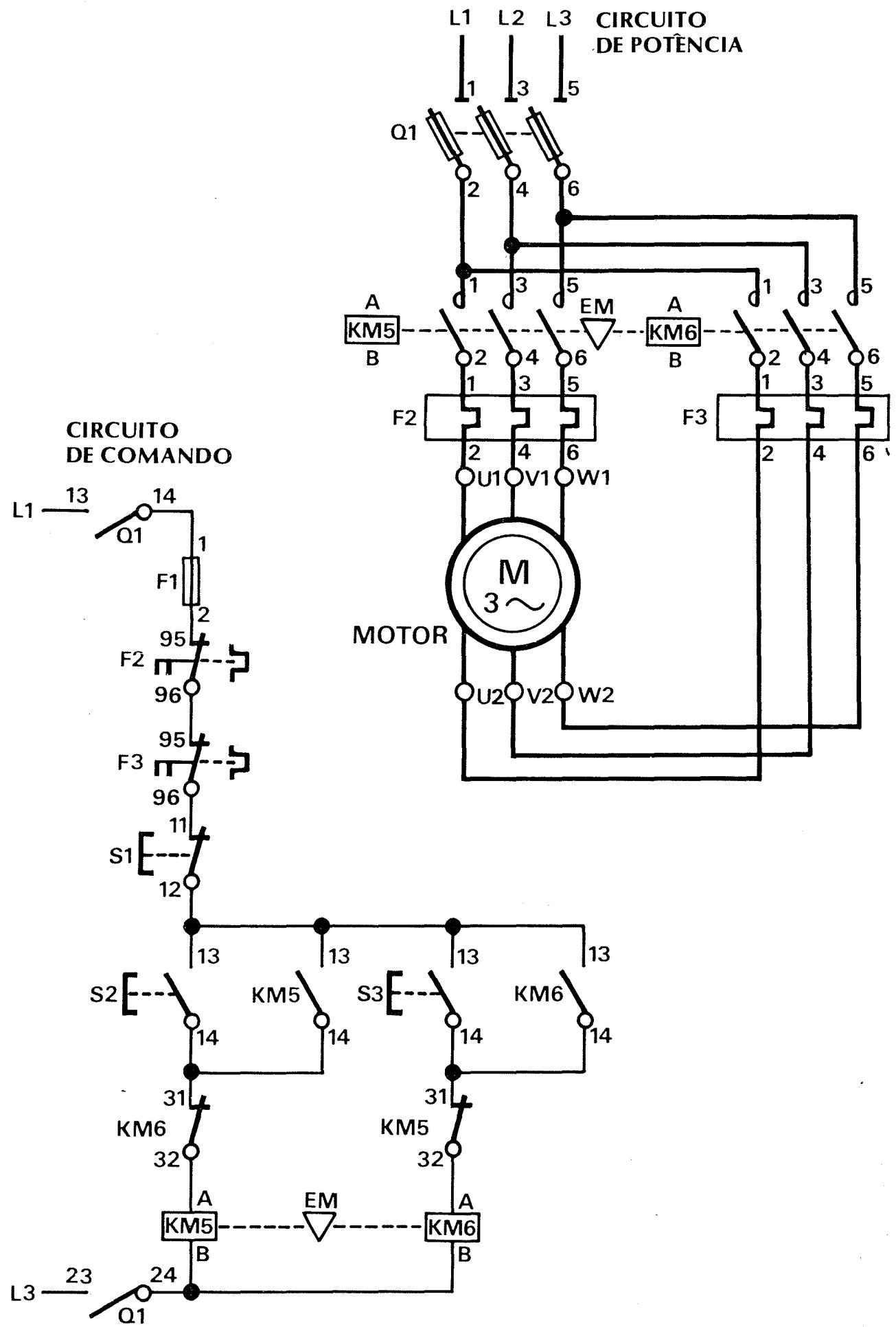
## CIRCUITO DE POTÊNCIA



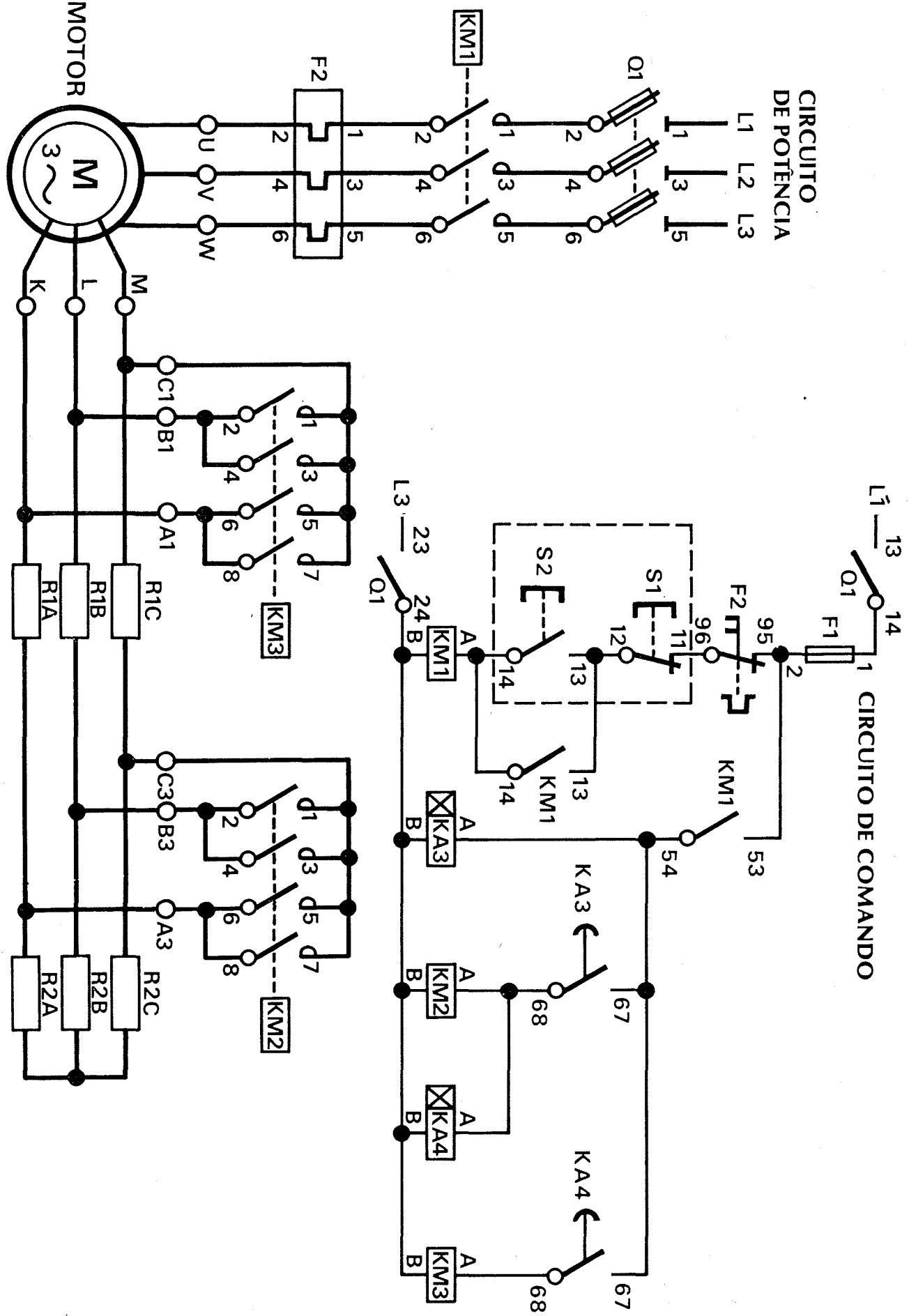
# ARRANCIADOR ESTRELA-TRIÂNGULO



# ARRANCADEIRA PARA MOTOR DE DUAS VELOCIDADES (ENROLAMENTOS SEPARADOS)



# ARRANCIADOR ROTÓRICO (3 TEMPOS)

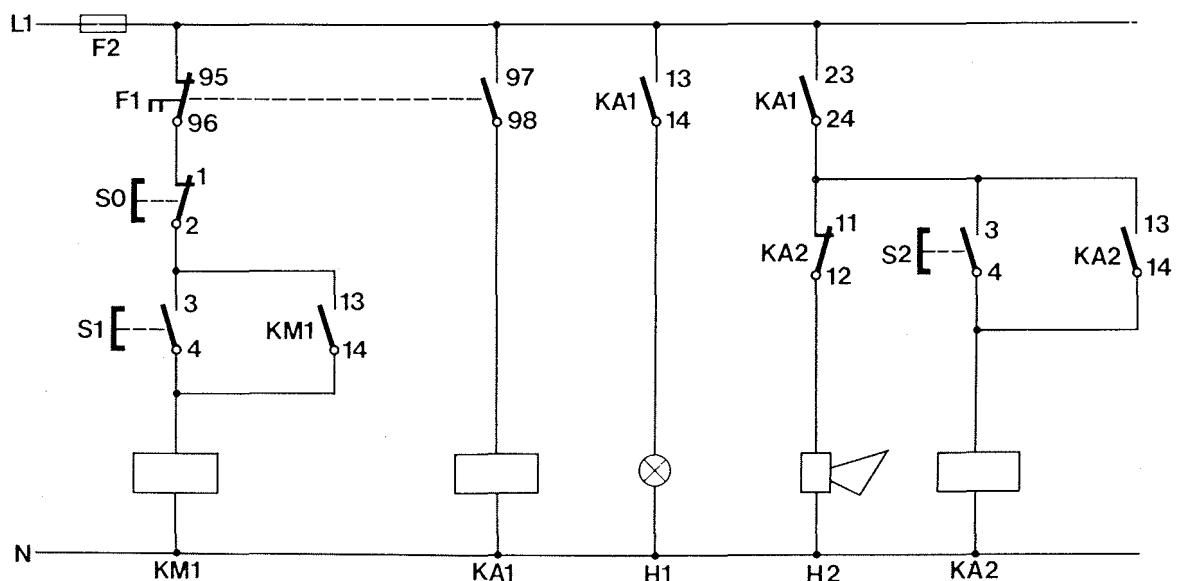
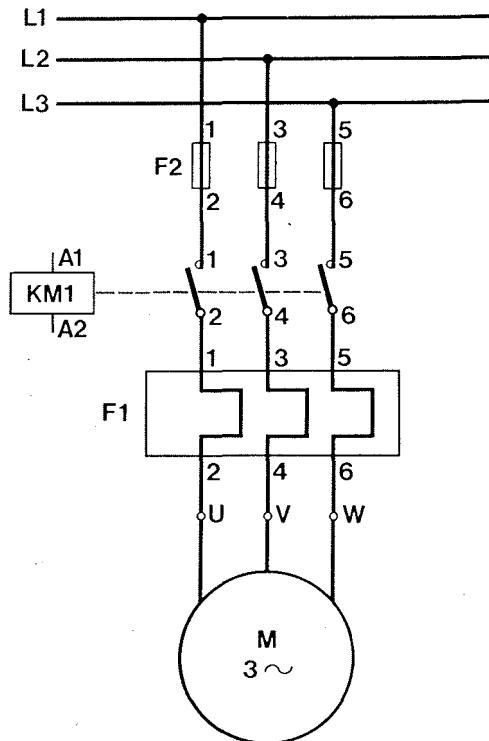


## PROBLEMAS PARA RESOLVER OU INTERPRETAR (COM SOLUÇÕES NA PÁG. 63)

Nota inicial: pretende-se com mais estes exemplos, de carácter não obrigatório, dar ao aluno a possibilidade de melhor compreender os automatismos.

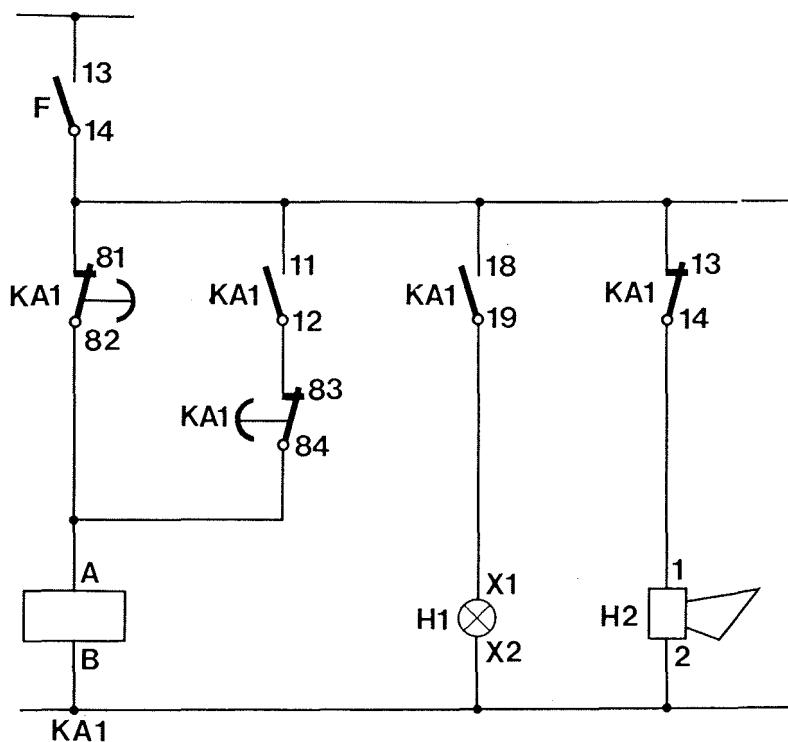
## 1.º — SINALIZAÇÃO DE DEFEITO

Abaixo são representados os circuitos de potência e de comando de um motor, com sinalização de defeito. **Interprete convenientemente o esquema**



## 2.º — SINALIZAÇÃO DE DEFEITO

No circuito de comando seguinte, o contacto F fecha sempre que há alguma anomalia no circuito de potência respectivo. **Interprete convenientemente o esquema.**

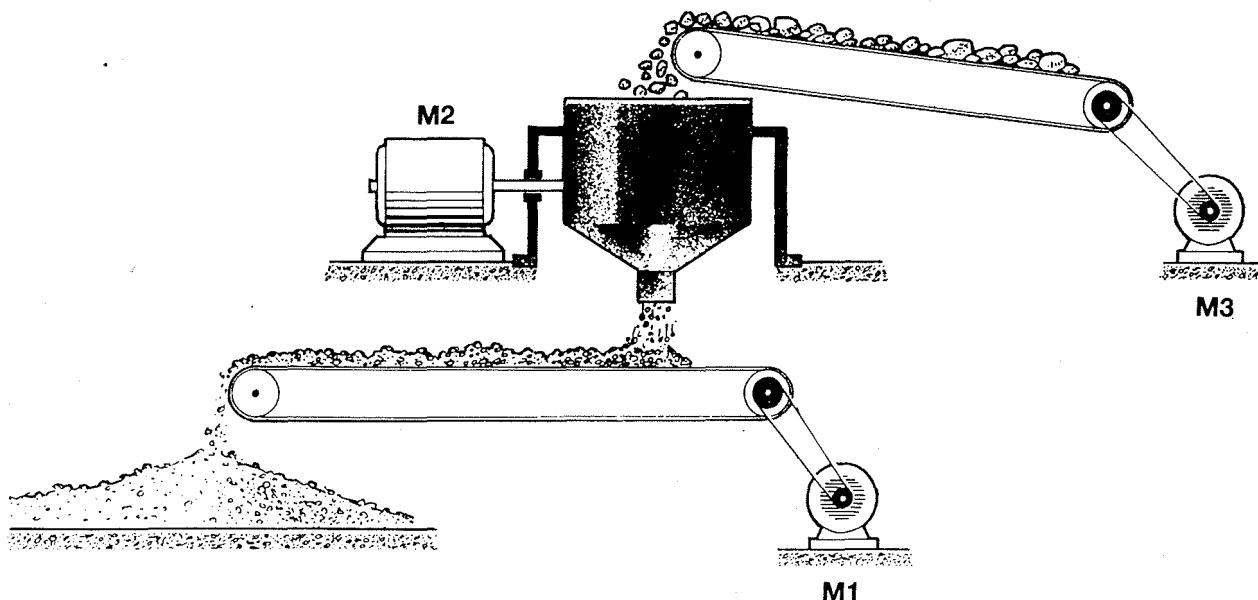


## 3.º — MOINHO COM PASSADEIRAS ROLANTES

Na figura estão representadas duas passadeiras rolantes, tendo entre elas um moinho que tritura a pedra que lá cai. As passadeiras e o moinho são accionados individualmente por motores ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ).

Pretende-se que **faça os esquemas de comando e de potência** desta cadeia de operações de modo que:

- Se  $M_1$  parar, automaticamente deve parar toda a cadeia.
- Se  $M_2$  parar, automaticamente deve parar  $M_3$
- Ao ligar a cadeia, deve ligar primeiro  $M_1$ , seguido de  $M_2$  e por último  $M_3$ .

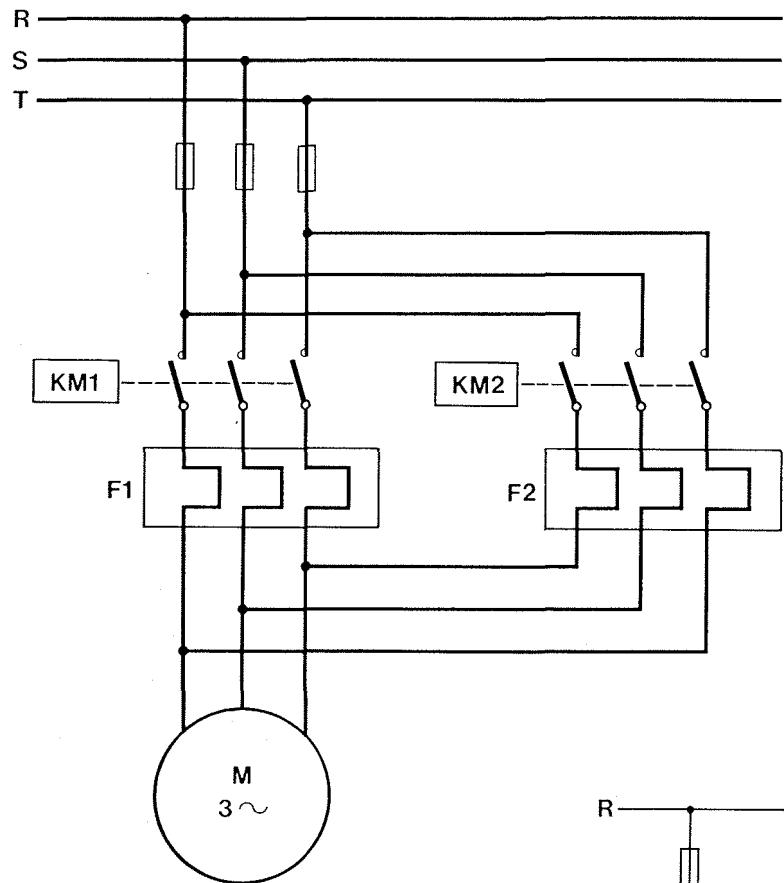


## 4.º — ARRANQUE ESTRELA-TRIÂNGULO AUTOMÁTICO, COM INVERSOR

Pretende-se que **faça os esquemas de comando e de potência** do arrancador estrela-triângulo automático, com inversão do sentido de rotação.

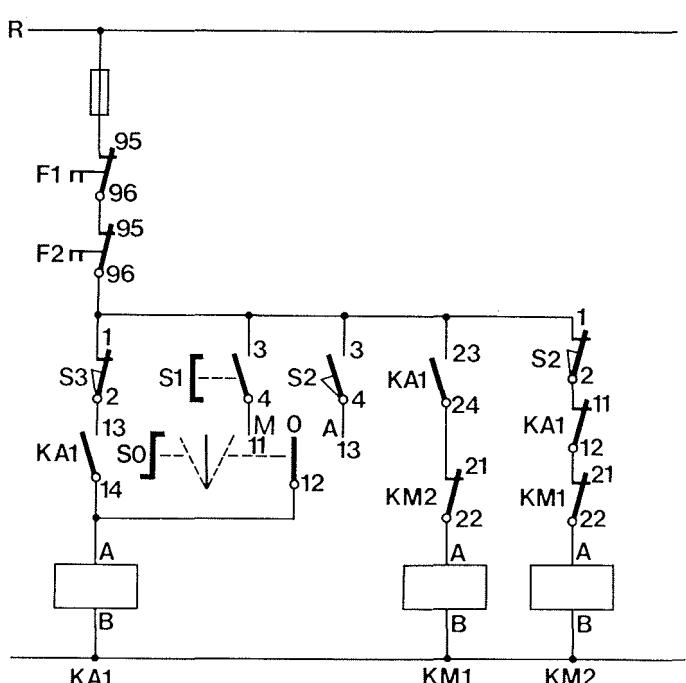
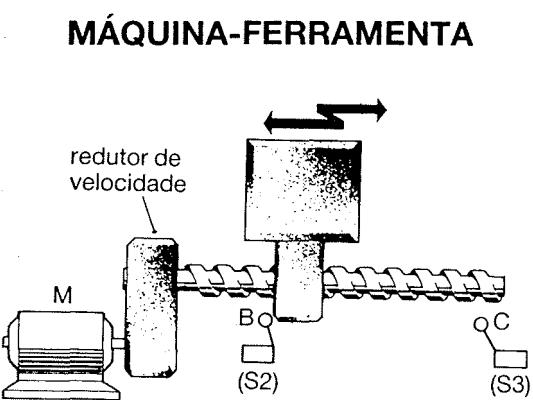
## 5.º — MOVIMENTO AUTOMÁTICO, PASSO A PASSO, DO CARRO DE UMA MÁQUINA-FERRAMENTA

O carro de uma máquina-ferramenta movimenta-se (por acção do motor M) entre as posições B e C, onde acciona respectivamente os fins-de-curso S<sub>2</sub> e S<sub>3</sub>. O comando desta máquina tem duas posições de marcha: manual (M) e automática (A). Pretende-se que **faça a interpretação do seu funcionamento**.



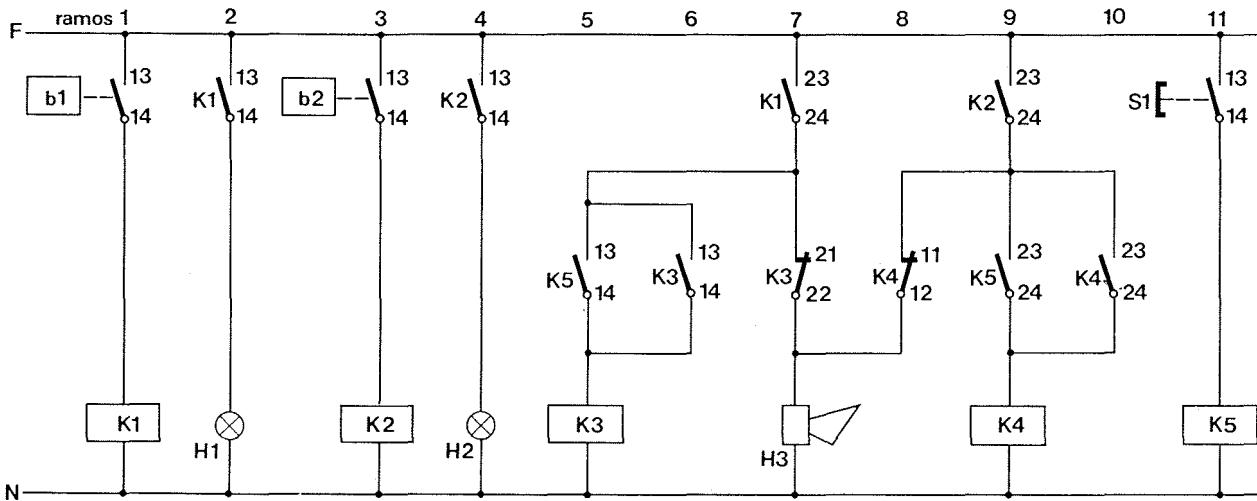
CIRCUITO DE POTÊNCIA

CIRCUITO DE COMANDO



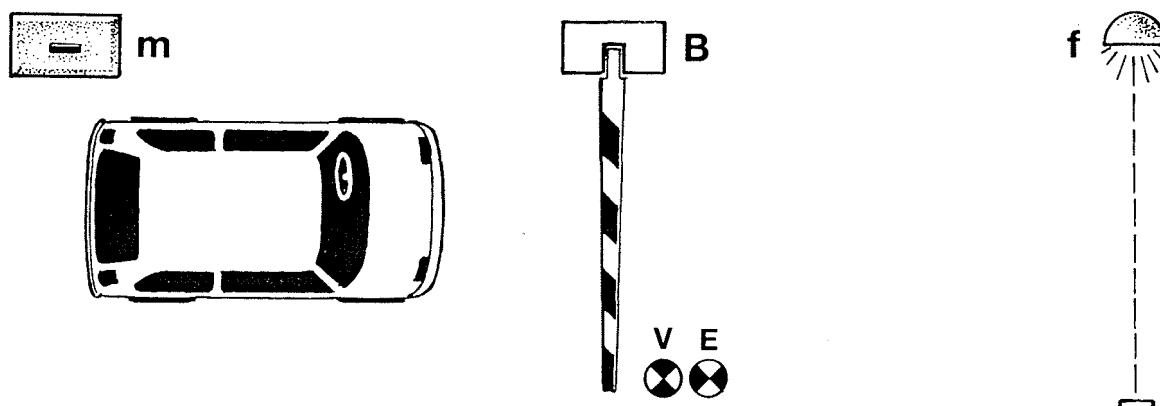
## 6.º — SINALIZAÇÃO DE DEFEITO

Com o circuito de comando da figura podem ser sinalizados diversos defeitos no circuito de potência respectivo. Os sensores  $b_1$  e  $b_2$  detectam determinados defeitos (temperatura, pressão, velocidade, fumos, etc.) e comunicam-no ao circuito, fechando os contactos respectivos. **Interprete o funcionamento do esquema** que lhe é apresentado.



## 7.º — COMANDO DE UMA CANCELA, COM SINALIZAÇÃO LUMINOSA

Pretende-se conceber um circuito eléctrico de comando da entrada de uma garagem de automóveis, provida de dispositivo automático, conforme se representa na figura.



m - mealheiro

f - célula fotoeléctrica

B - accionador da cancela

V, E - lâmpadas de sinalização

## CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

- No repouso, a cancela deve estar em baixo e a lâmpada encarnada acesa (E).
- O motorista coloca na ranhura do mealheiro a importância necessária, o que leva a cancela a levantar e à mudança da sinalização luminosa para o verde (V).
- Após passar a cancela, o carro interrompe o feixe luminoso da célula fotoeléctrica, o que leva a cancela a descer e a sinalização luminosa a passar para o encarnado (E).

## 8.º — CORRECÇÃO DO FACTOR DE POTÊNCIA

Pretende-se que **faça os esquemas de comando e de potência** de um motor trifásico, com os condensadores para correcção do factor de potência.

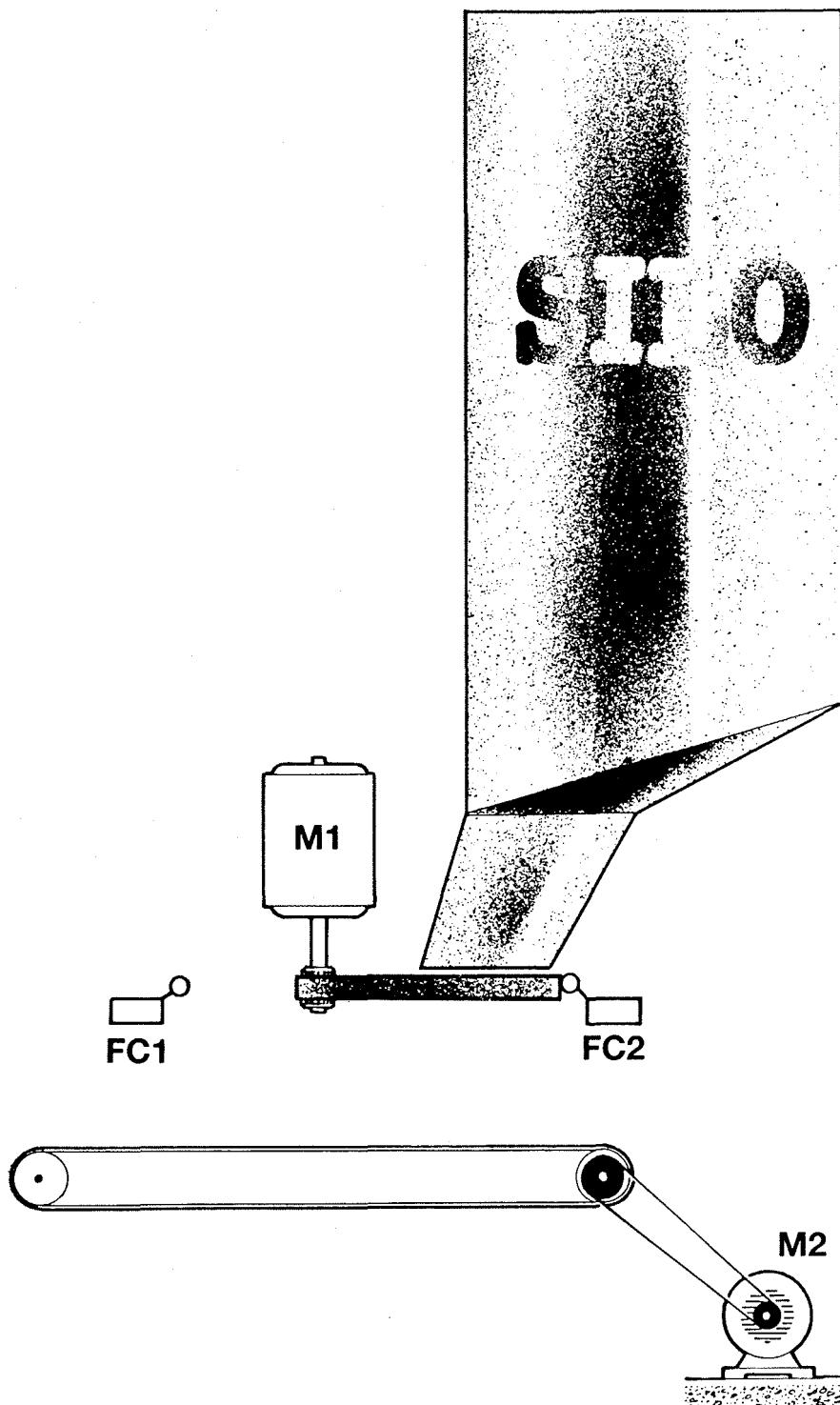
## 9.º — SILO COM PASSADEIRA

Na figura está representado um silo onde são armazenados cereais. A saída dos cereais é feita inferiormente, por acção de um motor  $M_1$  que faz deslocar uma 'janela' entre os fins-de-cursor  $FC_1$  e  $FC_2$ . A passadeira é accionada por um motor  $M_2$ .

Pretende-se que **faça os esquemas de comando e de potência** de modo que o conjunto funcione da seguinte forma:

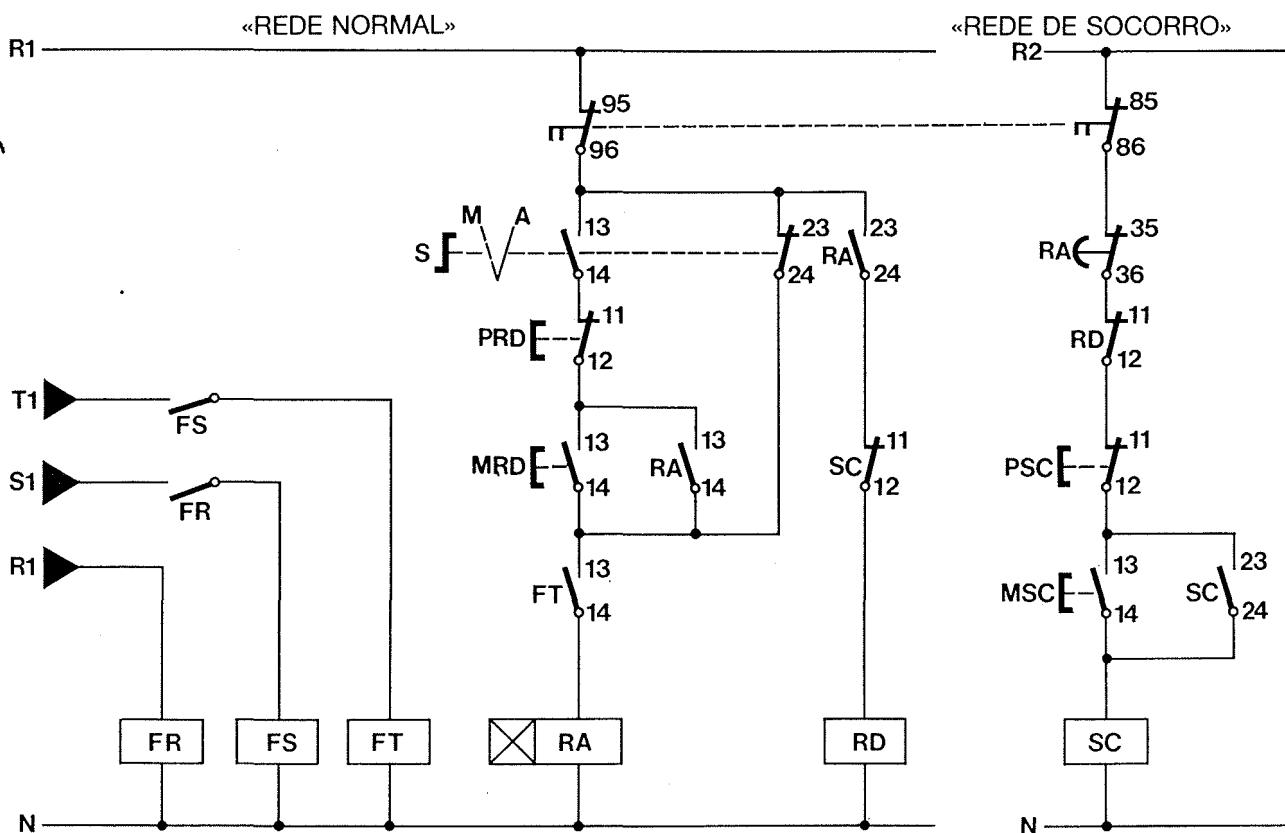
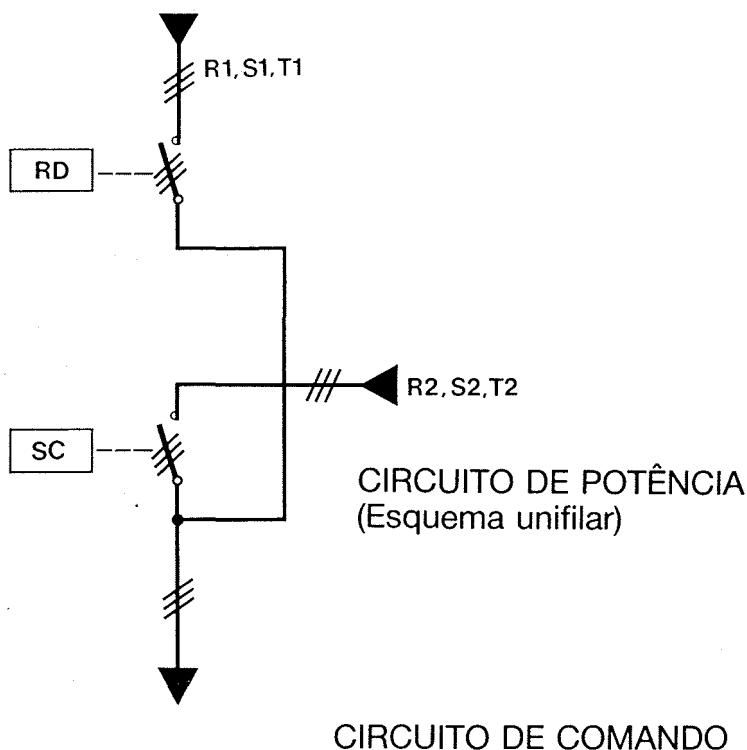
- A passadeira deve ser ligada em primeiro lugar.
- A passadeira só é desligada depois de o silo estar fechado.

Nota: quando o silo está fechado,  $FC_2$  está pressionado.



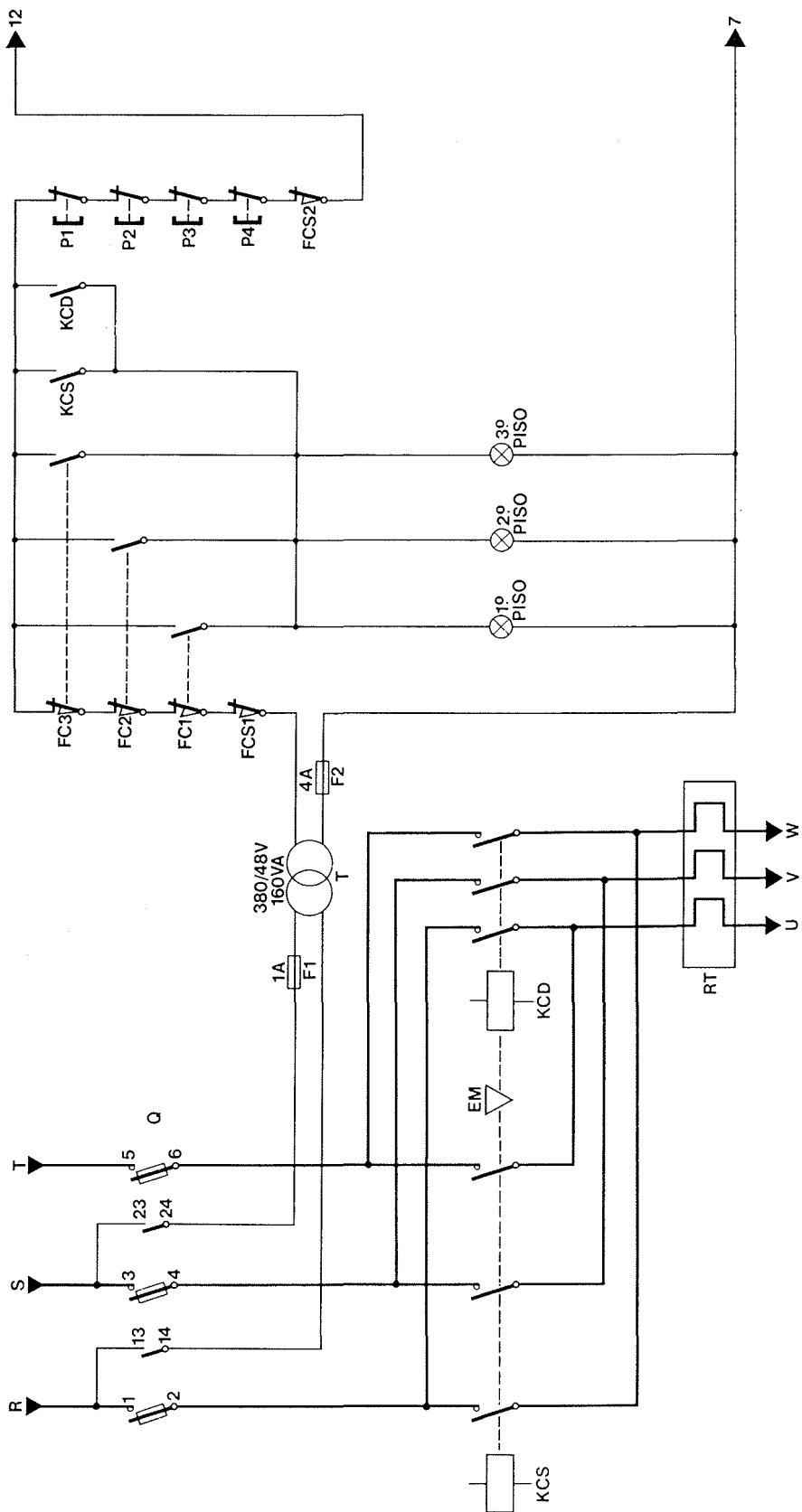
## 10.º — REDE DE SOCORRO

A seguir representam-se duas redes: rede normal e rede de socorro. A rede de socorro deve entrar em funcionamento quando a rede normal apresentar alguma avaria, como por exemplo falha de tensão nas três fases ou apenas em alguma delas. Pretende-se que **interprete o esquema apresentado**. RD liga a «REDE NORMAL»; SC liga a «REDE DE SOCORRO».



## 11.º — MONTA-CARGAS DE 3 PISOS

A seguir representamos os esquemas de comando e de potência de um monta-cargas para três pisos. O monta-cargas apresentado pode ser comandado de qualquer dos três pisos e ainda de dentro da caixa. Podemos, por exemplo, fazê-lo descer do piso 3 para o piso 2, estando nós no piso 1. Esta acção é válida para qualquer piso e nos dois sentidos.



Em cada piso e também dentro da caixa existe uma botoneira com 4 botões, sendo um botão por piso e um para parar. Por exemplo, no piso 1 temos MP1.4, MP2.4, MP3.4 e P4.

FC1, FC2, FC3 são contactos de sinalização de porta aberta.

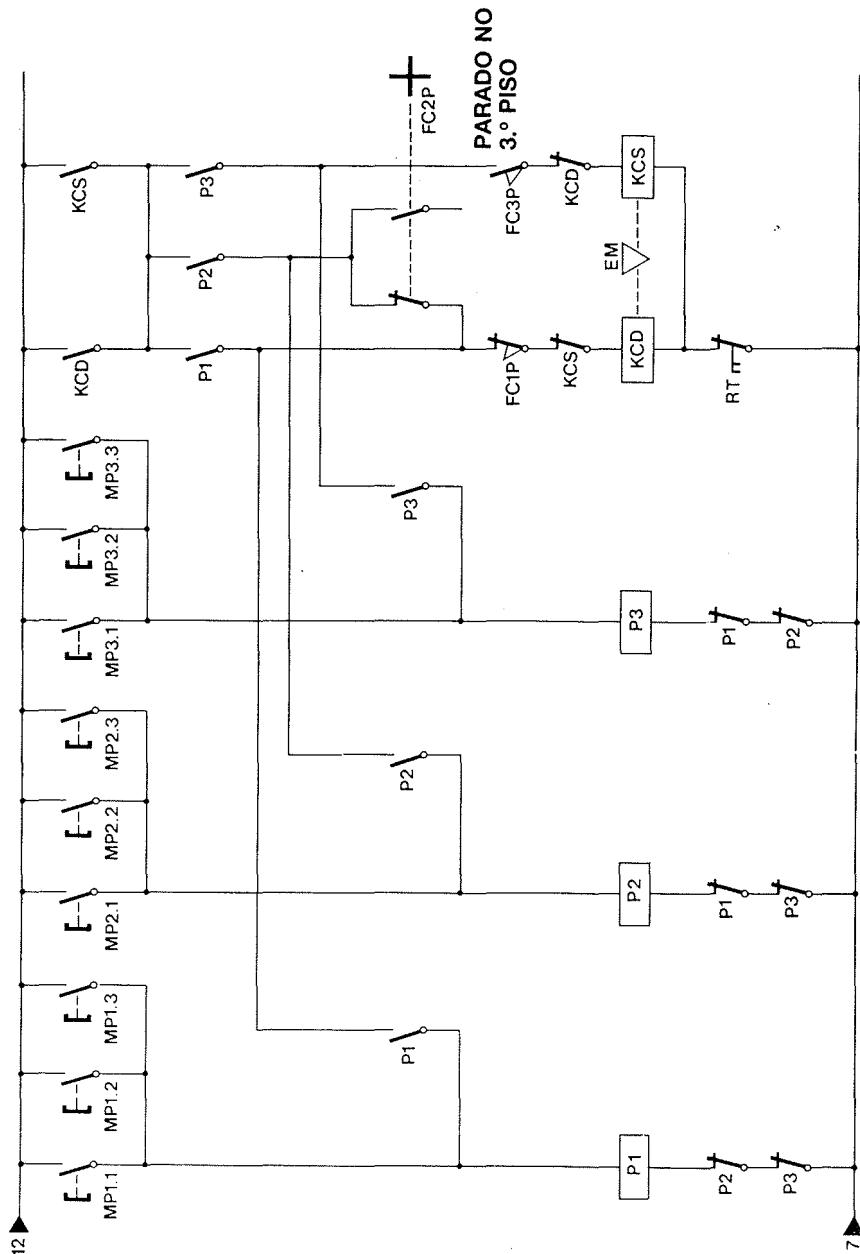
FCS1 e FCS2 são contactos de segurança.

FC1P, FC2P e FC3P são interruptores de fim-de-curso. FC2P tem ainda a seguinte particularidade: é um fim-de-curso do tipo cruzeta (rotativo) que acciona dois contactos simultaneamente, ficando sempre um fechado e outro aberto, logo que a caixa do monta-cargas ultrapassa (subindo ou descendo) o piso 2. Este fim-de-curso serve, por isso, de 'memória' ao circuito para decidir se deve ligar KCS ou KCD.

O contactor KCS é de subida. O contactor KCD é de descida.

Finalmente é de referir que o esquema sugere que **o monta-cargas está parado no piso 3, pois FC3P está aberto** (accionado).

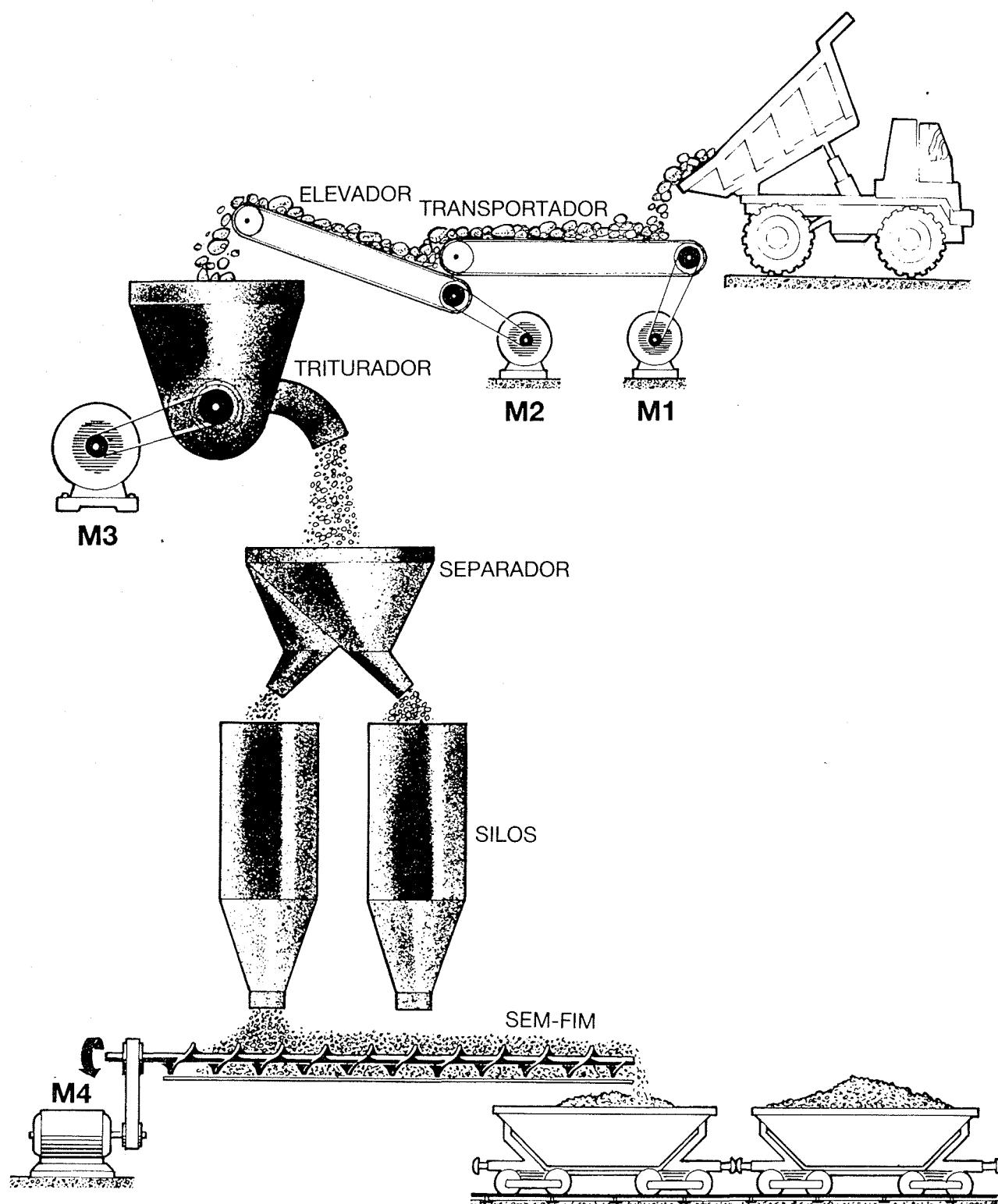
Pretende-se que **interprete convenientemente os circuitos de comando e de potência representados**, explicando o funcionamento do monta-cargas.



## 12.º — CADEIA DE TRANSPORTE-TRITURAÇÃO-SEPARAÇÃO

Na figura representamos a seguinte cadeia de trabalho: a camioneta despeja pedra na passadeira horizontal (Transportador); depois, a pedra é elevada pelo Elevador até ao Triturador, de onde sai para o Separador; o Separador divide-a em dois tipos de pedra para silos diferentes; o motor  $M_4$  acciona o Sem-Fim que transporta a pedra até ao vagão.

Pretende-se que **conceba o circuito (comando e potência)** que executa esta cadeia de operações.



## Soluções

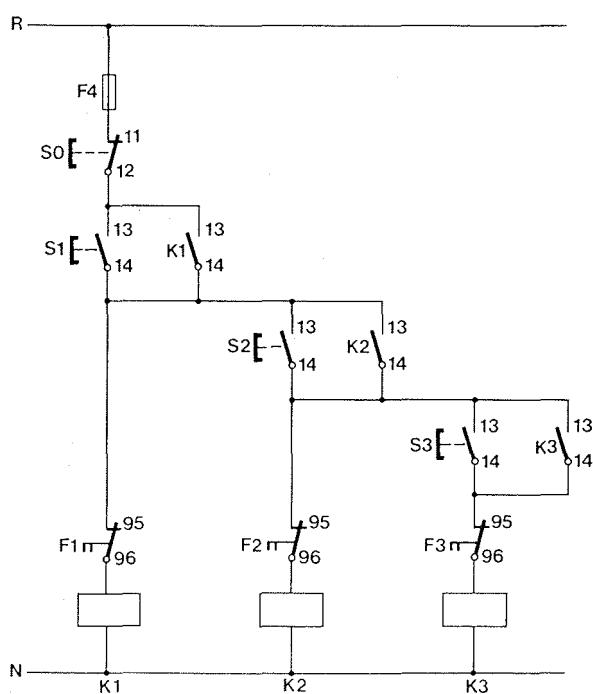
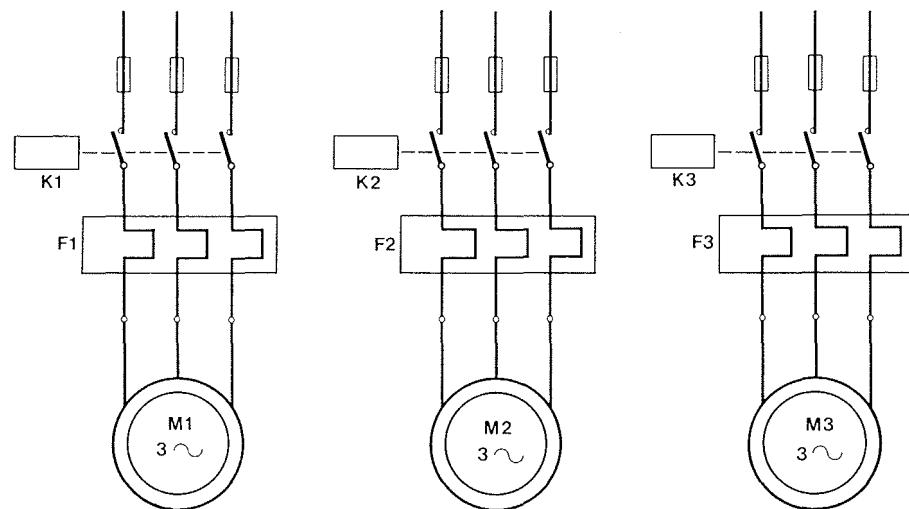
1.º

Ao cuidado do aluno (com o apoio do professor se necessário).

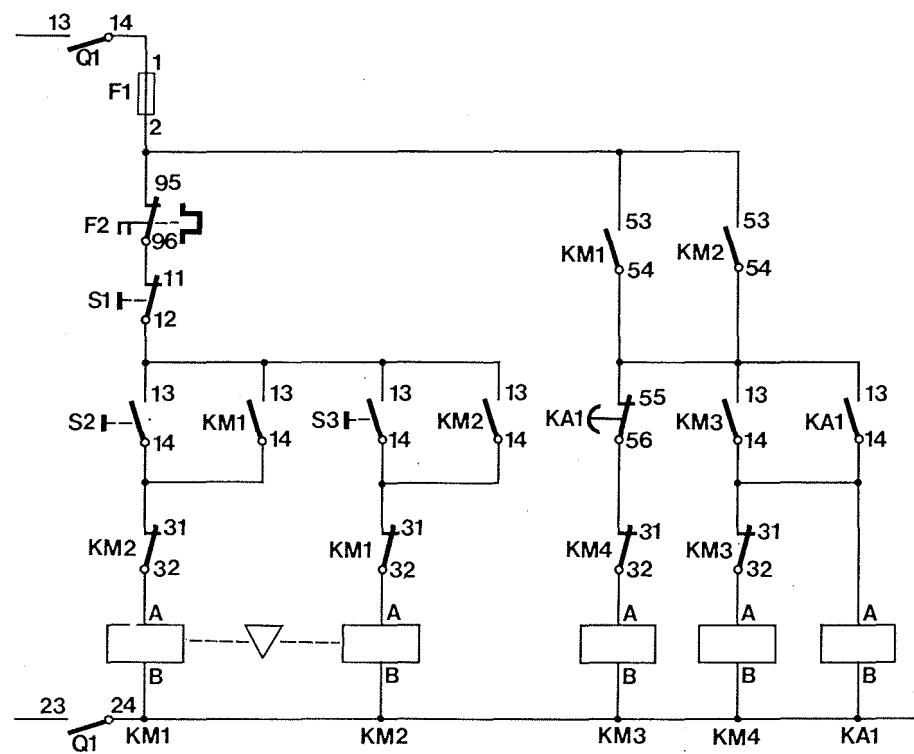
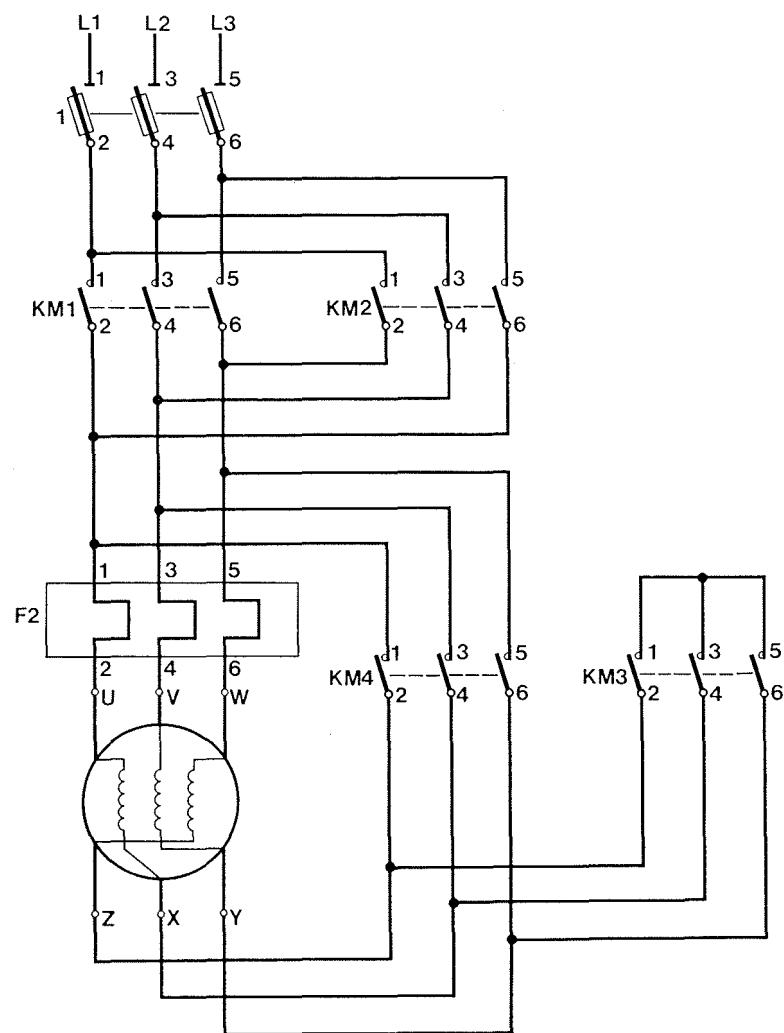
2°

Se F fechar,  $KA_1$ , ao ser alimentado vai ligar a lâmpada  $H_1$ . Ao fim de algum tempo o contacto temporizado ao trabalho 83-84 vai abrir, ficando o contactor sem alimentação, apagando a lâmpada e ligando a sirene. Ao fim de algum tempo, o contacto temporizado ao repouso 81-82 vai fechar, alimentando  $KA_1$  e voltando tudo ao início, isto é, a lâmpada acende e a sirene desliga.

3°



4.<sup>o</sup>



5.º

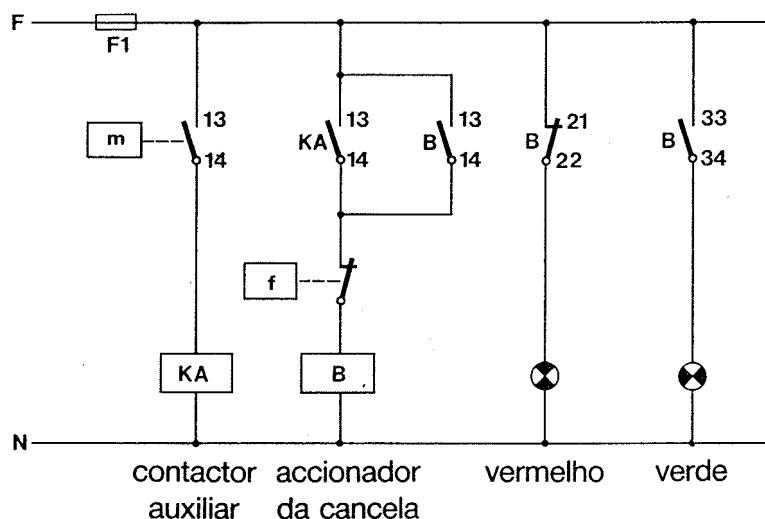
Admite-se que o carro está junto a B, a pressionar  $S_2$ . Se ligarmos o comutador  $S_0$  para a posição manual M, ao pressionarmos o botão de pressão  $S_1$ , o carro desloca-se em direcção a C, invertendo aí o sentido de rotação ao pressionar o fim-de-curso  $S_3$ . Ao chegar a B o carro pára definitivamente, a menos que se volte a pressionar  $S_1$ .

Se ligarmos o comutador para a posição automática A, o carro faz automaticamente ciclo após ciclo, sem parar, a menos que haja algum defeito ou se ligue o comutador para a posição O (repouso).

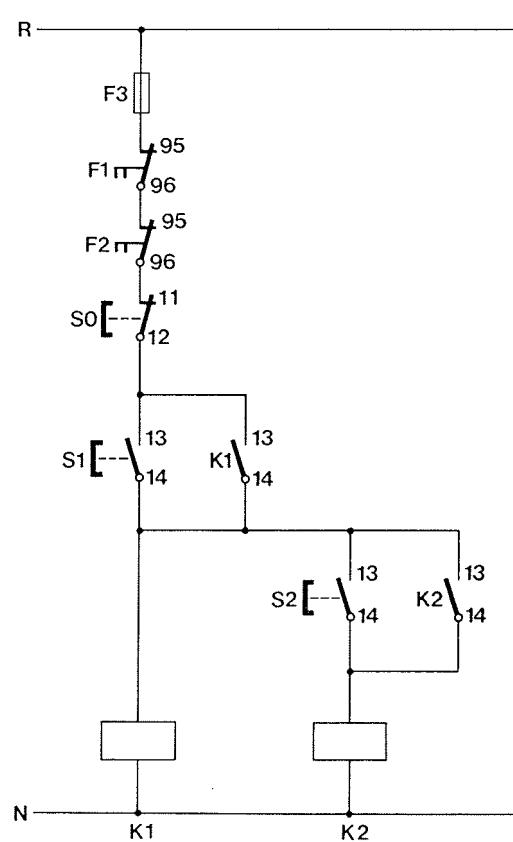
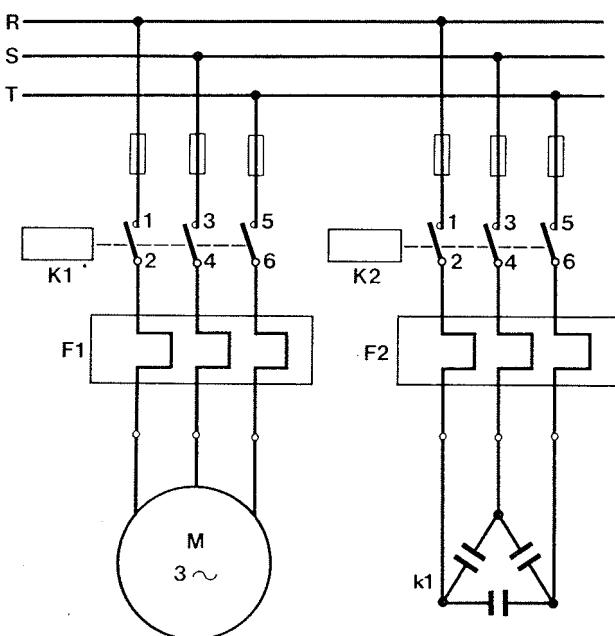
6.<sup>o</sup>

Se houver alguma anomalia no circuito, acende sempre uma lâmpada ( $H_1$  ou  $H_2$ ) e toca a sirene. O botão de pressão  $S_1$  serve para desligar a sirene enquanto permanecer o defeito.

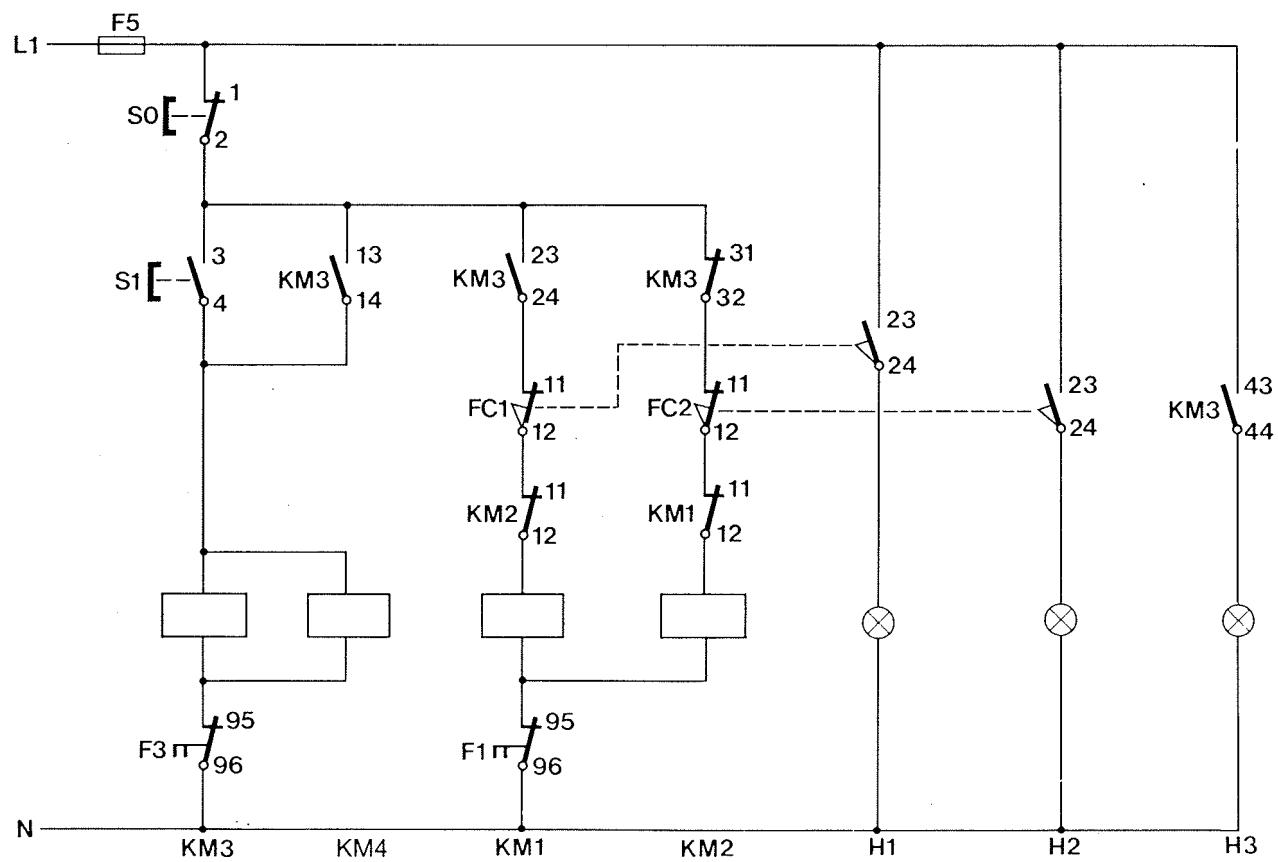
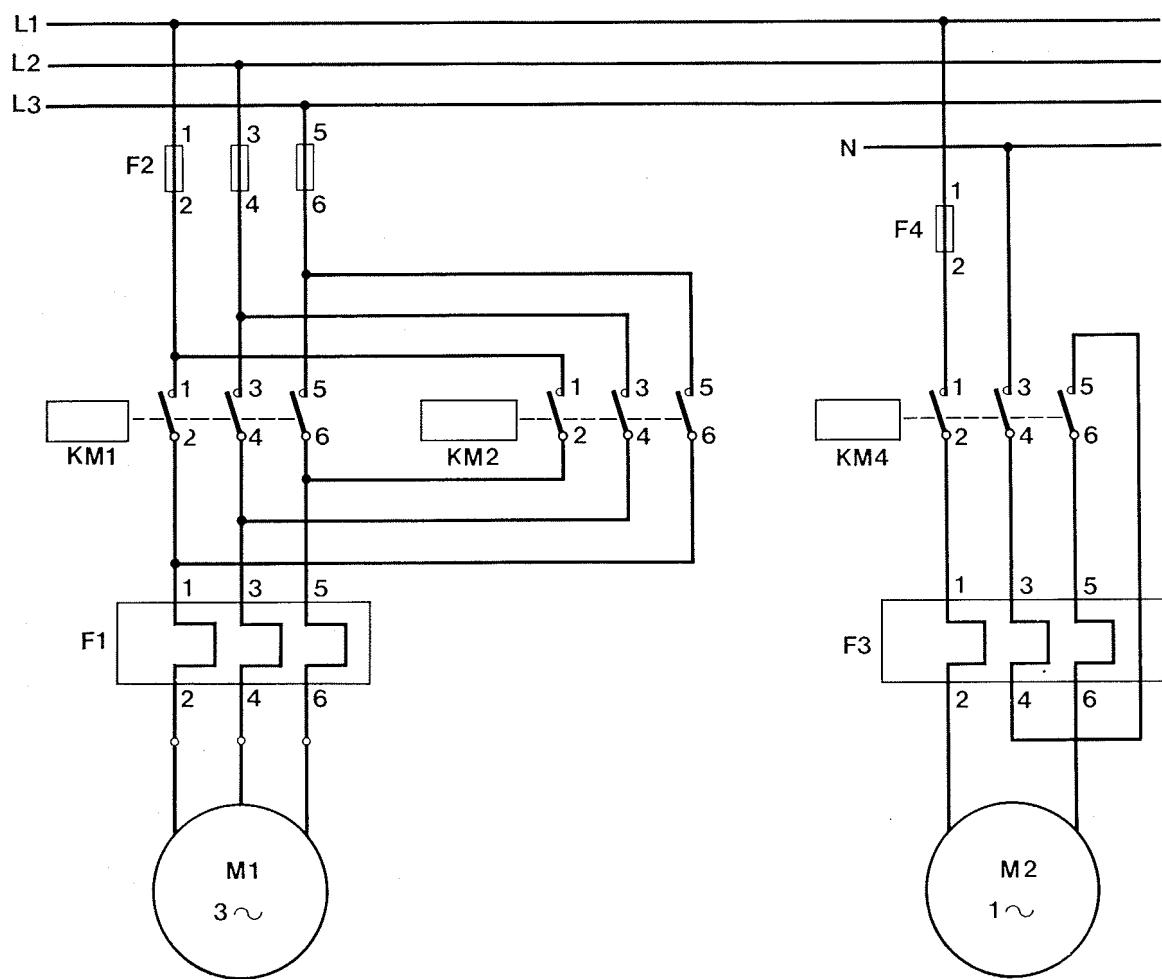
7.º



8.



9.º



**10.**

Se faltar a tensão na fase  $R_1$ ,  $S_1$  ou  $T_1$ , o contactor FT desliga o seu contacto FT, tirando a alimentação ao contactor RA. Este, por sua vez, vai fechar o seu contacto temporizado ao trabalho RA, alimentando o contactor SC logo que se prima o botão de pressão MSC. Em situação normal, sem defeito, o contactor RA fecha o seu contacto instantâneo RA, alimentando o contactor RD.

O comutador S tem duas posições: manual e automática. Na manual há necessidade de pressionar ainda MRD, sempre que faltar a tensão na rede normal. Na automática, a rede normal é ligada imediatamente, desligando a rede de socorro, logo que o defeito desapareça.

**11.**

O monta-cargas está parado no piso 3. Portanto podemos fazê-lo descer para o piso 2 ou para o piso 1, por acção dentro da caixa ou nos pisos 1 ou 2.

Suponhamos então que chamamos o monta-cargas para o piso 1, onde nos encontramos. Para isso pressionamos MP1.1.

Ao pressionar MP1.1, liga o contactor P1 que se auto-alimenta (por P1 13-14) e fecha P1 (23-24), alimentando o contactor KCD que, por sua vez, fecha o contacto KCD 53-54 (auto-alimentação). O contactor KCD permite a alimentação do motor que faz descer o monta-cargas. A caixa do monta-cargas, ao passar no piso 2, acciona o fim-de-curso rotativo FC2P, abrindo um dos seus contactos e fechando o outro. A caixa, ao chegar ao piso 1, abre FC1P desligando o motor.

Se quisermos fazer subir o monta-cargas para o piso 3 pressionamos um dos botões MP3.1, MP3.2, MP3.3 ou MP3.4, conforme a nossa localização, alimentando o contactor P3 que fecha P3 (13-14) e P3 (23-24), alimentando KCS, através de FC3P que agora está fechado (não accionado). O contacto KCS (53-54) fecha entretanto. O motor arranca, em sentido contrário, fazendo subir o monta-cargas, que só pára quando a caixa encontra o fim-de-curso FC3P.

Note-se que, se o monta-cargas estiver parado no piso 2, ele sobe através de KCS, e desce através de KCD, porque o fim-de-curso FC2P tem duas vias, não fechadas simultaneamente.

Os contactos FC1, FC2 e FC3 permitem sinalizar situações em que a porta está aberta no 1.º, 2.º ou 3.º pisos.

**12.**

Dada a variedade de soluções possíveis, deixa-se este trabalho ao cuidado do aluno.

# CONCEPÇÃO DOS CIRCUITOS DE COMANDO DOS AUTOMATISMOS

## 1. Introdução

Os circuitos de comando são, como se viu atrás, constituídos essencialmente por dispositivos com DOIS ESTADOS (interruptor ABERTO-FECHADO, contactor ACCIONADO /EM REPOUSO). Noutras tecnologias (como electrónica, pneumática, etc.) que não a electromecânica (contactos de relés, contactores, interruptores), utilizam-se também dispositivos de dois estados. Assim, na electrónica digital são utilizados dispositivos com dois estados:

- estado «1» correspondente ao nível de tensão mais positivo;
- estado «0» correspondente ao nível de tensão menos positivo.

A figura 37 representa os níveis de tensão referidos para o caso dos dispositivos mais correntes (lógica TTL positiva).

**Nota: TTL**, do inglês, quer dizer Transistor Transistor Logical.

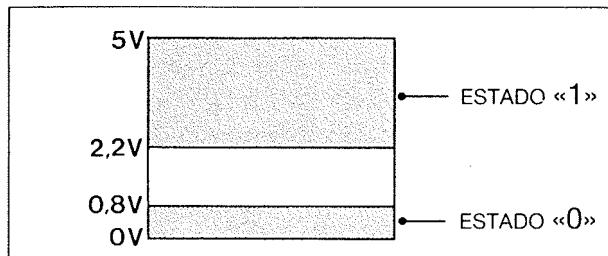


Fig. 37 — Níveis Lógicos.

Assim, se a saída de um dispositivo apresenta uma tensão acima de 2,2 V estará no estado «1» (ou ALTO). Se apresentar uma tensão abaixo de 0,8 V estará no estado «0» (ou BAIXO). Entre 0,8 V e 2,2 V o dispositivo encontra-se num estado «não válido».

Em tecnologia pneumática, os estados vão ser «válvula aberta/ válvula fechada».

Daí que no estudo e concepção destes circuitos seja utilizada a ÁLGEBRA DE BOOLE (também designada Álgebra de Comutação).

A Álgebra de Boole é aplicável a todos os dispositivos que possam ser representados por variáveis com dois estados diferentes (variáveis binárias).

Na breve exposição que irá ser feita deste método de concepção e análise de circuitos de comando, iremos privilegiar os circuitos com interruptores (tecnologia electromecânica), aplicável portanto a contactores e relés. No entanto, os processos descritos poderão ser aplicados a outras tecnologias, sendo mesmo de uso generalizado na simplificação de circuitos electrónicos digitais.

Na exposição que segue iremos considerar VARIÁVEL LÓGICA toda aquela que representa um dispositivo que apenas pode estar **em um e só um de dois estados**. Para o exemplo da figura 38 a variável **a** está associada ao interruptor e este apenas pode estar em **uma** e só uma de duas posições:

**ACCIONADO** (FECHADO no exemplo apresentado)  $\rightarrow a = 1$

**INACTIVO** (ABERTO no exemplo apresentado)  $\rightarrow a = 0$

Note que “accionado” (estado 1) tanto pode implicar abrir como fechar um contacto.

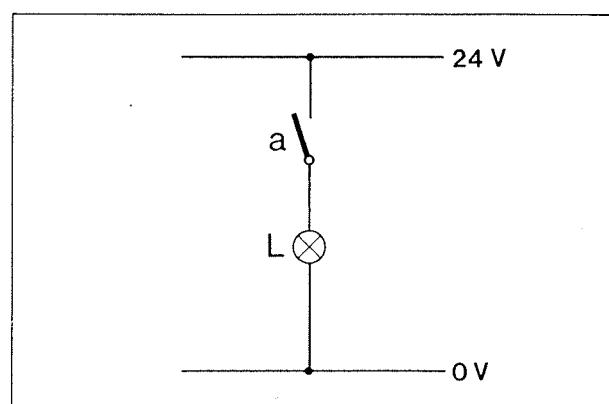


Fig. 38

Para a lâmpada da fig. 38, a variável associada é  $L$  e esta pode estar:

$$\begin{aligned} \text{ACESA} &\rightarrow L = 1 \\ \text{APAGADA} &\rightarrow L = 0 \end{aligned}$$

Note-se que a associação do valor lógico 1 à condição de Fechado ou Aceso e do valor lógico 0 à condição Aberto ou Apagado poderia ser invertida.

A tabela de funcionamento do circuito da figura 38 poderia ser:

a	L
ABERTO	APAGADA
FECHADO	ACESA

ou mais simplesmente, atendendo à convenção referida:

a	L
0	0
1	1

Usaremos de agora em diante esta segunda representação, que será unívoca desde que esteja implícito o significado físico dos valores lógicos das variáveis.

## 2. Operadores elementares

### OPERADOR «OU»

Analisemos a figura 39, onde dois interruptores de posição, **a** e **b**, permitem accionar uma lâmpada  $L$ . Trata-se, como é evidente, de um paralelo (circuito paralelo), pelo que a lâmpada é accionada (acende) **desde que pelo menos um dos interruptores esteja accionado** (fechado).

Poderíamos então deduzir a seguinte Tabela:

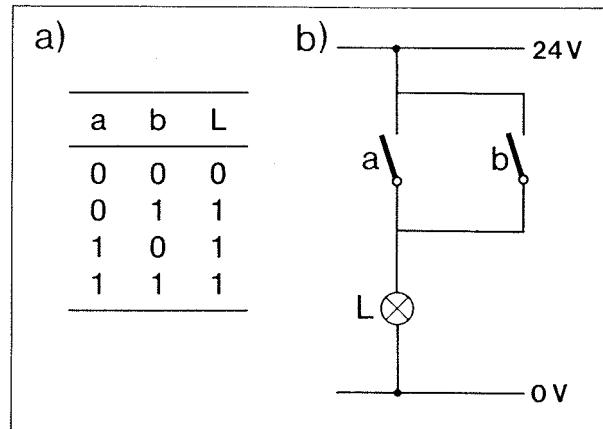


Fig. 39 — a) Tabela do operador «OU»; b) exemplificação com interruptores.

Nesta tabela utiliza-se a convenção anteriormente referida, a saber:

Lâmpada acesa — 1  
 Lâmpada apagada — 0  
 interruptor accionado — 1  
 interruptor inactivo — 0

Podemos então escrever uma expressão que relate as três variáveis lógicas associadas aos dispositivos (interruptor e lâmpada):

$$L = a + b$$

onde o sinal «+» se lê «OU» («OR» na literatura anglo-saxónica).

A operação lógica designa-se SOMA LÓGICA.

Os símbolos lógicos associados à operação estão representados na figura 40.

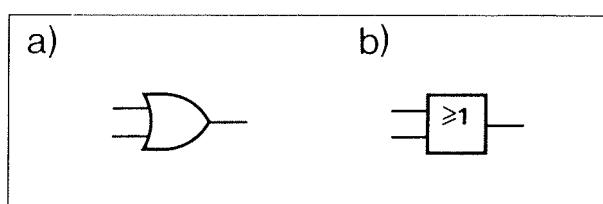


Fig. 40 — Símbolo lógico do operador OU, segundo as normas: a) B.S.I. (British Standard Institution) b) C.E.I. (Comissão Electrotécnica Internacional).

**Em resumo**, o operador «ou» relaciona duas variáveis binárias, sendo o valor lógico resultante «1», desde que pelo menos uma das variáveis de entrada seja também «1».

### OPERADOR «E»

O circuito da figura 41 permite analisar a tabela do operador «E». Identifica-se claramente um circuito série, pelo que a lâmpada só acende (variável L no estado «1») **se e só se ambos os interruptores estiverem accionados**. (Variáveis a, b no estado «1».)

Podemos assim preencher a tabela do operador «E»:

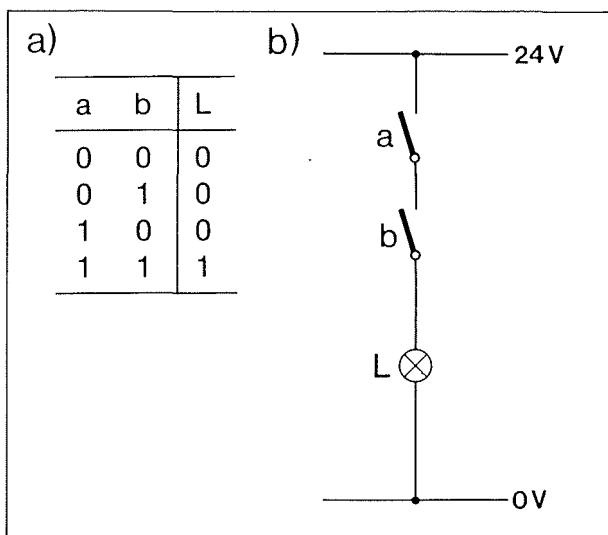


Fig. 41 — a) Tabela do operador «E»; b) exemplificação com interruptores.

A convenção utilizada é a já referida anteriormente.

Podemos então escrever uma expressão que relaciona as três variáveis lógicas associadas aos dispositivos:

$$L = a \cdot b$$

onde o sinal «·» se lê «E» («AND» na literatura anglo-saxónica).

A operação lógica designa-se PRODUTO LÓGICO.

Os símbolos lógicos associados à operação estão representados na figura 42.

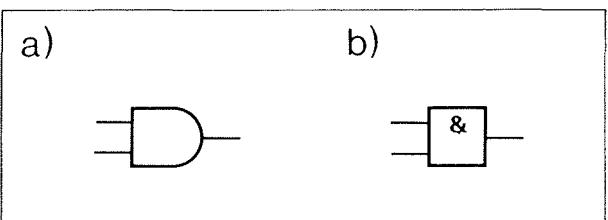


Fig. 42 — Símbolo lógico do operador «E», segundo as normas: a) B.S.I. b) C.E.I.

**Em resumo**, o operador «E» relaciona duas variáveis binárias, sendo o valor lógico resultante «1» se ambas as variáveis de entrada forem também «1».

### OPERADOR «NÃO»

O circuito da figura 43 permite analisar a tabela do operador «NÃO» ou INVERSOR. Da análise do funcionamento do circuito conclui-se que a lâmpada **acende** (variável L no estado 1), quando o interruptor **não está accionado** (variável a no estado «0») e **apaga** (variável L no estado «0») quando o interruptor **está accionado** (variável a no estado «1»), já que se trata de um interruptor normalmente fechado.

A tabela vem então:

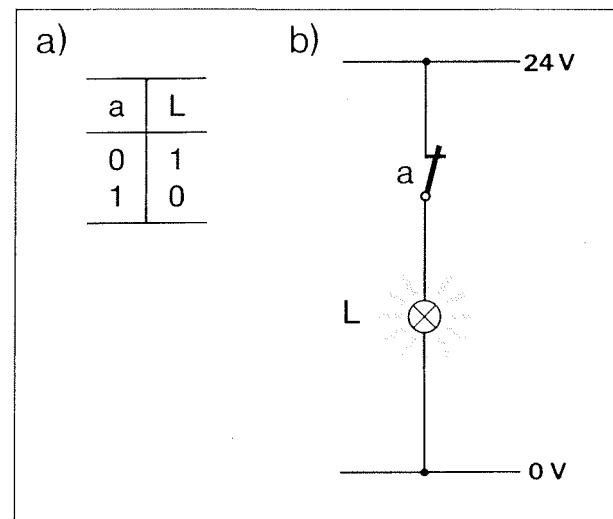


Fig. 43 — a) Tabela do operador «NÃO»; b) exemplificação com interruptores.

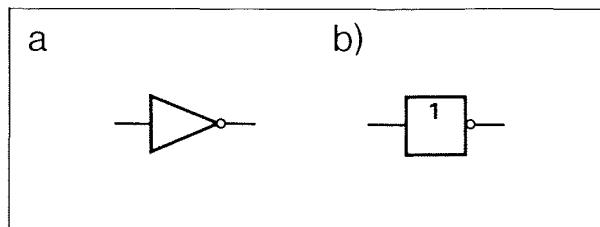
A expressão que relaciona as duas variáveis lógicas (**expressão booleana**) associada ao dispositivo é:

$$L = \bar{a}$$

onde o sinal «-» sobre a variável a se lê «NÃO» («NOT» na literatura anglo-saxónica).

A operação lógica designa-se NEGAÇÃO LÓGICA OU INVERSÃO.

Os símbolos lógicos associados à operação estão representados na figura 44.



**Fig. 44**— Símbolo lógico do operador «NÃO», segundo as normas: a) B.S.I. b) C.E.I.

**Em resumo**, o operador «NÃO» ou INVERSOR, apresenta como resultado o valor lógico «1» se a variável  $a$  tiver o valor lógico «0» e vice-versa.

### 3. Propriedades da Álgebra de Boole

Vimos já que a Álgebra de BOOLE se aplica a variáveis binárias, isto é, com dois valores lógicos que designámos por 0, 1.

Vimos ainda que sobre essas variáveis podem ser aplicados os operadores «E», «OU» e «NÃO».

Vamos agora apresentar algumas propriedades da Álgebra de BOOLE.

Se  $A$  e  $B$  forem variáveis lógicas, então verificam-se as seguintes propriedades:

#### a) COMUTATIVIDADE

$$A + B = B + A$$

$$A \cdot B = B \cdot A$$

facilmente deduzível das tabelas dos operadores

#### b) ASSOCIATIVIDADE

$$A + (B + C) = (A + B) + C$$

$$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$$

que podem ser demonstradas directamente, por construção de TABELAS DE VERDADE, isto é, de tabelas que exaustivamente verificam todas as situações possíveis das variáveis (combinações de valores lógicos).

#### DEMONSTRAÇÃO DA «ASSOCIATIVIDADE»

A	B	C	$B + C$	$A + (B + C)$	$A + B$	$(A + B) + C$
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

↑ IDENTIDADE LÓGICA ↑

Repare-se ainda que o número de hipóteses diferentes para as três variáveis é 8, isto é  $2^3$ . Para  $n$  variáveis teríamos  $2^n$ .

#### c) DISTRIBUTIVIDADE

$$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$$

$$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$

isto é, as duas operações são distributivas uma em relação à outra.

**Como exercício**, procure através de tabelas de verdade demonstrar estas propriedades.

#### d) ELEMENTO NEUTRO

$$A + 0 = A$$

$$A \cdot 1 = A$$

0 é o elemento neutro da soma lógica

1 é o elemento neutro do produto lógico

#### e) ELEMENTO ABSORVENTE

$$A + 1 = 1$$

$$A \cdot 0 = 0$$

1 é o elemento absorvente da soma lógica

0 é o elemento absorvente do produto lógico

Outras propriedades facilmente demonstráveis são:

#### f) IDEMPOTÊNCIA

$$A + A = A$$

$$A \cdot A = A$$

## g) DUPLA NEGAÇÃO

$$\bar{\bar{A}} = A$$

## h) ABSORÇÃO

$$A \cdot (A + B) = A$$

$$A + (A \cdot B) = A$$

i) ELEMENTOS COMPLEMENTARES  
(EXISTÊNCIA)

$$A + \bar{A} = 1$$

$$A \cdot \bar{A} = 0$$

## j) LEIS DE «DE MORGAN»

As Leis de DE MORGAN permitem transformar um operador no outro, assumindo importância fundamental para a simplificação de circuitos, como veremos.

São duas as leis de DE MORGAN:

$$1) \bar{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$2) \bar{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$$

Podemos enunciar a **primeira lei** dizendo que 'negar que pelo menos uma das variáveis está no estado «1» é o mesmo que afirmar que ambas estão no estado «0»'.

Podemos enunciar a **segunda lei** dizendo que 'negar que ambas as variáveis estão no estado «1» é o mesmo que afirmar que ou uma ou outra das variáveis está no estado «0»'.

Vamos então aplicar as propriedades referidas na simplificação de algumas expressões booleanas.

## EXEMPLO 1

Simplificar a expressão seguinte

$$\overline{A \cdot (A + B) + \bar{B}}$$

## RESOLUÇÃO

$$\overline{A \cdot (A + B) + \bar{B}}$$

(segundo a propriedade h) =

$$\overline{A + \bar{B}} \quad (\text{segundo a propriedade j}) =$$

$$\overline{\bar{A} \cdot \bar{B}} \quad (\text{segundo a propriedade g}) =$$

$$\boxed{\bar{A} \cdot B}$$

## EXEMPLO 2

Simplificar a expressão seguinte

$$(A + B) \cdot (B + \bar{A})$$

## RESOLUÇÃO

$$(A + B) \cdot (B + \bar{A})$$

(segundo a propriedade c) =

$$A \cdot B + A \cdot \bar{A} + B \cdot B + B \cdot \bar{A}$$

(segundo as propriedades i), d) =

$$A \cdot B + B \cdot B + B \cdot \bar{A}$$

(segundo a propriedade f) =

$$A \cdot B + B + B \cdot \bar{A}$$

(segundo a propriedade h) =

$$A \cdot B + B$$

(segundo a propriedade a) =

$$B + B \cdot A$$

(segundo a propriedade h) =

$$\boxed{B}$$

## 4. Logigramas

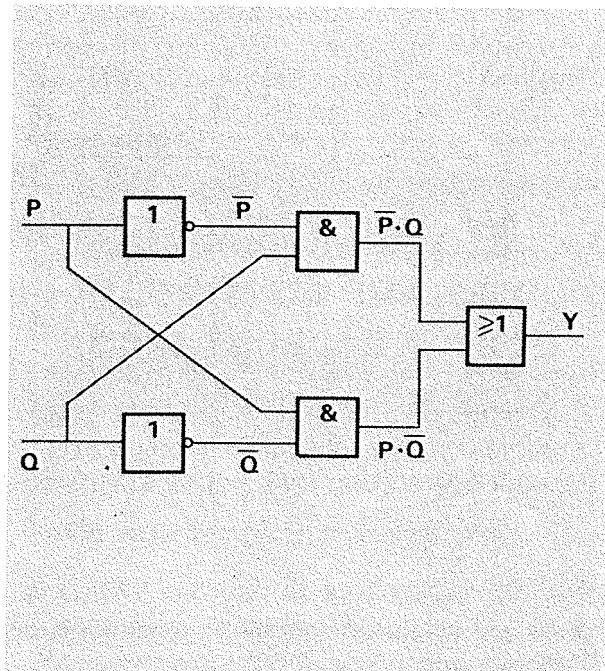
O LOGIGRAMA ou **esquema lógico** é uma representação simplificada das expressões lógicas na qual intervêm os símbolos dos operadores que apresentámos atrás. Os símbolos da norma B.S.I. continuam a ser muito utilizados em esquemas de electrónica digital, enquanto que os da norma C.E.I. são de há muito utilizados em circuitos de comando de automatismos. Iremos utilizar esta última simbologia nas páginas seguintes.

### EXEMPLO 3

Desenhe o logograma correspondente à seguinte expressão booleana

$$Y = P \cdot \bar{Q} + \bar{P} \cdot Q$$

### RESOLUÇÃO



TABELA

P	Q	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Nota: A função Y (P, Q) representa o operador «OU EXCLUSIVO» («XOR» na literatura anglo-saxónica). Isto é, a saída só é «1» quando as variáveis de entrada **não são coincidentes** (circuito de anticoincidência)

## 5. Equação lógica de um circuito

Os circuitos que nos interessam de momento são **combinatórios**, isto é, circuitos cuja saída (ou saídas) dependem apenas das entradas (das suas combinações possíveis).

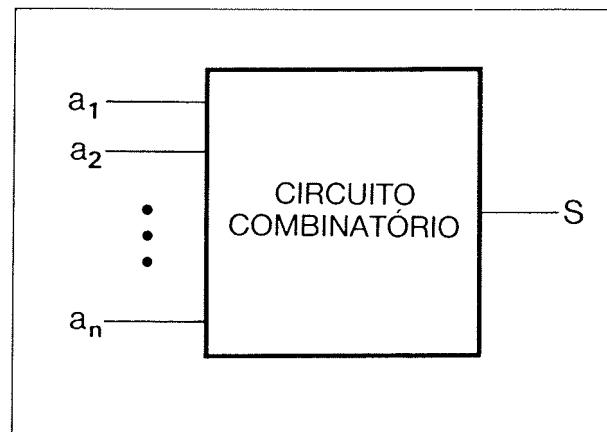


Fig. 45 — Circuito combinatório

Pretende-se representar o circuito combinatório por uma expressão booleana  $S = f(a_1, a_2, \dots, a_n)$  onde  $f(\dots)$  significa **função de**.

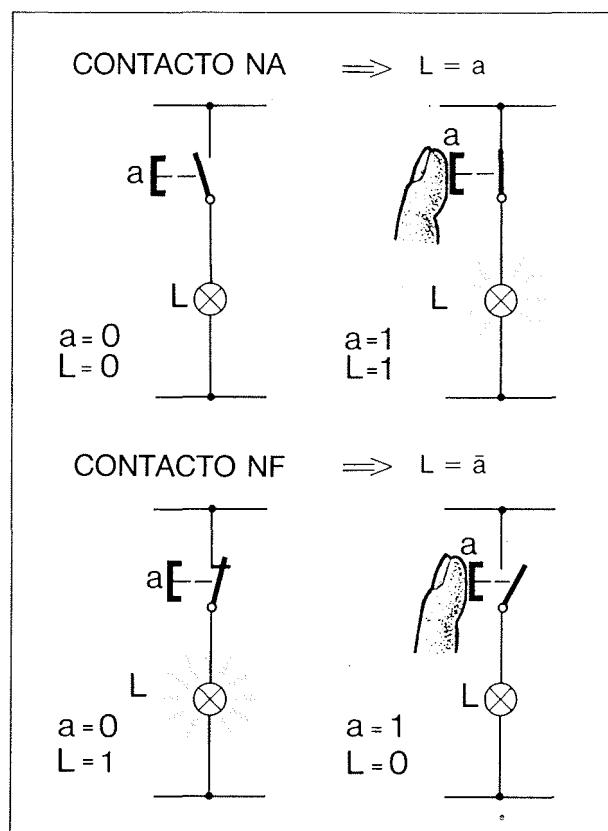
Designaremos S por **variável de saída**, a qual caracteriza o estado do órgão S (contacto, relé, sinalizador sonoro, sinalizador luminoso, etc.). As variáveis  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  serão designadas por **variáveis de entrada** e representam as posições dos contactos  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , dispostos no circuito de comando de S.

### CONVENÇÕES

1. Adota-se como regra, na execução de esquemas, representar sempre os contactos nas posições correspondentes a saída inativa ( $S = 0$ ), isto é, estado de repouso.

2. A cada contacto está associado uma variável, representada por uma letra minúscula do alfabeto. Se o contacto estiver **normalmente aberto** (NA) será representado pela própria variável; se o contacto for **normalmente fechado** (NF), será representado pela variável **negada**.

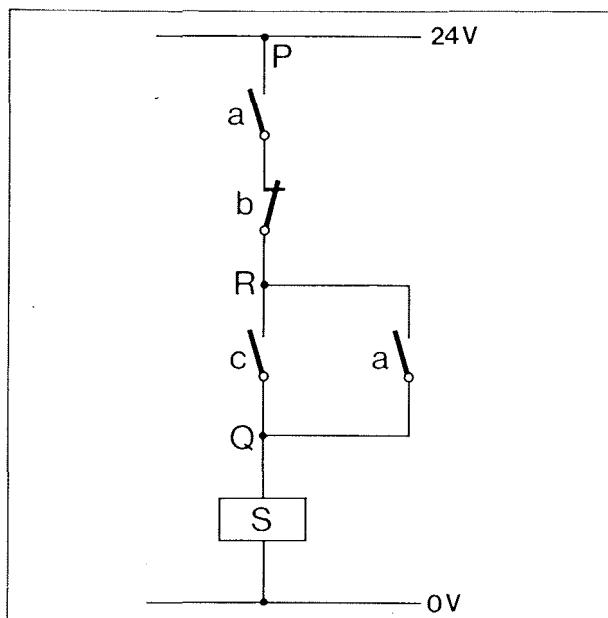
Veja-se os exemplos da fig. 46.

**Exemplo**

**Fig. 46** — Convenções de atribuição de variáveis a interruptores. Nota:  $\begin{cases} a = 0 \Rightarrow \bar{a} = 1 \\ a = 1 \Rightarrow \bar{a} = 0 \end{cases}$

3. A adopção dos símbolos negados nos contactos normalmente fechados vem simplificar a interpretação das expressões dos circuitos, tal como no circuito que se segue.

Considere-se o exemplo da figura.



**Fig. 47** — Circuito de alimentação de uma bobina de relé.

No circuito da figura 47:

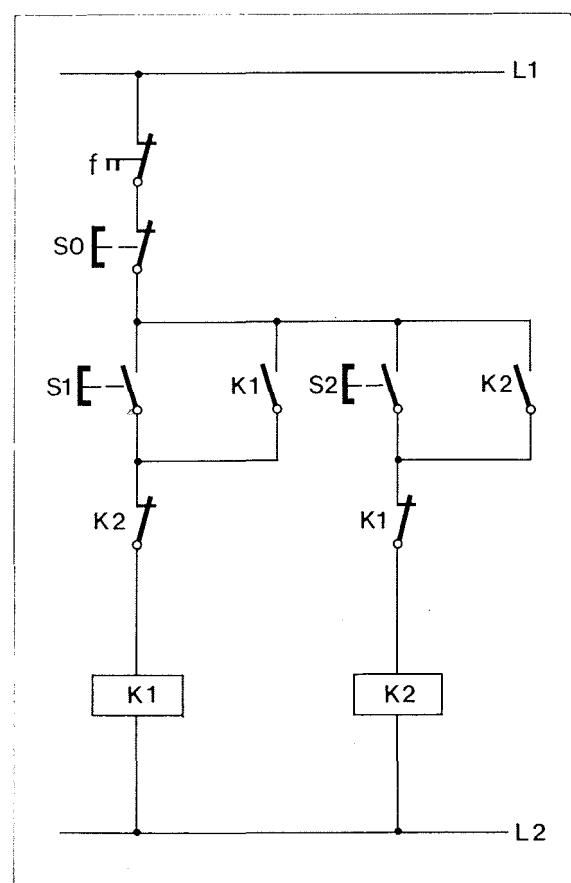
- a bobina S é o orgão de saída
- a, b, c são variáveis de entrada
- o circuito de comando vai de P a Q e compreende:

- um segmento RQ (paralelo dos contactos a e c), de equação  $a + c$ .
- um segmento PR (série dos contactos a e b), de equação  $a \cdot \bar{b}$

Como os segmentos PR e RQ estão em série com S, vem:

$$S = (a \cdot \bar{b}) \cdot (a + c) = a \cdot \bar{b} \cdot (a + c)$$

Considere-se ainda um segundo exemplo.



**Fig. 48** — Circuito do inversor de marcha de um motor.

Pretende-se escrever as expressões booleanas do circuito de comando de um motor trifásico. O esquema (simplificado) é o da figura 48.

**Orgãos de saída**

contactores K1 e K2

**Variáveis de entrada**

f, S0, S1, S2, k1, k2

### Equações do circuito

$$K_1 = \bar{f} \cdot \bar{s}_0 \cdot (s_1 + k_1) \cdot \bar{k}_2$$

$$K_2 = \bar{f} \cdot \bar{s}_0 \cdot (s_2 + k_2) \cdot \bar{k}_1$$

Observe que existem duas equações, uma para cada órgão de saída (variável de saída). Observe também que, por simplificação do esquema, as variáveis dos contactos normalmente fechados são aí representadas apenas pela variável correspondente (subentende-se que, nas expressões correspondentes, elas **vão aparecer negadas**.)

**Nota:** As tensões de alimentação dos circuitos de comando são diversificadas, pelo que deve haver o cuidado de as verificar previamente, nomeadamente a tensão nominal das bobinas dos contactores. Valores usuais são: 24 V, 110 V, 220 V, 380 V.

### PROBLEMA

Escreva as expressões booleanas dos órgãos de saída  $H_2$  e  $KA_2$  do esquema da figura 35.

## 6. Estabelecimento do esquema de um circuito cuja equação é dada

Trata-se da atitude inversa da exposta no capítulo anterior. Seja dada a equação:

$$M = a \cdot c \cdot (b \cdot d + \bar{d} \cdot \bar{b})$$

onde  $M$  é o órgão de saída (exemplo: avisador sonoro).

A expressão indica-nos que temos em série um contacto **a** (NA), um contacto **c** (NA) e um circuito de expressão  $(b \cdot d + \bar{d} \cdot \bar{b})$ . Este último circuito é constituído por dois ramos paralelos  $b \cdot d$  (contactos **b** (NA) e **d** (NA) em série) e  $\bar{d} \cdot \bar{b}$  (contactos **d** (NF) e **b** (NF) em série).

Veja-se o esquema do circuito na fig. 49.

A representação em logograma facilita a implementação em diferentes tecnologias e a melhor compreensão do funcionamento lógico.

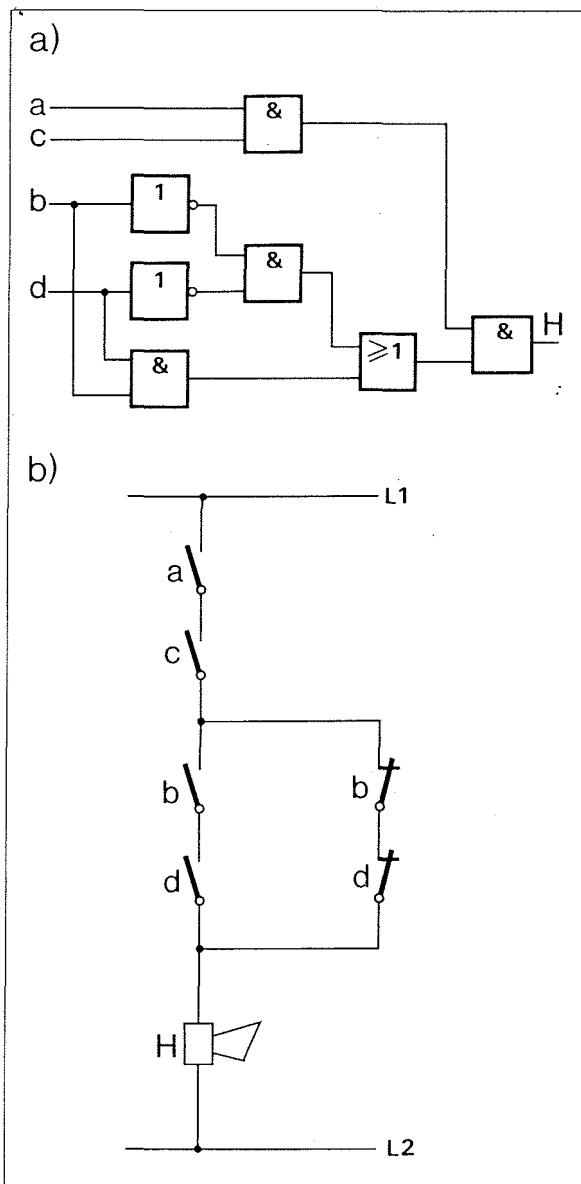


Fig. 49 — a) Logograma;  
b) Esquema de contactos.

### PROBLEMA

Estabeleça os esquemas dos circuitos de expressões booleanas:

$$X = \bar{b} \cdot (a + x) \text{ — bobina 1}$$

$$Y = x \text{ — bobina 2}$$

$$H = x \cdot \bar{y} + \bar{x} \cdot y \text{ — avisador sonoro}$$

Supondo que  $X$  e  $Y$  são as bobinas dos contactores que accionam dois motores, procure descrever o modo de funcionamento do avisador sonoro.

## 7. Simplificação de circuitos

O comportamento de um circuito de comando pode ser representado de dois modos: ou por uma tabela ou por uma expressão lógica (ou booleana).

Para a execução do circuito é, no entanto, necessário ter em atenção que, por aplicação das propriedades atrás mencionadas, é quase sempre possível simplificar o circuito.

Considere o caso em que é conhecida uma **expressão booleana** do circuito.

Pretende-se, por exemplo, realizar a seguinte função:

$$S = a \cdot (\bar{a} + b)$$

Da expressão pode passar-se directamente ao **logograma** e ao esquema de contactos.

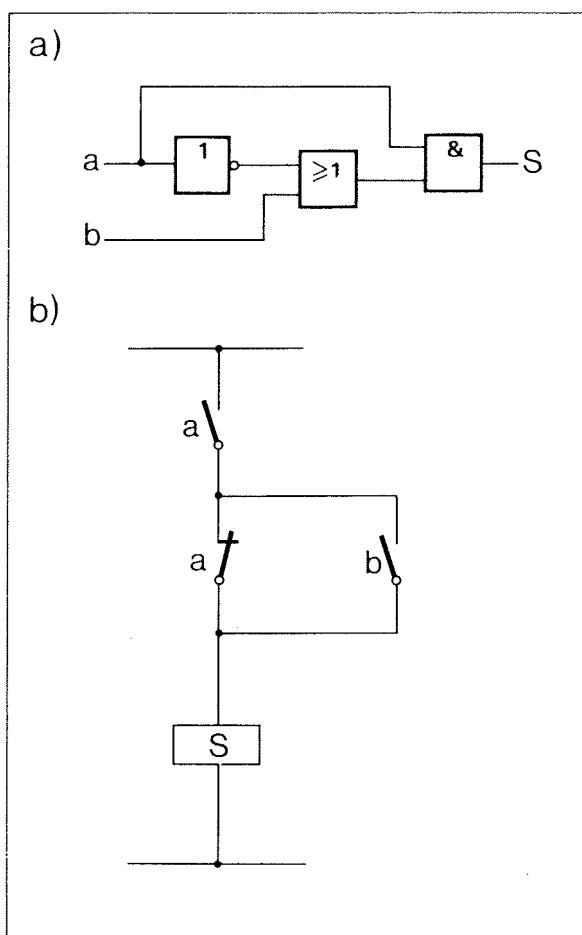


Fig. 50 — a) Logograma da expressão  $S = a \cdot (\bar{a} + b)$   
b) Esquema de contactos.

Para a execução deste circuito são necessários três dispositivos — um OU, um E e um NÃO ou, no caso do esquema de contactos, dois contactos **a** e um contacto **b**.

**NOTA:** Do ponto de vista tecnológico, todos os contactos com a **mesma designação** (variável associada) dizem respeito ao mesmo dispositivo — contactos do mesmo interruptor ou mesmo contactor, relé, etc.

Simplifiquemos previamente a expressão, por aplicação das propriedades da **ÁLGEBRA DE BOOLE**:

$$\begin{aligned} S &= a \cdot (\bar{a} + b) = \\ &= a \cdot \bar{a} + a \cdot b = \\ &= 0 + a \cdot b = \\ &= a \cdot b \end{aligned}$$

isto é, a função poderia ser implantada de um modo mais económico:

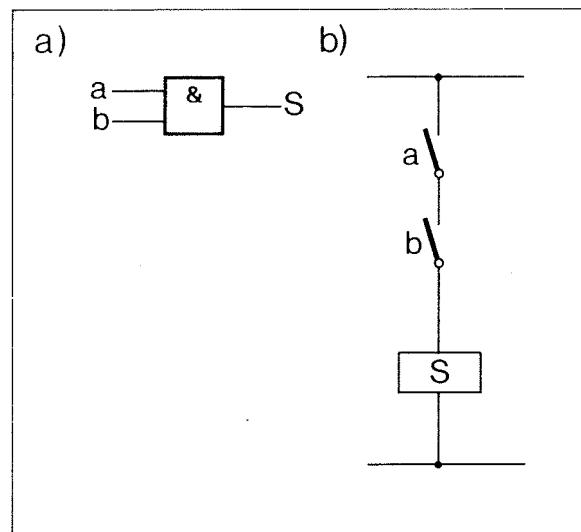


Fig. 51 — Função  $S = a \cdot b$ ; a) Logograma; b) Esquema de contactos.

A simplificação efectuada não apresenta, neste caso, qualquer dificuldade, mas não seria certamente assim se a expressão fosse complexa, para a qual existiriam certamente várias soluções e métodos de simplificação, conforme o critério e a experiência do «artista».

Considere-se agora o caso em que a função é conhecida através de uma **Tabela** (tabela de estados), como no exemplo seguinte, em que  $R = f(a, b, c)$ .

c	b	a	R
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Temos portanto três variáveis de entrada, **a**, **b** e **c**, e uma variável de saída **R**.

Facilmente se comprehende que, se tivermos uma expressão  $\bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}$ , ela só vai assumir o valor lógico «1» quando e só quando  $a = 0$ ,  $b = 0$  e  $c = 0$ . De igual modo, para a expressão  $\bar{a} \cdot b \cdot \bar{c}$ , ela só assume o valor «1» para  $a = 0$ ,  $b = 1$  e  $c = 0$ .

Então, da tabela virá que a variável de saída só é «1» nos casos:

c	b	a	R
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1

pelo que podemos representar a primeira combinação pela expressão:  $\bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}$   
a segunda por:  $\bar{a} \cdot b \cdot \bar{c}$   
e a terceira por:  $\bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c$

A cada uma das expressões referidas é dado o nome de TERMO MÍNIMO:

Se **somarmos** logicamente (operação ou) estas três expressões, obtemos uma expressão que representa a função **R**:

$$R = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c$$

cujo logograma se representa na figura.

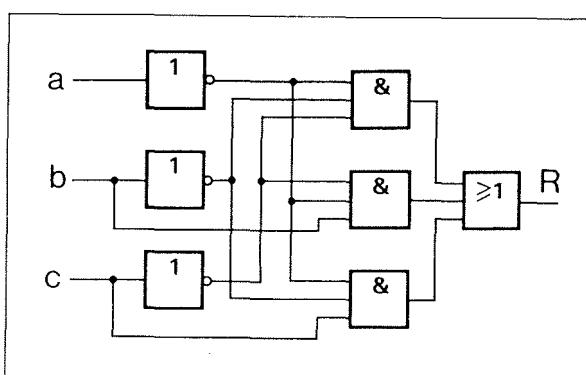


Fig. 52 — Logograma da expressão **R**.

### SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS

- 1º Escrever os **termos mínimos**, isto é, para cada combinação em que a variável de saída é «1», escrever uma expressão **produto lógico** (**E**) das variáveis de entrada, negando as que tiverem o valor lógico «0».
- 2.º **Somar logicamente** (OU) todos os termos mínimos

Este método também não nos leva a uma expressão simplificada, pelo que facilmente se deduziria, por aplicação das propriedades da ÁLGEBRA DA BOOLE, que

$$R = \bar{a} \cdot (\bar{b} + \bar{c})$$

### EXERCÍCIO

- a) Deduza, por aplicação das propriedades da ÁLGEBRA DE BOOLE a expressão anterior.
- b) Desenhe o logograma e o esquema de contactos correspondente.
- c) Determine, a partir dos logogramas, o número de dispositivos lógicos usados num e noutro caso.

As simplificações que efectuámos podem ser feitas de modo sistemático, por aplicação de MAPAS DE KARNAUGH até 4, 5 variáveis de entrada, e daí em diante, por utilização de programas de computador apropriados. É mesmo possível, para esse efeito, utilizar pequenos microcomputadores como o Spectrum.

### MÉTODO DE KARNAUGH

O método dos MAPAS DE KARNAUGH baseia-se numa propriedade já apresentada da ÁLGEBRA DE BOOLE e na apresentação da tabela da função num MAPA (tabela de dupla entrada).

Comecemos pela propriedade referida. Sabe-se já que para dois termos mínimos que difiram **apenas numa variável**, como por exemplo

$$\begin{aligned} &\bar{a} \cdot b \cdot c \\ &a \cdot b \cdot c \end{aligned}$$

a sua soma lógica (OU), faz desaparecer a variável diferente, pois

$$\bar{a} \cdot b \cdot c + a \cdot b \cdot c = (\bar{a} + a) \cdot b \cdot c = 1 \cdot b \cdot c = b \cdot c$$

Trata-se agora de organizar a tabela da função num MAPA em que, de uma **coluna** ou **linha** para a seguinte, **apenas muda uma variável**.

- Para 2 variáveis de entrada (a, b), virá:

TABELA DE ESTADOS

	b	a
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

MAPA

0	0	1	a
0	0	1	
1	2	3	
b			

- Para 3 variáveis de entrada (x, y, z), virá:

	z	y	x
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

0	1	1	0	x
0	0	1	1	y
0	0	1	3	2
1	4	5	7	6
z				

- Para 4 variáveis de entrada (e, f, g, h), virá:

	h	g	f	e
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
...	...	...	...	...
15	1	1	1	1

0	1	1	0	e
0	0	1	1	f
0	0	0	1	
0	1	4	5	7
1	1	12	13	15
1	0	8	9	11
h	g			
		coluna		↑

Repare-se que, de uma coluna para a seguinte, ou de uma linha para a seguinte, apenas muda uma das variáveis — **esta é a regra fundamental da construção de um MAPA DE KARNAUGH**.

Aplicaremos então os aspectos referidos a um exemplo concreto — simplificação da expressão P, a partir da tabela da função. No caso de se conhecer apenas a expressão, seria simples construir previamente a tabela.

Preenchendo o mapa de 3 variáveis, vem:

	c	b	a	P
0	0	0	0	1
1	0	0	1	1
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	0
7	1	1	1	0

P	0	1	1	0	a
0	0	0	1	1	b
0	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	0
c					

$$\begin{array}{l} a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} \\ a \cdot \bar{b} \cdot c \\ a \cdot b \cdot \bar{c} \end{array}$$

Repare-se que os termos mínimos

$$\begin{array}{l} \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} \\ \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c \end{array}$$

que apenas diferem de uma variável, estão em posição simétrica **face ao eixo de simetria horizontal**.

De igual modo, os termos mínimos

$$\begin{array}{l} \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c} \\ a \cdot \bar{b} \cdot c \end{array}$$

estão em simetria **face a um dos eixos de simetria vertical**.

É então possível, por análise visual do MAPA DE KARNAUGH, identificar os termos mínimos que diferem de uma só variável.

Do mapa, que voltamos a reproduzir,

P	0	1	1	0	a
0	0	0	1	1	b
1	1	1	0	0	
c					

podemos retirar  
**duas associações**  
de termos mínimos

$$\begin{array}{l} 1 \\ 1 \end{array} \Rightarrow \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c = \bar{a} \cdot \bar{b} \quad (\text{propriedade i}) \\ \text{e } \begin{array}{l} 1 \\ 1 \end{array} \Rightarrow \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} = \bar{b} \cdot \bar{c} \quad (\text{propriedade i}) \end{array}$$

pelo que a expressão simplificada de P é

$$P = \bar{a} \cdot \bar{b} + \bar{b} \cdot \bar{c} = \bar{b} (\bar{a} + \bar{c})$$

Qual a vantagem do método?

Por análise visual, evidencia quais os **termos mínimos adjacentes** (que diferem de uma só variável), a associar.

O método de construção do Mapa leva a que só se possam fazer associações de

- 1) «1»s que sejam simétricos em relação aos eixos de simetria
- 2) «1»s, em número de potências de 2 ( $2^n$ ). Ex.: 2, 4, 8... anulando-se **n** variáveis, quando se associam  $2^n$  «1»s.

Vejamos outros exemplos de simplificação.

### EXEMPLO 1

Dada a função T (a, b, c), pela tabela junta

c	b	a	T
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

- a) Estabeleça o mapa de Karnaugh.
- b) Indique, nesse mesmo mapa, as associações de «1»s.
- c) Escreva a expressão booleana de T.
- d) Desenhe o logograma e o esquema de contactos, supondo que o órgão de saída T é uma bobina de relé.

### RESOLUÇÃO

a)

T	0	1	1	0	a
0	0	0	1	1	b
1	$1^0$	$1^1$	$1^3$	$1^2$	
	$0^4$	$1^5$	$1^7$	$0^6$	
c					

- b) A associação das posições 0 - 1 - 2 - 3 é possível pois são adjacentes entre si. Existindo ainda «1»s nas posições 5 e 7, a melhor solução, isto é, a maior associação é obtida ligando esses «1»s às posições 1 e 3, logo, uma outra associação de quatro «1»s, a saber, 1 - 3 - 5 - 7.
- c) Da associação 0 - 1 - 2 - 3, vem a expressão  $\bar{c}$  já que
  - I) a variável c é comum a todas as posições (valor lógico 0).
  - II) da associação das posições 0 - 1 viria a anulação da variável a. Portanto fica  $\bar{b} \cdot \bar{c}$ .
  - III) da associação das posições 2 - 3, viria também a anulação da mesma variável a. Portanto fica  $b \cdot c$ .
  - IV) finalmente, da associação total, virá  $\bar{c}$ , por anulação da variável b:  

$$\bar{b} \cdot \bar{c} + b \cdot \bar{c} = \bar{c} (\bar{b} + b) = \bar{c}$$

Da associação 1 - 3 - 5 - 7,

	0	1	1	0	a
0	0	0	1	1	b
1		1	1		
1		1	1		
c					

eixo horizontal

eixo vertical

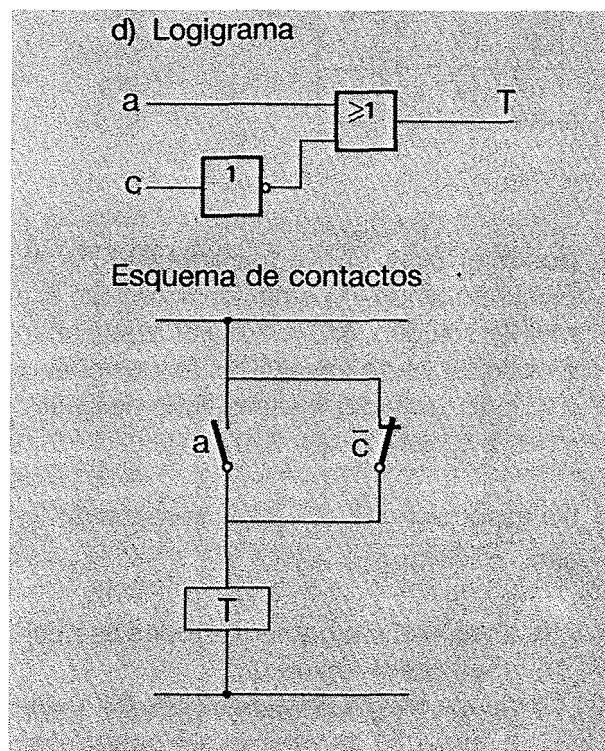
resultaria

- a anulação da variável **b**, face ao eixo de simetria vertical
- e a anulação da variável **c**, face ao eixo de simetria horizontal.

A expressão correspondente a esta associação 1 - 3 - 5 - 7 é então **a**

Finalmente, vem para expressão de T

$$T = a + \bar{c}$$



Poderíamos ter feito apenas a associação 5 - 7, no exercício anterior, em vez da associação 1 - 3 - 5 - 7?

Sem responder directamente a esta questão, vejamos qual a expressão que iríamos obter.

Associação 0 - 1 - 2 - 3  $\rightarrow$  expressão  $\bar{c}$

Associação 5 - 7  $\rightarrow$  expressão  $a \cdot c$

Finalmente, viria  $T = \bar{c} + a \cdot c$

Esta expressão não é a mais simplificada e pode ser reduzida, por aplicação das propriedades da álgebra de Boole, a:  $T = \bar{c} + a$ .

**Aproveite para efectuar a demonstração!**

Concluímos assim que a resposta à questão anterior é um **não!**

### SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS

1. Preencher o mapa de Karnaugh.
2. Agrupar os «1»s correspondentes a termos mínimos **adjacentes** (isto é, que difiram apenas de uma variável) — facilmente identificáveis pela posição em relação aos eixos de simetria.
  - a) Cada grupo deve ter 2, 4, 8, 16, ...,  $2^n$  elementos.
  - b) Os grupos deverão ser os maiores possíveis, mesmo que um termo fique em mais de um grupo.
3. No caso de algum «1» ficar isolado, deverá ser incluído na expressão o termo mínimo correspondente.
4. Eliminar os termos mínimos em que todos os «1» já foram incluídos noutros termos mínimos.
5. Escrever a combinação de termos mínimos, ligados pela operação OU.

Vejamos, seguidamente, algumas associações incorrectas

1			
			1

**INCORRECTO**

(não há simetria em relação a nenhum dos eixos)

1			
1			
1			

**INCORRECTO**

associação de 3 elementos

1			
1			
1	1	1	1
1			

INCORRECTO  
pois deveria ser

1			
1			
1	1	1	1
1			

que conduz a uma associação maior e logo a uma expressão mais simples

		1	
1	1	1	
	1	1	1
	1		

INCORRECTO, pois o termo mínimo com os quatro «1» não inclui qualquer «1» novo, pelo que leva a uma expressão maior. As associações correctas estão no mapa seguinte:

		1	
1	1	1	
	1	1	1
1			

### PARA RESOLUÇÃO

Apresentar a equação final correspondente ao mapa anterior. Considere como variáveis de entrada (a, b, c, d) — a, b em cima, c, d em baixo — e S como variável de saída.

## 8. Concepção de circuitos

Vamos analisar, à luz da teoria aprendida, alguns circuitos já de nós conhecidos.

Vejamos o caso do **arranque directo de um motor**.

Condições de funcionamento:

- Premindo o botão de pressão **b**, o motor funciona (contactor accionado — variável X) e ao deixar de premir o botão, continua a girar.
- Premindo o botão de pressão **a**, o motor pára (a bobina do contactor X, deixa de ser alimentada — X=0), mantendo-se assim até à actuação sobre o botão **b**.
- O botão de paragem **a** tem predominância sobre o de arranque **b**, isto é, quando  $b=1$  e  $a=1$ , o motor pára.

Podemos resumir a **cronologia das operações** como segue:

	b	a	X
REPOUSO	0	0	0
FUNCIONAMENTO	1	0	1
	0	0	1
PARAGEM	0	1	0
	0	0	0

botão de arranque accionado  
botão de arranque libertado  
botão de paragem accionado  
botão de paragem libertado

Da **ordem cronológica** de operações, verifica-se que não se trata de um problema estritamente combinatório, já que, para entradas iguais

b	a	X
0	0	1
0	0	0

existem saídas diferentes!

O conhecimento que já temos dos circuitos de arranque de motores por contactores e botões de pressão, sugere, de imediato, a inclusão de uma outra variável de entrada — **associada ao contacto de realimentação do contactor X**.

Vem então para tabela de funcionamento do circuito

	b	a	x	X
REPOUSO	0	0	0	0
ARRANQUE	1	0	0	1
	1	0	1	1
	0	0	1	1
PARAGEM	0	1	1	0
	0	1	0	0
	0	0	0	0
SIMULTANEIDADE	1	1	0	0
	1	1	1	0

onde já não existem situações de saídas diferentes para as mesmas entradas.

A variável **x** introduzida é designada por **variável secundária**.

Vem então para Tabela e Mapa K

TABELA

x	b	a	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

MAPA K

	0	1	1	0	a
	0	0	1	1	b
0	0	0	0	1	
1	1	0	0	1	
	x				

e para expressão do circuito

$$X = \bar{a} \cdot b + \bar{a} \cdot x \\ = a \cdot (b + x)$$

cujo esquema de contactos é já de nós conhecido:

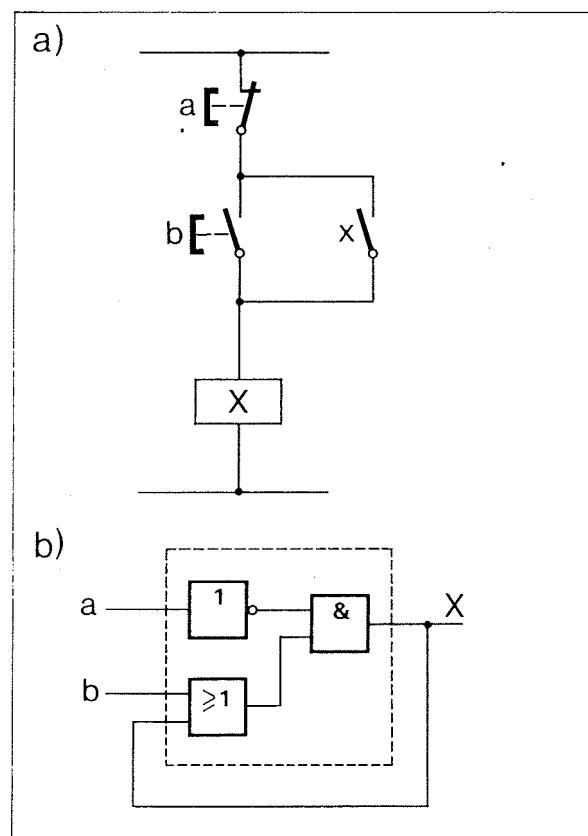


Fig. 53 — Expressão  $X = \bar{a} \cdot (b + x)$   
a) Esquema de contactos; b) Logograma.

Note-se no logograma a realimentação da saída para a entrada, o que caracteriza o circuito como **não combinatório** (sequencial).

Outro exemplo de circuito já conhecido é o **inversor de marcha de um motor trifásico**.

Condições de funcionamento:

a) O contactor K ligará o motor no sentido directo, por accionamento do botão de pressão **a**;

b) O contactor M ligará o motor no sentido inverso, por accionamento do botão de pressão **b**;

c) A paragem é efectuada através do botão **c**, seja qual for o sentido do movimento.

É previsível que o circuito de comando do contactor K apenas dependa das variáveis **a**, **c** e das variáveis secundárias **m**, **k**.

De igual modo, para o contactor M, virão as variáveis **b**, **c**, **m**, **k**.

Claro que seria possível fazer a tabela e o mapa K para 5 variáveis, mas é desnecessário.

#### CRONOLOGIA DAS OPERAÇÕES

a) Sentido directo

		Variáveis de entrada				Saídas	
		a	c	m	k	M	K
REPOUSO		0	0	0	0	0	0
		1	0	0	0	0	1
		1	0	0	1	0	1
		0	0	0	1	0	1
ARRANQUE		0	1	0	1	0	0
		0	1	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		1	1	0	1	0	0
PARAGEM		1	1	0	0	0	0
		1	1	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
PRESSÃO SIMULTÂNEA		1	1	0	1	0	0
		1	1	0	0	0	0
		1	1	0	0	0	0
		1	1	0	0	0	0

A terceira coluna (coluna de **m**) da tabela foi preenchida com «0»s, pois não é possível que as entradas **m** e **k** estejam simultaneamente a «1» (significaria que ambos os contactores M e K estavam atracados). A quinta coluna também foi preenchida a «0»s, pois, pelo enunciado, quando K está accionado, M deve estar inactivo.

Preenchendo o mapa de Karnaugh para o contactor K, vem

K	0		1		k
	0	1	1	0	
0	0	0	1	0	m
0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0
a			c		

Retiramos então para equação do circuito de comando do contactor K:

$$K = \bar{m} \cdot a \cdot \bar{c} + k \cdot \bar{m} \cdot \bar{c} = \bar{m} \cdot \bar{c} \cdot (a + k)$$

b) Sentido inverso

De igual modo, vem, no que se refere ao circuito de comando do contactor M:

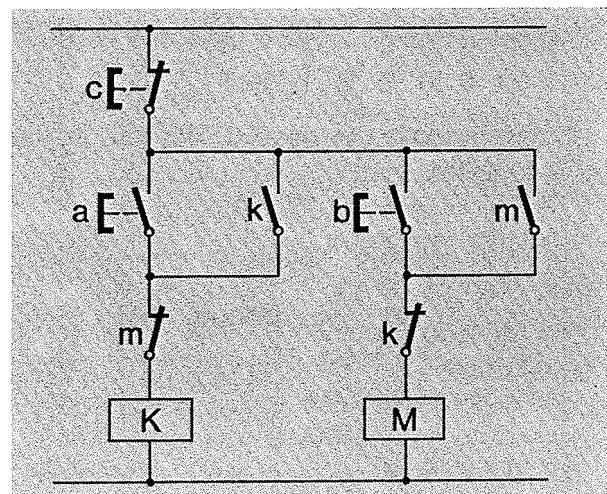
Variáveis de entrada				Saídas	
b	c	m	k	M	K
REPOUSO	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	1
	1	0	1	0	1
	0	0	1	0	1
ARRANQUE	0	1	1	0	0
	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0
	1	1	1	0	0
PARAGEM	0	1	1	0	0
	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0
PRESSÃO SIMULTÂNEA	1	1	0	0	0
	1	1	0	0	0
	1	1	0	0	0
	1	1	0	0	0

M	0	1	1	0	k
b		c		m	
0	0	0	0	0	1
	0	1	0	0	1
	1	1	0	0	0
	1	0	1	0	1

$$\text{onde } M = \bar{k} \cdot \bar{c} \cdot (b + m)$$

Das duas expressões, colocando em comum o contacto **c** (NF), vem para esquema de contactos:



Tem ideia de já ter visto este esquema em qualquer lado?!

Vejamos então mais dois problemas resolvidos.

**PROBLEMA 1**

Numa instalação industrial, pretende-se controlar o funcionamento de um motor. Neste, existem dois sensores **a** e **b** que medem respectivamente a temperatura dos enrolamentos e a velocidade do motor.

Se qualquer um destes parâmetros atingir níveis considerados perigosos, o respetivo sensor é accionado.

O controlo deve ser feito do seguinte modo:

- Motor accionado por um contacto **c**.
- Se um dos alarmes foi accionado, o motor deve continuar a trabalhar, mas ligar uma sirene **S**.
- Se os dois sensores forem accionados, a sirene **S** também deve tocar mas o motor deve parar.

**RESOLUÇÃO**

O circuito tem três variáveis de entrada: **a** (sensor de temperatura), **b** (sensor de velocidade) e **c** (contactos de fecho); e duas variáveis de saída: **S** (alarme) e **M** (motor).

Teremos então duas funções  $M=f(a, b, c)$  e  $S=g(a, b, c)$ .

A tabela de combinações do circuito é a seguinte:

a	0	1	0	1	0	1	0	1
b	0	0	1	1	0	0	1	1
c	0	0	0	0	1	1	1	1
M	0	0	0	0	1	1	1	0
S	0	0	0	0	0	1	1	1

Construindo as tabelas de Karnaugh das duas funções, vem:

M	0	1	1	0	a
b	0	0	1	1	b
c	0	0	0	0	
1	1	1	0	1	
c	1	1	1	1	

onde

$$M = c \cdot \bar{a} + c \cdot \bar{b} = \\ = c \cdot (\bar{a} + \bar{b})$$

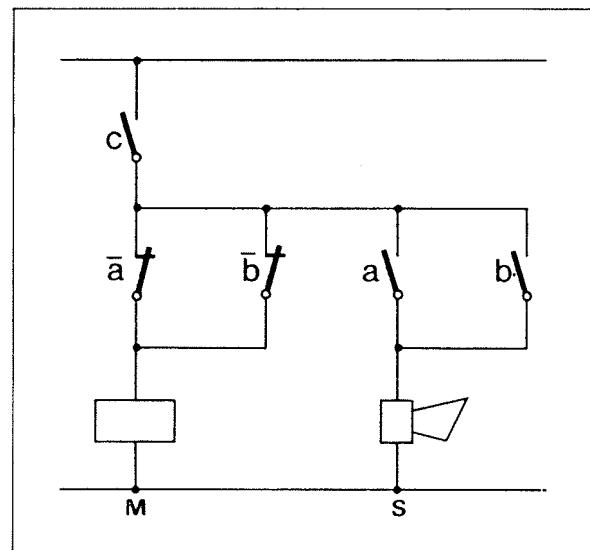
S	0	1	1	0	a
b	0	0	1	1	b
c	0	0	0	0	
1	0	1	1	1	
c	1	0	1	1	

onde

$$S = c \cdot a + c \cdot b = \\ = c \cdot (a + b)$$

Destas equações resulta finalmente o circuito que se apresenta na fig. 54.

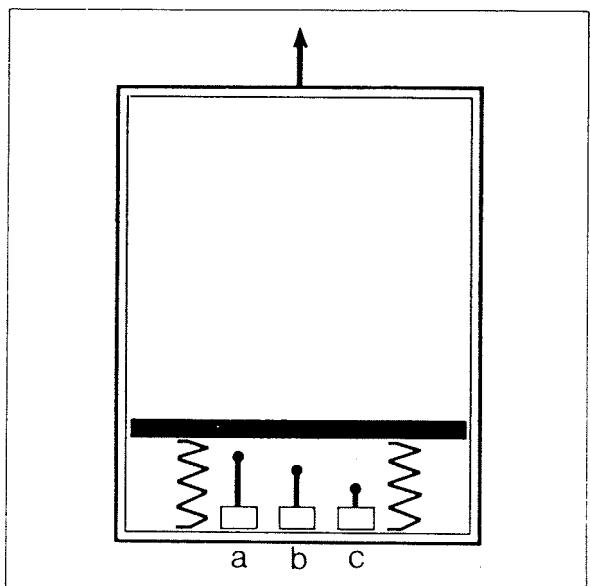
O leitor deve verificar por análise do circuito, se executa ou não as funções exigidas no enunciado do problema.



**Fig. 54** — Circuito de comando de um motor com sinalização e paragem em caso de temperatura e velocidade elevadas.

**PROBLEMA 2**

Um monta-cargas deve permitir o transporte de carga entre 10 e 60 kg. Para isso é dotado de uma plataforma que assenta sobre molas. Consoante as cargas a transportar, três contactos reguláveis são postos em circuito (ver figura 55).



**Fig. 55** — Representação esquemática das condições de funcionamento de um monta-cargas.

As condições de funcionamento são as seguintes:

1.º Para cargas até 5 kg, o monta-cargas pode funcionar: nenhum dos contactos **a**, **b** e **c** é accionado.

2.º Para cargas compreendidas entre 5 e 10 kg, o monta-cargas não pode funcionar — só o contacto **a** é accionado.

3.º Para cargas compreendidas entre 10 e 60 kg, o monta-cargas deve funcionar — os contactos **a** e **b** são accionados.

4.º Para cargas superiores a 60 kg, o monta-cargas não pode funcionar — os três contactos **a**, **b** e **c** são accionados.

**Estabeleça o esquema eléctrico das autorizações e interdições do arranque do monta-cargas.**

### RESOLUÇÃO

O sistema tem três variáveis de entrada, **a**, **b** e **c**, correspondentes aos três contactos, e uma variável de saída **S**:

$S = 1$  — autorização de arranque

$S = 0$  — interdição de arranque

### QUADRO DE COMBINAÇÕES POSSÍVEIS

a	b	c	S	
0	0	0	1	autorização
0	0	1	φ	impossibilidade
0	1	0	φ	impossibilidade
0	1	1	φ	impossibilidade
1	0	0	0	interdição
1	0	1	φ	impossibilidade
1	1	0	1	autorização
1	1	1	0	interdição

**NOTA:** As combinações assinaladas φ são ditas «virtuais» — não são possíveis tecnologicamente. Procure explicar porquê! Podem assim ser-lhe atribuídas quer o valor 0, quer o valor 1, conforme as conveniências.

### TABELA DE KARNAUGH

a	b	c	S	
0	1	1	0	a
0	0	1	1	b
0	1	0	1	φ
1	φ	φ	0	φ
c				

Se não atendermos às casas assinaladas φ (isto é, se lhes atribuirmos o valor 0), vem para equação do circuito

$$S = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + a \cdot b \cdot \bar{c} = (\bar{a} \cdot \bar{b} + a \cdot b) \cdot \bar{c}$$

Existem, no entanto, várias famílias de soluções possíveis, consoante o modo de preenchimento das combinações indiferentes (φ). Uma das mais simples é

	0	1	1	0	a
S	0	0	1	1	b
	0	1	0	1	1
	1	0	0	0	0
c					

onde

$$S = \bar{c} \cdot (\bar{a} + b)$$

Com esta solução, vem para o circuito de comando, se comandássemos o motor do monta-cargas por um contactor **M**, o circuito que se representa na fig. 56.

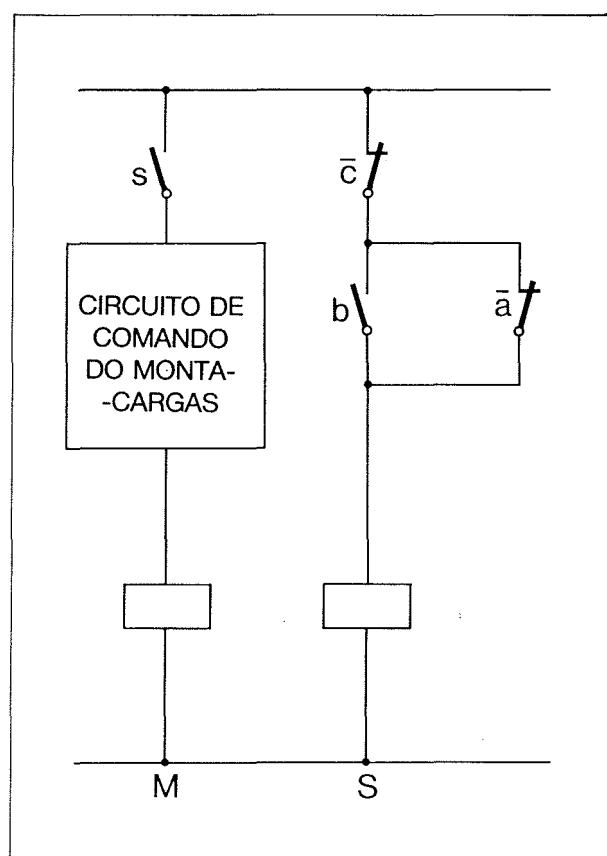


Fig. 56 — Solução possível para o comando do monta-cargas do problema 2.

# Automatismos industriais

## — Concepção

### PROBLEMAS PARA RESOLVER

**Nota inicial:** a maioria destes problemas exige variáveis secundárias, nomeadamente para os contactos auxiliares. São considerados problemas complementares, destinados aos alunos mais curiosos por este tema. A sua resolução fica ao cuidado de cada um, com a ajuda natural do professor.

#### PROBLEMA 1

Um radiador eléctrico está equipado com um ventilador, de modo a assegurar o arrefecimento da resistência. O funcionamento do conjunto é o seguinte:

- 1.º O ventilador pode funcionar só.
- 2.º A resistência foi calculada para não funcionar senão quando o ventilador estiver já em marcha.

3.º A paragem do ventilador deve necessariamente produzir-se depois da paragem da resistência e nunca simultaneamente.

**Estabeleça o esquema eléctrico da instalação (utilize dois interruptores de posição a e b).**

#### PROBLEMA 2

Um motor eléctrico de dois sentidos de rotação é comandado por dois interruptores a e b. Quando a e b não são accionados, o motor está em repouso. Quando a é accionado, o motor roda no sentido das agulhas do relógio. Quando b é accionado, o motor gira no sentido oposto. Quando a e b são accionados simultaneamente, o motor pára.

**Determine as equações e o esquema eléctrico do circuito de comando.**

Nota: quanto aos interruptores, tanto pode considerá-los de pressão como de posição.

#### PROBLEMA 3

Uma cadeia rápida de montagem C, alimentando três postos de trabalho a, b e c, funciona do seguinte modo:

1.º Quando os três operários trabalham, a cadeia está imóvel.

2.º Qualquer operário que tenha terminado o seu trabalho deve accionar um botão de pressão referente ao posto de trabalho respectivo (botões a, b e c) e colocado a uma certa distância do local de trabalho por razões de segurança.

3.º Logo que dois dos três operários accionam o botão respectivo, um avisador luminoso L acende.

4.º O avisador mantém-se aceso quando o terceiro operário acciona o botão respectivo.

5.º A cadeia desloca-se então rapidamente e o avisador luminoso extingue-se mal o motor que alimenta a cadeia se põe em marcha.

6.º A cadeia pára logo que um dos operários deixa de accionar o seu botão de pressão, por razões de segurança.

**NOTA:** Cada movimento da cadeia alimenta os três postos de trabalho com três peças.

#### Determine

- a) A tabela de KARNAUGH relativa ao avisador luminoso L.
- b) A equação booleana do avisador L.
- c) O esquema eléctrico do avisador L.
- d) A equação booleana do relé M que acciona o motor.
- e) O esquema eléctrico total de comando da cadeia.

#### PROBLEMA 4

Uma serra circular de corte é comandada manualmente, na sua descida, por um botão de pressão a. A serra só poderá descer quando:

1.º Existir uma barra para cortar e o torno estiver apertado.

2.º Não existir barra e o torno estiver desapertado.

**ANÁLISE TECNOLÓGICA:** A presença da barra a cortar é assinalada por um mini-interruptor b. O aperto do torno é controlado por um contacto de pressão s. Temos então duas variáveis de entrada b e s que darão, conforme o caso considerado, a alimentação ou não ao êmbolo da serra, através de uma eletróválvula.

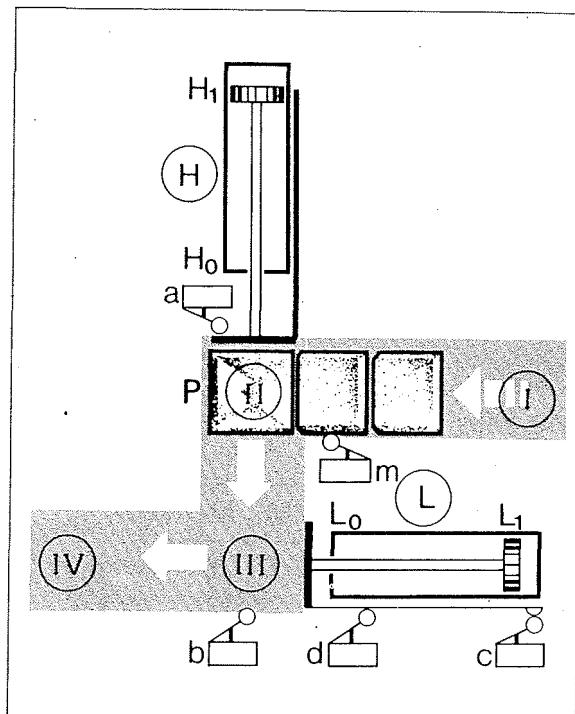
Na presença da barra, b=1. Se o torno es-

tiver apertado,  $s=1$ . Por razões de segurança, são dois botões  $a_1$  e  $a_2$  (e não o botão  $a$ ), que o utilizador deve accionar, um para cada mão. Se qualquer dos botões for libertado durante a descida, o êmbolo fará subir a serra.

**PEDIDO:** Efectuar o esquema eléctrico de comando da serra.

#### PROBLEMA 5

Uma calha (fig. 57) alimenta por gravidade em (I) um posto de enchimento (P). O produto é colocado em embalagens em (II), estando o sensor  $m$  accionado permanentemente desde que lá existam embalagens. Neste caso, logo que o êmbolo (L) acciona  $c$ , o êmbolo (H) coloca o pacote em (III). A acção sobre  $b$  provoca o avanço do êmbolo (L) empurrando os pacotes para (IV). A acção sobre  $d$  provoca o retorno do êmbolo (H); a acção sobre  $a$ , o retorno do êmbolo (L) e o ciclo continua desde que existam peças.



**Fig. 57** — Dispositivo automático para enchimento, embalagem e armazenamento de produtos.

**PEDIDOS:** Determine o esquema da instalação utilizando, para a alimentação dos êmbolos (L) e (H), distribuidores comandados por electroválvulas.

#### NOTAS

1) O sensor  $m$ , chamado de «detector de presença», ao ser accionado dá autorização de avanço ao êmbolo (H).

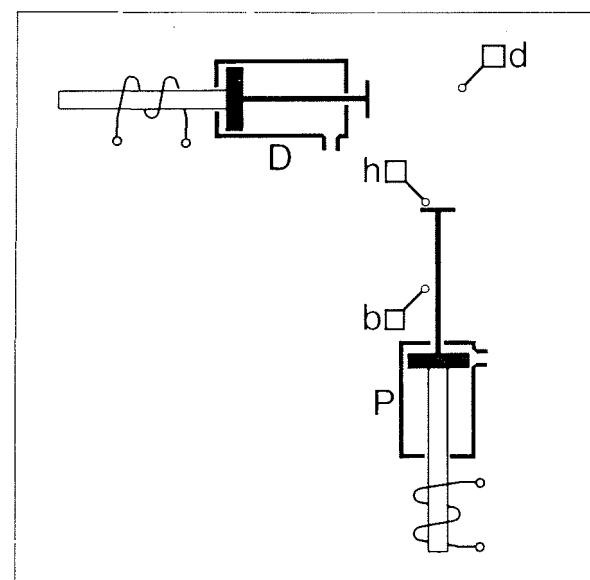
2) Logo que o êmbolo (H) se desloca, um dispositivo, não representado, mantém segura a peça seguinte, a qual é liberta logo que  $a$  seja accionado.

3) Sugere-se que o quadro de combinações seja iniciado do seguinte modo:

a	b	c	d	L	H
1	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	1

#### PROBLEMA 6

Um dispositivo de alimentação de uma prensa de corte é constituído por dois êmbolos, accionados por duas electroválvulas P e D (Fig. 58). P desloca as peças; D permite o corte.



**Fig. 58** — Dispositivo automático para uma prensa de corte.

As condições de funcionamento são as seguintes:

1.º Na posição de repouso, D está desexcitado mas P está excitado, pelo que o êmbolo respectivo se encontra na posição alta. O prato do êmbolo está carregado com uma peça.

2.º Quando se acciona um botão de pressão  $m$ , D é excitado. O contacto deve ser mantido

(contacto duplo em série para as duas mãos), por razões de segurança. O êmbolo respetivo desloca-se da esquerda para a direita.

3.º O contacto de fim de curso *d* é então accionado, *P* é desexcitado, o êmbolo respetivo desce, liberta o contacto *h* e vem accionar o contacto *b*.

4.º Quando *b* é accionado, *D* é desexcitado e o êmbolo respetivo desloca-se para a esquerda. O botão de pressão *m* é então libertado pelo operário.

5.º Logo que o contacto *d* é libertado, *P* é excitado e o êmbolo respetivo sobe e depois pára, accionando *h*. O ciclo terminou.

#### PEDIDOS

a) Estabeleça as tabelas de KARNAUGH e as equações booleanas das electroválvulas *D* e *P*.

b) Estabeleça o esquema da instalação eléctrica de comando.

c) Poder-se-á prever um ciclo automático, conjungando-se com o ciclo passo-a-passo? Justifique.

#### PROBLEMA 7

A prensa de decoração cujo esquema está representado abaixo permite, por intermédio de dois flans gravados, decorar capas de livros.

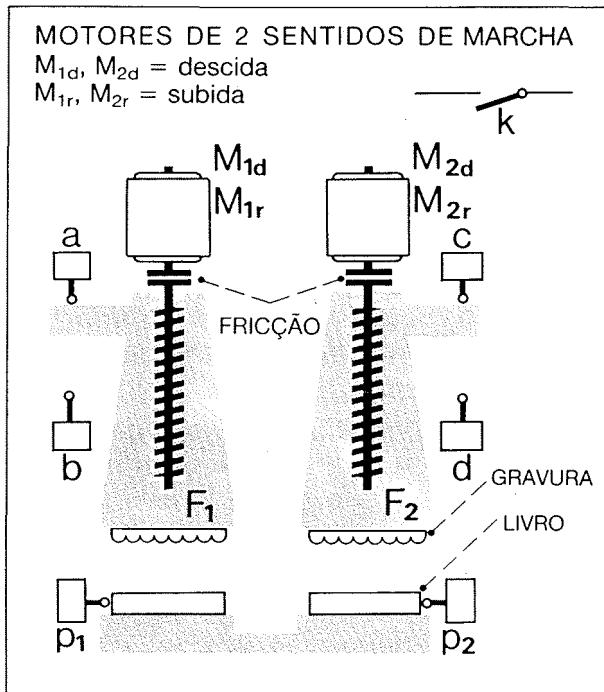


Fig. 59 — Prensa automática para decoração de livros.

#### MODO DE FUNCIONAMENTO

1.º No estado de repouso, os porta-flans *F*<sub>1</sub>-*F*<sub>2</sub> estão em posição alta, estando os contactos *a* e *c* accionados.

2.º A acção sobre o interruptor *k* (que será acrescentado ao esquema, em série), põe o motor *M*<sub>1</sub> em marcha descendente (*M*<sub>1d</sub>), na condição de estar um livro na mesa e de a autorização de funcionamento ser dada pelo contacto *p*<sub>1</sub> (a juntar no esquema).

3.º No fim de curso, ao pressionar o livro, *F*<sub>1</sub> actua sobre *b*, (*M*<sub>1d</sub>) continua a girar, permitindo a manutenção do flan em pressão sobre o livro.

4.º A acção sobre *b* provoca igualmente a colocação em marcha do motor *M*<sub>2</sub> (*M*<sub>2d</sub>), *F*<sub>2</sub> desce, na condição de *p*<sub>2</sub> ser accionado por um livro (*p*<sub>2</sub> deverá ser acrescentado no esquema).

5.º Accionando *d*, (*M*<sub>2d</sub>) continua a girar, (*M*<sub>1d</sub>) pára e *M*<sub>1</sub> inverte o sentido (*M*<sub>1r</sub>), o que provoca a subida de *F*<sub>1</sub>.

6.º Accionando *a*, *F*<sub>2</sub> sobe e o ciclo recomeça a partir da acção sobre *c*.

#### PEDIDOS

a) Estabeleça a tabela de combinações.

b) Faça as tabelas de KARNAUGH.

c) Estabeleça as equações booleanas, tendo em atenção as impossibilidades tecnológicas.

d) Faça o esquema eléctrico de comando da prensa.

**SUGESTÃO:** A tabela de combinações pode partir de:

a	b	c	d	<i>M</i> <sub>1d</sub>	<i>M</i> <sub>1r</sub>	<i>M</i> <sub>2d</sub>	<i>M</i> <sub>2r</sub>
1	0	1	0	1	0	0	0

#### PROBLEMA 8

Pretende-se construir um sistema de controlo de um processo químico que consta de uma torre vertical, que é aquecida por um sistema eléctrico na base. Uma tubagem condutora de gás desemboca na torre. O débito da tubagem é controlado por uma válvula. A torre possui internamente dois termómetros: um na base e outro no topo.

Os termómetros fornecem indicações a um sistema transdutor que divide a escala de temperaturas em quatro faixas: MUITO QUENTE (mais de 5000°C), QUENTE (1000-5000°C), FRIO (500-1000°C) e MUITO FRIO (100-500°C). Pretende-se um controlo da válvula de admissão em quatro posições: ABERTA, 1/2 ABERTA, 1/4 ABERTA e FECHADA.

Os químicos pretendem um controlo da válvula de admissão e aquecimento nos seguintes termos:

1.º Sempre que a base esteja MUITO QUENTE e o topo esteja QUENTE ou MUITO QUENTE, desliga-se o aquecimento.

2.º Sempre que estiver MUITO QUENTE em baixo, pretende-se que a válvula esteja ABERTA; se estiver FRIA ou MUITO FRIA em baixo, deverá a válvula estar FECHADA; se estiver QUENTE em baixo e QUENTE em cima, a válvula deve estar  $\frac{1}{2}$  ABERTA; se estiver QUENTE em baixo e FRIA ou MUITO FRIA em cima, a válvula deverá estar  $\frac{1}{4}$  ABERTA.

## NOTAS

Devido à propagação do calor na torre, sucede que a temperatura em baixo é sempre superior à de cima. No entanto, pode ser igual e nesse caso pretende-se que soe um ALARME.

## PEDIDOS

- a) Definir a tabela de combinações.
  - b) Estabelecer o esquema eléctrico dos sistemas de controlo e de alarme.

## SUGESTÃO

Atendendo a que as grandezas TEMPERATURA e POSIÇÃO DA VÁLVULA têm quatro estados, deverão ser utilizadas duas variáveis para cada uma ( $2^2 = 4$  hipóteses).

## EXEMPLO

Temperatura	MQ	Q	F	MF
Variáveis	0	1	0	1
a	0	0	1	1
b				

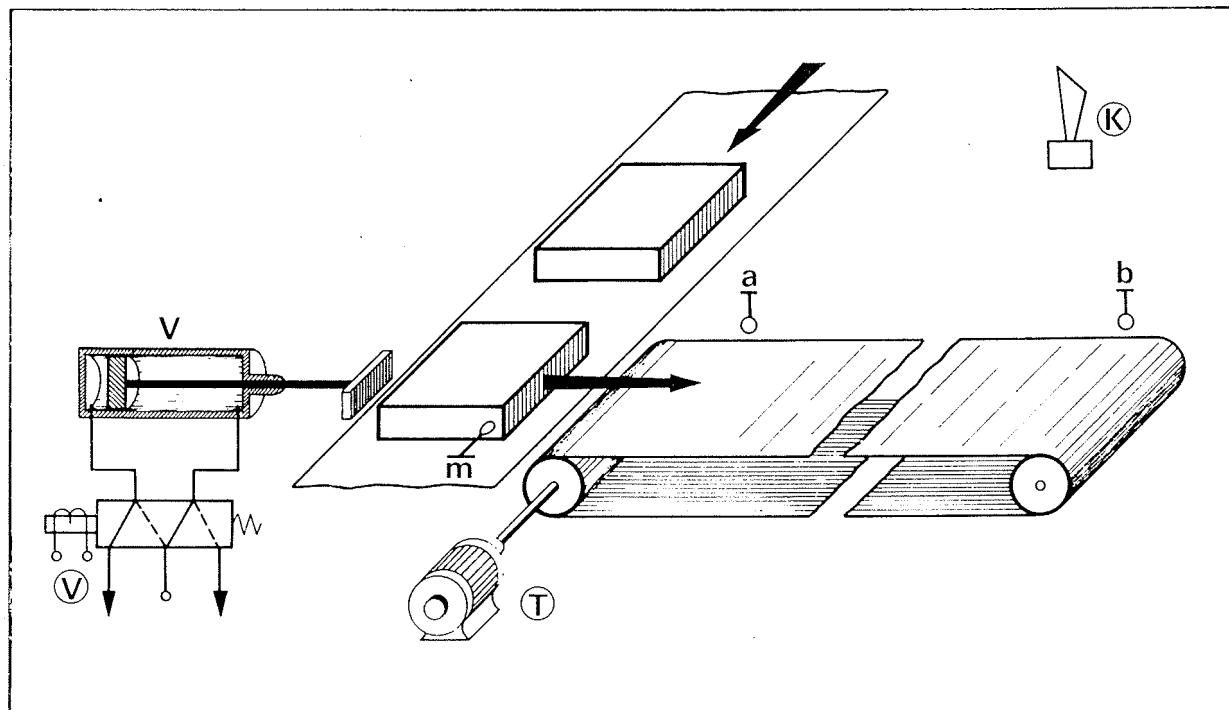
### PROBLEMA 9

Um dispositivo de alimentação é dado pelo esquema da figura 60.

Os pacotes, chegando por um plano inclinado, por gravidade, numa ordem indeterminada, são transferidos para um posto de triagem.

## FUNCIONAMENTO

1.º O pacote chega e acciona o contacto *m*. O êmbolo *V* é accionado e coloca o pa-



**Fig. 60** — Dispositivo automático com passadeira rolante para transporte de mercadorias.

cote sobre o tapete rolante  $T$  que está imóvel.

**2.º** O pacote acciona o contacto  $a$ . O tapete rolante põe-se em marcha.

**3.º** O contacto  $m$ , libertado, provoca o retorno do êmbolo  $V$ .

**4.º** O contacto  $a$  é relaxado e o tapete rolante  $T$  mantém-se em marcha.

**5.º** O pacote acciona o contacto  $b$ , que provoca a paragem do tapete rolante  $T$  e liga o avisador sonoro  $K$ .

**6.º** A retirada do pacote por um operário permite a repetição do ciclo desde que, durante a transferência do primeiro pacote, um segundo tenha chegado frente ao êmbolo  $V$ , accionando o contacto  $m$ .

**NOTA:** Um dispositivo, não representado, permite evitar que um pacote venha colocar-se em posição de partida durante o funcionamento do êmbolo  $V$ . Desde o momento em que  $V$  tenha regressado à posição inicial, o pacote vem accionar o contacto  $m$ .

**Estabeleça o esquema eléctrico da instalação.**

#### **SUGESTÃO**

Considere as variáveis primárias de entrada e uma variável secundária  $t$  — contacto auxiliar do contactor  $T$  que acciona o motor e que, como é sabido, se torna necessário considerar para garantir a auto-alimentação do contactor.

# ÍNDICE ALFABÉTICO

## A

Ábaco de robustez eléctrica	31
Álgebra de Boole	68
— axiomas da	71
— propriedades da	71
Arrancador	
— estrela-triângulo	47, 51
— inversor	47, 50
— para motor de 2 velocidades	48, 52
— rotórico a 3 tempos	48, 53

## B

Bóias de nível	14
Botão	
— de pressão	11
— rotativo	11
— por chave	11
Botoneira	
— de encastrar	11
— pendente	12

## C

Cadênciа de manobras	24
Câmara	
— de extinção de arco	17
— de fendas	18
— de grelhas	17
Categorias de emprego	24
Célula fotoeléctrica	13
Ciclo de manobras	24
Círcuito	
— de comando	8
— de potência	8
— magnético em c.c.	22
— sequencial	43
Comutador cíclico	14
Consumo médio da bobina	26

## Contacto

— auxiliar	22
— auxiliar instantâneo	22
— auxiliar temporizado ao repouso	23
— auxiliar temporizado ao trabalho	23
— principal	17
Contactor	15
— auxiliar	23
— características de	23
— classificação de	16
— constituição de	16
— de rotação	16
— de translação	17
— posição de funcionamento de	30
— tipos de	23

## Controlo

— de nível	14
— de posição de um móvel	13
— de pressão	14
— de temperatura	15
— de tempo	14
Comando	
— à distância	41
— aparelho de	8
— automático	8
— automático de volume	9
— local	41
— manual	8

## Combinador

Corrente	
— de chamada	21
— de sobrecarga admissível	26
— nominal de emprego	26

## Corte

— simples	17
— duplo	17

## D

Designação dos aparelhos	38
Detector	9

— fotoeléctrico	13	<b>N</b>
Discontactor	46, 49	Negação 71
<b>E</b>		Normas 35
Electroíman	17	Numeração dos bornes 38
Encravamento		Número designativo 84
— duplo	42	<b>P</b>
— mecânico	42	Pastilhas de contacto 17
— simples	41	Pedal 12
Equação lógica de um circuito	73	Poder
Esquema eléctrico		— de corte 30
— execução de um	39	— de fecho 30
— de execução de ligações	35	Pólo 17
— de um circuito cuja equação é dada	75	Potência nominal de emprego 30
— de percurso de corrente	35	Pressostato 14
Espira de Frager	21	Produto lógico 70
Extinção do arco eléctrico	17	Programador 14
<b>F</b>		<b>Q</b>
Factor de marcha	24	Quadro de dupla entrada 77
Função		<b>R</b>
— AND	70	Referenciação 39
— NO	70	— de aparelhos 39
— OR	69	— de bornes
<b>I</b>		Regulação 39
Interruptor		— contínua 9
— de bóia	14	— descontínua 9
— de fim-de-curso	13	Resistência de redução de consumo 22
— de posição	40	Robustez
— de pressão	40	— eléctrica 26
Invólucro	10	— mecânica 26
<b>K</b>		<b>S</b>
Karnaugh		Sensor 9
— método de	77	Simbologia 35, 36
— tabela de	78	Simplificação de circuitos 76
<b>L</b>		Sinalização
Leis de De Morgan	72	— de defeito 44
Lógica		— de serviço 43
— binária	68	— sonora 44
Logograma	73	Soma lógica 69
		Sopro magnético 19
<b>M</b>		<b>T</b>
Manostato	14	Tempo

— de corte	30
— de fecho	30
Tensão	
— de abertura	30
— nominal de emprego	30
— nominal de isolamento	30
Termo mínimo	79
Termostato	8
Teste de lâmpadas	46
Transdutor	9

**V**

Vacuostato	14
Variável	
— de entrada	74
— de saída	74

**BIBLIOGRAFIA**

1. *Conception d'un Automatisme — Telemecanique*
2. *Appareils Electriques d'Automatisme et de Commande*  
I. Taev Technique Sovietique  
1977 — Edit. MIR de Moscou
3. *L'Automatique par les Problèmes*  
J. Cojean/R. Chappert e A. Campas — Edit. Foucher
4. *Fanal — Circuit Practice*  
Metzenauer & Jung GMBH
5. *Desenho de Esquemas Eléctricos*  
F. Silva e A. Roseira, 1979 — Porto Editora
6. *Técnica de Control Eléctrico*  
AEG — TELEFUNKEN Winfried Heep.  
1976 — Edit. Paraninfo
7. *Esquemas Electricos Industriales I*  
— Pablo Marco Sancho 1979
8. *Manual de Esquemas SBIK*  
1979 — Livraria Lopes da Silva Editora
9. *Electrical Control Equipment*  
L. Rodstein 1974 — MIR Publishers Moscow
10. *TELEMEC* — catálogos
11. *Normas CEI 117-3 e 158-1. DIN 40 719*

**JOSÉ VAGOS CARREIRA MATIAS  
LUDGERO PAULA NOBRE LEOTE**

Dirigido a todos os interessados pelo aliciante tema dos automatismos industriais, este volume apresenta uma visão geral sobre diversos elementos de comando automático (interruptores de fôrma, fins de curso, detectores, etc.), descreve a constituição e funcionamento de um contactor com a respectiva aplicação em vários esquemas de comando automático (inversão de marcha de motores, arranque estrela-mangulo, etc.) e finaliza com a concepção de circuitos de comando por aplicação da Álgebra de Boole.

**ISBN 972-650-196-2**



**9 789726 501961  
N.º DE CÓDIGO 930109**



**Didáctica Editora**