

# Motores Passo a Passo

## ASPECTOS CONSTRUTIVOS E MODOS DE FUNCIONAMENTO

### 1. INTRODUÇÃO

Os Motores Passo a Passo (MPP) são actuadores electromagnéticos que convertem impulsos eléctricos em deslocamentos mecânicos. A cada impulso de comando corresponde um deslocamento incremental bem determinado que toma o nome de *passo*. Esta característica confere ao MPP uma grande facilidade de interligação com os sistemas digitais o que conduziu à sua utilização em numerosos domínios. Assim, são de mencionar a sua aplicação em relógios, traçadores de gráficos xy, equipamento fotográfico, máquinas ferramenta de controlo numérico, robots, equipamento médico, impressoras, etc.

Este trabalho aborda os aspectos essenciais a ter em conta na utilização dos MPP's. Deste modo, na secção 2 apresenta-se os tipos principais de MPP's, a sua estrutura e o seu modo de funcionamento.

### 2. TIPOS DE MOTORES PASSO A PASSO E SEU FUNCIONAMENTO

Nesta secção é apresentada uma breve descrição dos principais tipos de motores passo a passo existentes e dos seus modos de funcionamento. Nas sub-secções 2.1 a 2.3 são estudados os pormenores construtivos de MPP's de íman permanente, de relutância variável e híbridos. Por último, na sub-secção 2.4 referem-se outras estruturas de MPP's menos utilizadas.

#### 2.1. Motor de Íman Permanente

Nesta sub-secção descrevem-se os tipos de MPP's de íman permanente e respectivos princípios de funcionamento. Para este tipo de construção, são de referir o MPP de íman permanente rotórico e o MPP de íman permanente estátórico.

##### 2.1.1. Motor de Íman Rotórico

Como o nome indica, neste tipo de motor o rotor é composto por um íman permanente. Por seu lado, o estator tem um conjunto de enrolamentos polares pelos quais se realiza a alimentação do motor.

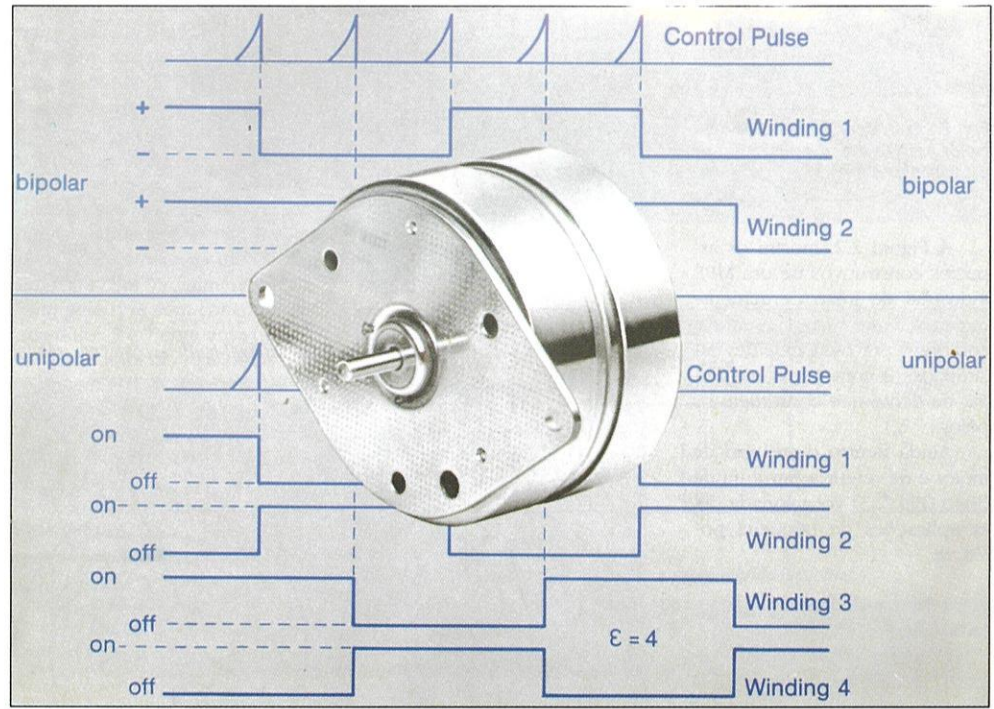


Fig. 2.1: Representação esquemática de um motor passo a passo de íman permanente rotórico.

A Figura 2.1 mostra, esquematicamente, um MPP deste tipo com quatro enrolamentos estáticos. Quando a fase A é alimentada o rotor tende a alinhar os seus pólos com os pólos de polaridade oposta do estator.

Mudando a excitação da fase A para a fase B resulta um passo de 90 graus no sentido dos ponteiros do relógio. Alimentando a fase B com uma polaridade inversa da representada na Figura 2.1 obtém-se um passo de 90 graus no sentido oposto. Na ausência de alimentação verifica-se a existência de um pequeno binário (binário remanente) que, tipicamente, atinge 10% do binário máximo.

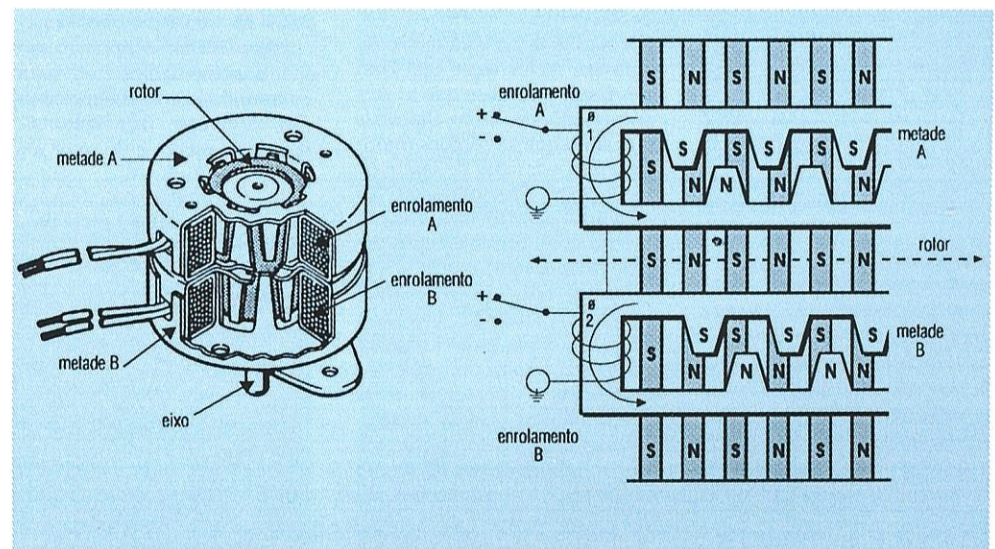
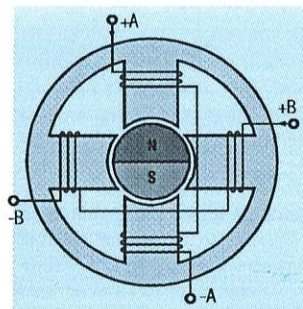


Fig. 2.2: Construção industrial de um motor passo a passo de íman permanente rotórico.

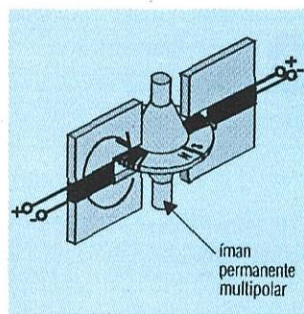


Fig. 2.3: Estrutura em disco de um motor passo a passo de ímã permanente rotórico.

A Figura 2.2, mostra os aspectos construtivos de um MPP industrial de ímã permanente rotórico. Neste caso, o estátor é composto por duas metades estampadas e com peças em forma de dente que constituem os pólos.

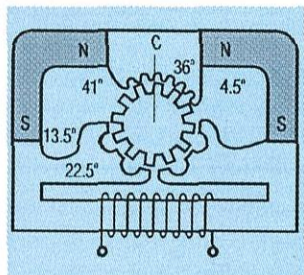
Ainda dentro deste tipo de motor é de referir a estrutura de disco (Fig. 2.3) vocacionada para aplicações de pequena potência.

### 2.1.2. Motor de Ímã Estatórico

O motor passo a passo de ímã estatórico utiliza dois ímãs permanentes inseridos no estátor.

A figura 2.4 mostra uma estrutura para a qual alimentando o estátor com a sequência [+ V → 0 → - V → 0...] resulta uma rotação do rotor de 18 graus no sentido horário.

Fig. 2.4: Motor passo a passo de ímã permanente estatórico.



### 2.2. Motor de Relutância Variável

Nesta sub-seção descrevem-se os MPP's de relutância variável e os seus princípios de funcionamento. Para este tipo de construção, existem o MPP de relutância variável multi-seção e o MPP de relutância variável mono-seção.

#### 2.2.1. Motor Multi-Seção

O motor passo a passo multi-seção encontra-se dividido

Fig. 2.5: Motor passo a passo de relutância variável multi-seção com três fases e secções rotóricas esfasadas.

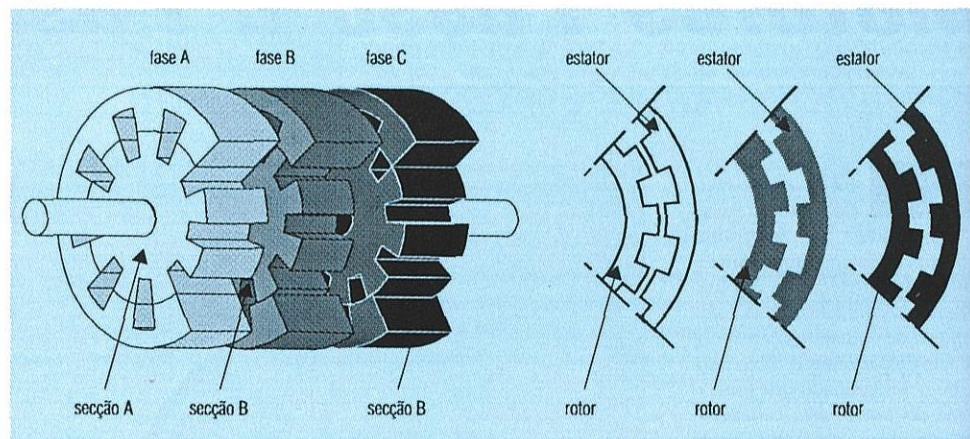
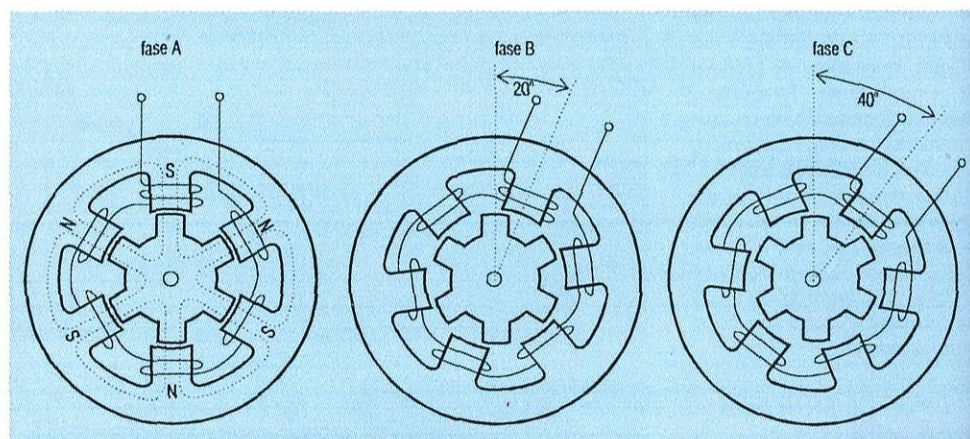


Fig. 2.6: Motor passo a passo de relutância variável multi-seção com três fases e secções estatóricas esfasadas.



em várias secções independentes no sentido axial. A cada secção corresponde uma fase e circuitos eléctrico e magnético independentes. Cada secção tem um estátor, fixado mecanicamente pela carcaça, e um elemento rotórico. Além disso, as secções estatóricas e rotóricas têm um número idêntico de dentes.

Na figura 2.5 está representado um motor deste tipo com três fases. Verifica-se que as secções estatóricas estão alinhadas enquanto que as secções rotóricas estão esfasadas de um terço da distância entre os dentes. No entanto, é possível uma situação inversa conforme está representado na figura 2.6.

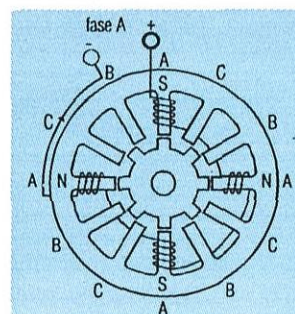
Neste caso, as secções rotóricas estão alinhadas e as secções estatóricas estão esfasadas de 20 graus. Quando a fase A é alimentada os dentes do rotor procuram uma posição de relutância mínima pelo que se alinham com os dentes da secção estatórica A. Transferindo a alimentação da fase A para a fase B obtém-se uma rotação de um terço da distância entre dentes, isto é, uma rotação de 20 graus.

Alimentando as fases na sequência [A → B → C → A...] produz-se um movimento no sentido horário. Por outro lado, alimentando as fases com a sequência inversa, isto é, com a sequência [A → C → B → A...] obtém-se uma rotação no sentido retrógrado.

#### 2.2.2. Motor Mono-Seção

Um MPP deste tipo tem, como o nome indica, um rotor constituído por uma única secção. Neste caso, os números de dentes do estátor e do rotor são

Fig. 2.7: Motor passo a passo de relutância variável mono-seção com três fases.



diferentes. Combinando diferentes números de dentes é possível construir MPP's com amplitudes de passo entre 1,8 e 30 graus.

A figura 2.7 mostra, esquematicamente, um MPP de relutância variável mono-seção com três fases e um passo de 15 graus. Os enrolamentos de cada fase estão distribuídos por quatro pólos pelo que, na figura, está representado, somente, o enrolamento da fase A. Alimentando a fase A obtém-se um alinhamento dos dentes do rotor com os dentes do estátor de forma a diminuir a relutância do circuito magnético. Transferindo a alimentação para a fase B resulta um passo no sentido horário. Uma sequência de alimentação inversa origina, como é óbvio, um passo no sentido retrógrado.

Comparando as características dos MPP's de ímã permanente e dos MPP's de relutância variável pode-se afirmar que o primeiro tem como vantagens:

- Existência de binário remanente
- Razão binário remanente/tamanho elevada
- Construção mecânica simples

- excepto para pequenos passos
- Para o mesmo binário requer menos potência que os demais tipos de MPP's
- Baixo custo

apresentando, contudo, como inconvenientes:

- Razão binário/inércia baixa
- Impossibilidade de fazer "roda livre" (*freewheeling*)
- Variação das características de magnetização do íman
- Existência de uma força contra-electromotriz elevada
- Velocidades máximas limitadas

Por outro lado, o MPP de relutância variável apresenta como vantagens:

- Estrutura que permite pequenos passos
- Possibilidade de atingir velocidades elevadas
- Bidireccional
- Força contra-electromotriz inferior à do motor de íman permanente

enquanto que, como inconvenientes, se podem mencionar:

- Construção mais complexa que a dos motores de íman permanente
- Inexistência de binário remanente
- Razão binário/tamanho inferior à dos outros tipos de motores
- Más características de amortecimento de oscilações

**2.3. Motor Híbrido**

Os motores passo a passo híbridos combinam os princípios de funcionamento dos motores de íman permanente e dos motores de relutância variável. Assim, um MPP híbrido tem um rotor constituído por um íman permanente e duas massas polares, com dentes, nas extremidades de polaridade magnética oposta.

O fluxo magnético do íman permanente segue o percurso indicado na figura 2.8. De acor-

do com o sentido da alimentação dos enrolamentos dos pólos estáticos, obtém-se uma polaridade que ou se opõe ao fluxo magnético do íman, ou favorece a sua passagem. Representando na figura 2.9 as secções transversais segundo X e Y deste motor verifica-se que existem oito pólos e as duas fases A e B.

Alimentando as fases A e B (com polaridade positiva ou negativa) resultam fluxos magnéticos nos pólos 1 a 8 de acordo com o quadro 1.

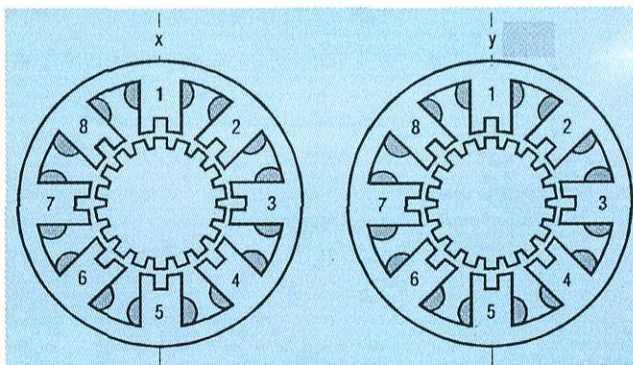
Suponha-se, por exemplo, que a fase A seja alimentada com polaridade positiva. Então, na secção X o fluxo magnético no rotor flui radialmente para fora, pelo que vem concentrado nos pólos 3 e 7 enquanto que fica quase anulado nos pólos 1 e 5. Na secção Y tem-se a situação inversa pelo que o fluxo magnético passa, essencialmente, pelos pólos 1 e 5. Transferindo a alimentação para a fase B obtém-se um passo de 5 graus no sentido horário. Assim, a sequência de alimentação [+ A → + B → - A → - B → + A...] produz uma rotação no sentido horário enquanto que a sequência [+ A → - B → - A → + B → + A...] produz uma rotação no sentido retrógrado.

A figura 2.10 mostra a estrutura de um motor passo a passo híbrido industrial. O MPP híbrido reúne as vantagens dos motores de íman permanente e de relutância variável pelo que é o tipo de motor usado mais frequentemente.

**2.4. Outros Tipos de Motores Passo a Passo**

Para além dos tipos de motores referidos anteriormente, e que cobrem a maior parte das aplicações de MPP's, existem duas outras estruturas que merecem uma referência nomeadamente o motor passo a passo linear e o motor passo a passo electro-hidráulico.

Fig. 2.9: Secções transversais segundo X e Y de um motor passo a passo híbrido.



Quadro 1

enrolamento	polaridade	sentido do fluxo magnético radial	
		para fora nos pólos	para dentro nos pólos
A	positiva	3,7	1,5
A	negativa	1,5	3,7
B	positiva	4,8	2,6
B	negativa	2,6	4,8

Fig. 2.10: Estrutura de um motor passo a passo híbrido industrial.

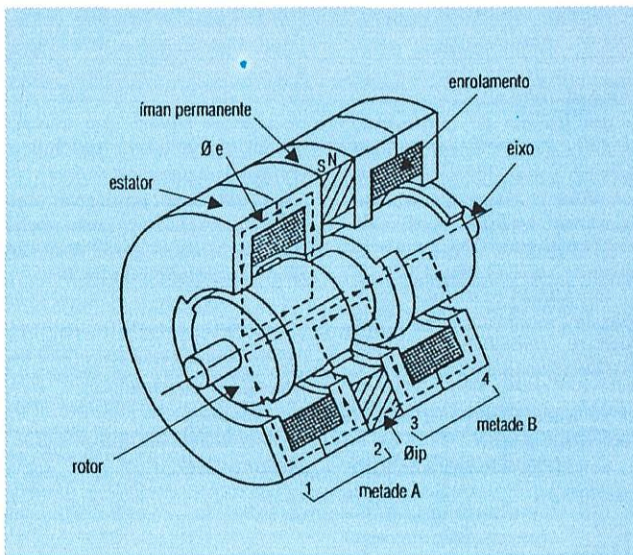


Fig. 2.11: Motor passo a passo linear de íman permanente.

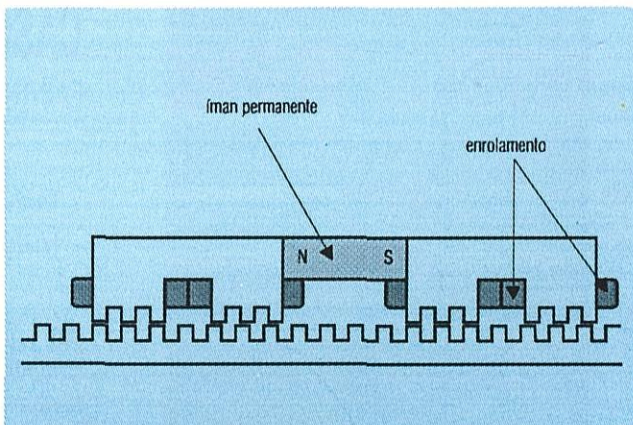


Fig. 2.8: Secção longitudinal de um motor passo a passo híbrido.

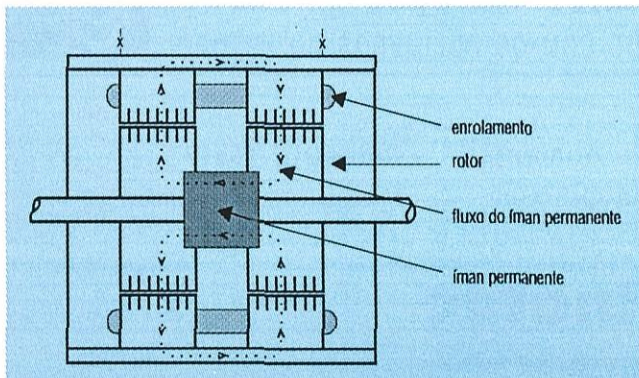
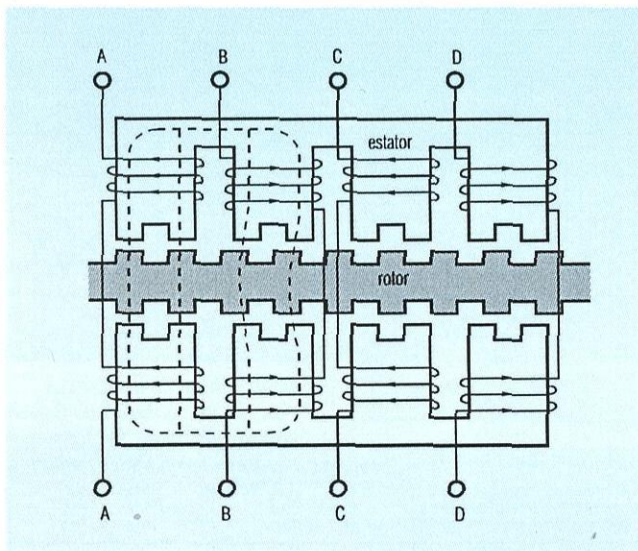


Fig. 2.12: Motor passo a passo linear de relutância variável.



Nos parágrafos seguintes descrevem-se, sucintamente, estes motores.

#### 2.4.1. Motor Passo a Passo Linear

Em certas aplicações são necessários deslocamentos lineares. Enquanto que com um motor rotacional é necessário adotar um sistema de transmissão mecânica, o MPP linear permite eliminar a transformação rotacional/linear. Neste tipo de motor existem, também, versões de íman permanente (Fig. 2.11) e de relutância variável (Fig. 2.12).

Em ambos os casos o princípio de funcionamento do MPP linear é semelhante ao das versões rotacionais.

#### 2.4.2. Motor Passo a Passo Electrohidráulico

O MPP electrohidráulico

(Fig. 2.13) consiste num sistema realimentado no qual o valor de referência é apresentado por um MPP eléctrico cujo binário é amplificado por um motor hidráulico.

A comparação entre o ângulo rodado pelo MPP eléctrico e o ângulo rodado pelo motor hidráulico é feita por uma servo-válvula que admite caudal até o motor hidráulico completar o passo.

O sistema apresenta um rendimento baixo, razão pela qual os motores deste tipo são de potência inferior a 1 KW.

\* Professor Auxiliar na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto/FEUC

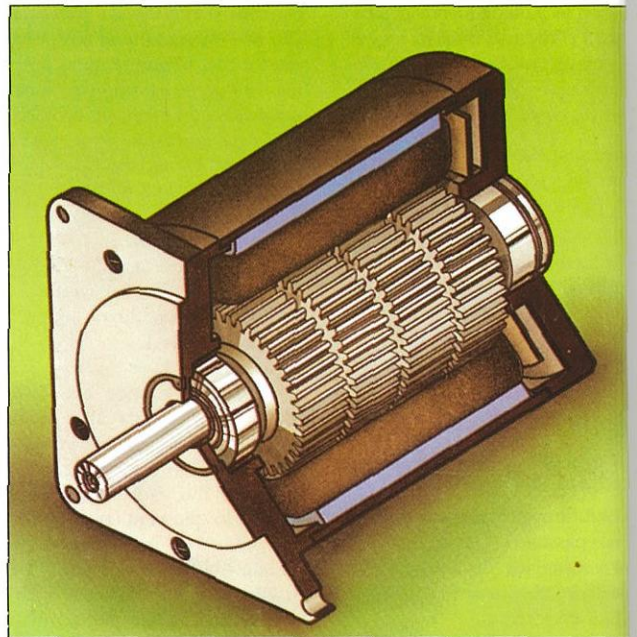
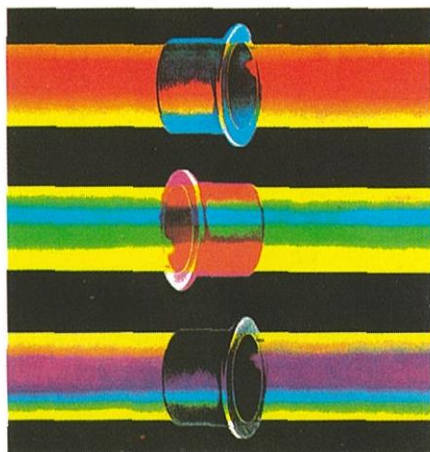
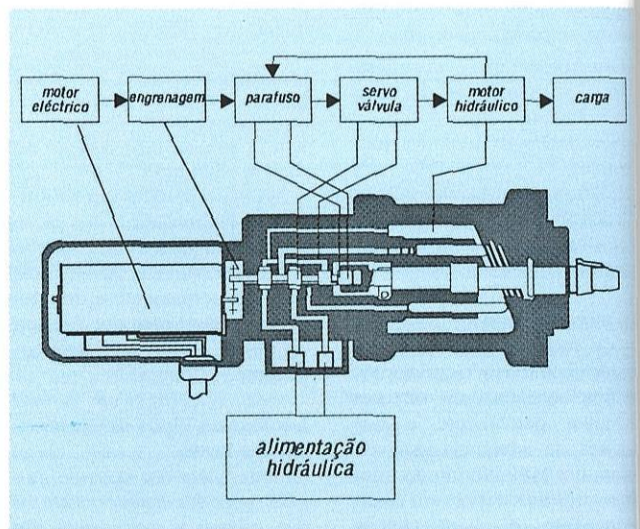


Fig. 2.13: Representação esquemática do motor passo a passo electrohidráulico.



## CASQUILHOS AUTOLUBRIFICADOS

FABRICADOS COM OS POLÍMEROS DO FUTURO



- Indústria Alimentar
- Indústria Têxtil
- Indústria Química
- Máquinas Ferramenta

## Equinotec

Equipamentos, Inovação e Tecnologia, SA.

SEDE: Rua Delfim Ferreira, 739 • 4100 PORTO • Telef.: (02) 617 05 86 • Fax: (02) 617 05 90  
FILIAL: Av. Infante D. Henrique, 332 • 1800 Lisboa • Telef.: (01) 859 72 44 • Fax: (01) 859 42 07