

Capítulo 2 – Relé Eletromecânico

2.1. HISTÓRIA DO RELÉ

Os relés têm sua história muito ligada à história do magnetismo e eletromagnetismo.

A autoindução já tinha sido descoberta por J. Henry em 1830, mas demorou a publicar a sua descoberta, o que só ocorreu em 1832. A invenção do primeiro relé deveu-se a Joseph Henry em 1835, no melhoramento do telégrafo (desenvolvido em 1831). [11]

A primeira patente de um relé foi obtida por Davy em 1838, recebendo o número British Patent 7719. Nesta patente, ele descrevia sua invenção da seguinte maneira: *“Eu reivindico o modo de se fazer sinais telegráficos ou comunicações entre um lugar distante para outro pela aplicação de relés ou circuitos metálicos através da operação por correntes elétricas”* (tradução da própria patente). [6]

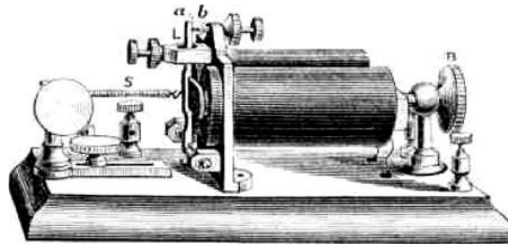


Figura 6: Desenho da patente do primeiro relé [6]

Em 1837 (patente britânica 7390), Cookes e Wheatstone descreviam um relé eletromagnético que permitia que um alarme distante fosse controlado pela tensão de uma bateria. Os relés passaram então a fazer parte de novas invenções, com destaque para o telefone de Alexander Graham Bell (1847-1922), em 1876. Os relés estiveram presentes nos sistemas telefônicos durante muitos anos, sendo apenas recentemente substituídos pelos sistemas totalmente eletrônicos, primeiro analógicos e depois digitais. A Figura 7 mostra um relé telefônico dos anos 50. [6]

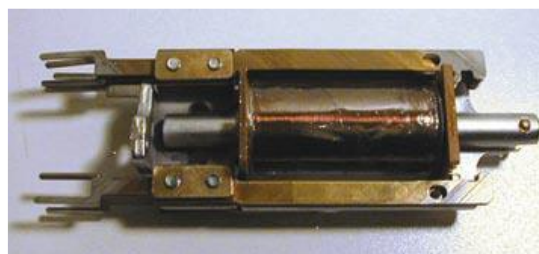


Figura 7: Antigo relé telefônico [6]

A evolução tecnológica dos relés nos últimos 30 anos não foi muito grande, olhando para os relés antigos e atuais, pouco muda além do nome e do tamanho. A função básica é a mesma e os contactos do relé continuam a ser operados por uma força magnética. [6]

2.1.1. GERAÇÃO DE RELÉS DE SINAL

Atualmente, existem duas versões dos relés de 4ª geração, o IM e o HF, sendo o HF o relé mais recente dos relés de sinal. O IM é o relé eletromecânico com menores dimensões da TE, tendo o tamanho de uma moeda de um centimo.

A 3ª geração de relés engloba o P2, o FX2, o FP2, o FT2 e o FU2. Estes foram desenvolvidos entre o início e meados dos anos noventa. São os mais vendidos pela TE, mas é expectável que a 4ª geração conquiste esta posição num futuro muito próximo, tendo em conta que atua no ramo das aplicações para o automóvel.

A 2ª geração de relés, o MT2 e o MT4, foram desenvolvidos em meados dos anos oitenta.

A grande evolução que se realça é a miniaturização levada a cabo desde a 2ª geração até à 4ª geração.

Exemplos da 1ª geração de relés são os *Cradle Relays* (antigos SIEMENS EC). Foram desenvolvidos à mais de 40 anos e foram os primeiros a ser soldados em placas de circuito impresso. [8]

Na Figura 8, pode ser visualizada a evolução das várias gerações de relés. [8]

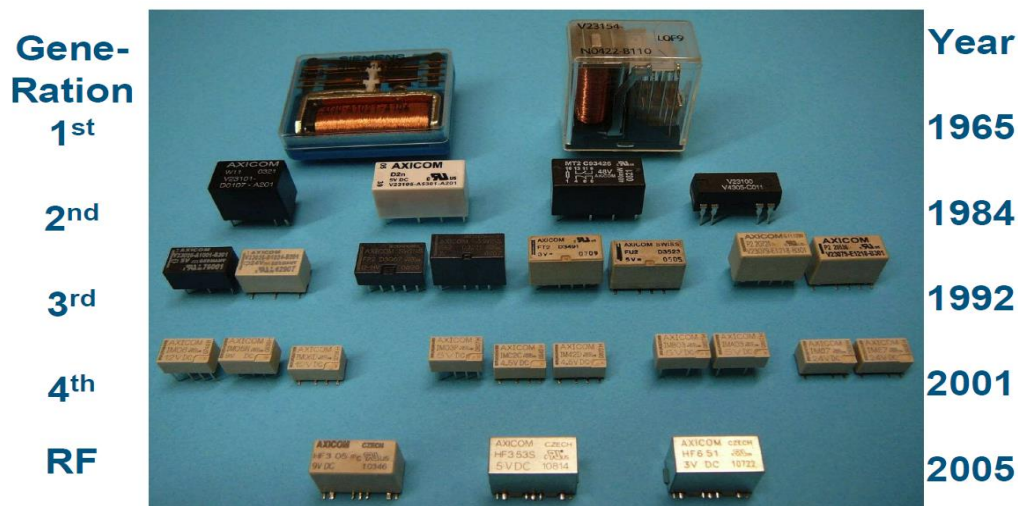


Figura 8: Gerações de relés da AXICOM [8]

Na Figura 9, estão descritas as características das últimas 3 gerações de relés.

Properties	2 nd generation	3 rd generation	4 th generation
Examples of relays			
Dimensions (mm)	20 x 10 x 11	15 x 7.5 x 10	10 x 6 x 5.65
Coil power (mW)	150	140	140
Coil voltage (V)	3 – 48	2 – 48	1.5 - 24
Load power (W/A)	60 / 62.5	60 / 62.5	60 / 62.5
Max .contact voltage (V)	220/250	220/250	220/250
Max .contact current (A)	3	2	2
Surge			
Coil – contacts	1500	2500	2500
Contacts	1500	1500	1500
Operate/release time (ms)	7/6	5/5	3/3
Thermal resistance (K/W)	85	110	130

Figura 9: Características com exemplos de relés das últimas gerações [7]

2.1.1.1. MINIATURIZAÇÃO DOS RELÉS

Os relés enfrentaram grandes desafios ao longo dos últimos anos, com o aparecimento dos semicondutores à 50 anos foi logo anunciado o fim dos relés, a verdade é que além de não desaparecerem, como tiveram um aumento da sua procura. As razões deste sucesso prendem-se sobretudo com as inovações levadas a nível de desenho para que o relé fosse capaz de satisfazer as necessidades da indústria eletrónica, das telecomunicações e automóvel.

Os maiores desafios vieram com a necessidade de miniaturizar os relés e ao mesmo tempo aumentar a capacidade de comutação e reduzir custos, além de tornar os relés amigos do ambiente (com a reciclagem de matéria prima). A miniaturização dos relés teve muito a ver com a diminuição da ocupação de espaço nas placas de circuito impresso das aplicações, como é visível na Figura 10, onde se vê uma diminuição das tolerâncias (distancias de desenho) do relé e diminuição do volume e espaço ocupado na placa.

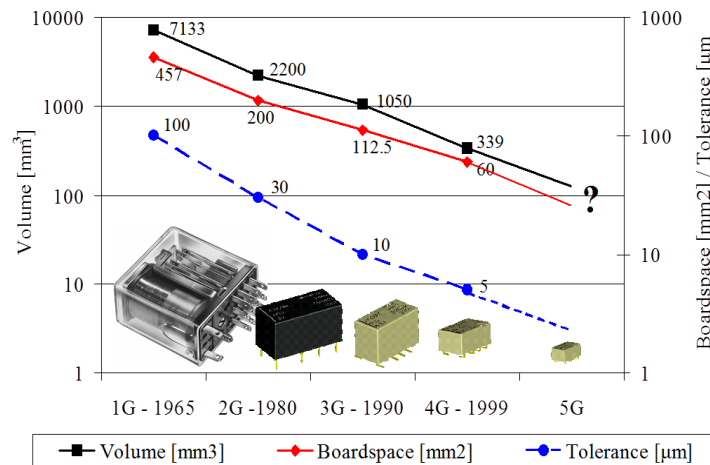


Figura 10: Miniaturização do relé [8]

2.2. CLASSIFICAÇÃO DO RELÉ

A definição da norma internacional IEC 61811-50 diz que "*Relés de telecomunicações são destinados para uso em aplicações de telecomunicações. Como os relés eletromecânicos também são adequadas para aplicações industriais e outras.*".

A classificação dos relés pode ser feita em três níveis:

- Campo de aplicação
 - Telecom e sinal
 - Propósito geral
 - Automóvel
 - Segurança
 - Militar
 - etc.
- Desenho do atuador

- Monoestável ou Biestável
- Polarizado ou não Polarizado
- Sistema do atuador
 - Eletromagnético, Electroestático, semiconductor

Fonte:[8]

Um exemplo de classificação de relés está representado na Figura 11.

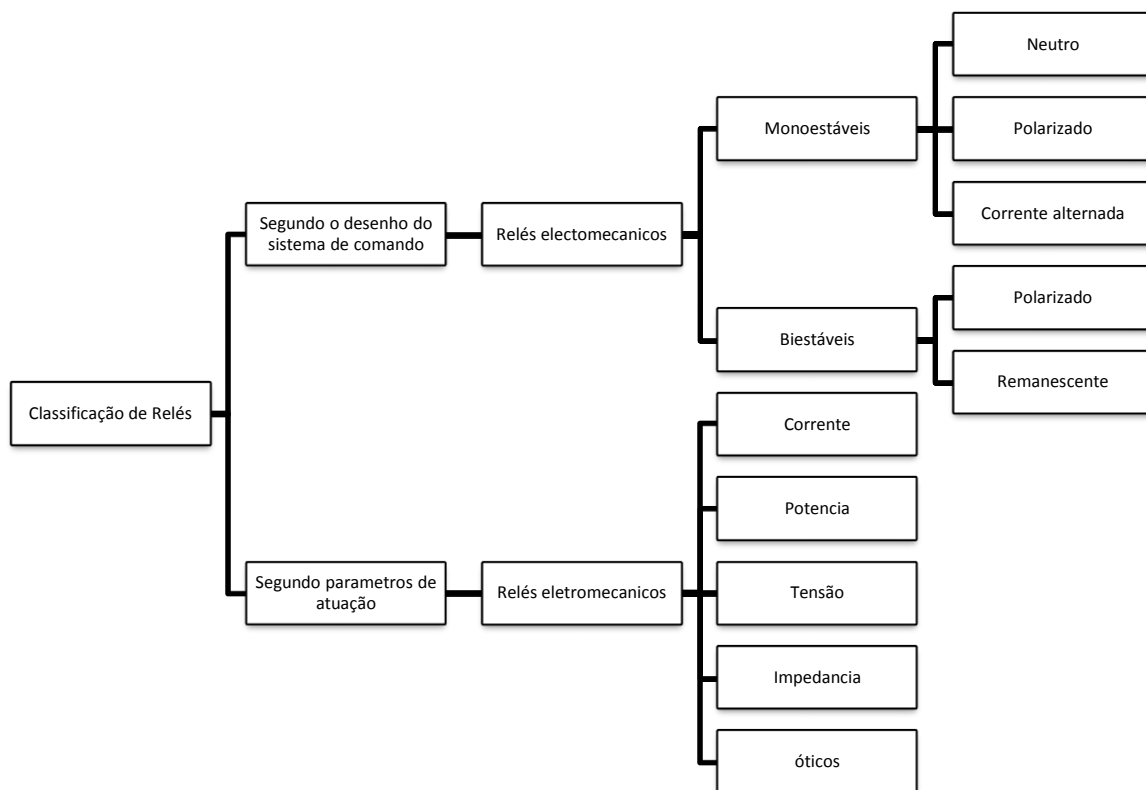


Figura 11: Exemplo de classificação de relés [8]

2.2.1. CAMPO DE APLICAÇÃO

Consoante os seus campos de aplicação, os relés são divididos em relés automóvel, relés de aplicação geral ou de potência, relés de telecomunicação e de sinal (de baixa e alta frequência). A principal diferença entre todos os relés é a carga aplicada nos contactos.

Um exemplo da classificação dos relés da TE quanto ao seu campo de aplicação é visível na Figura 12

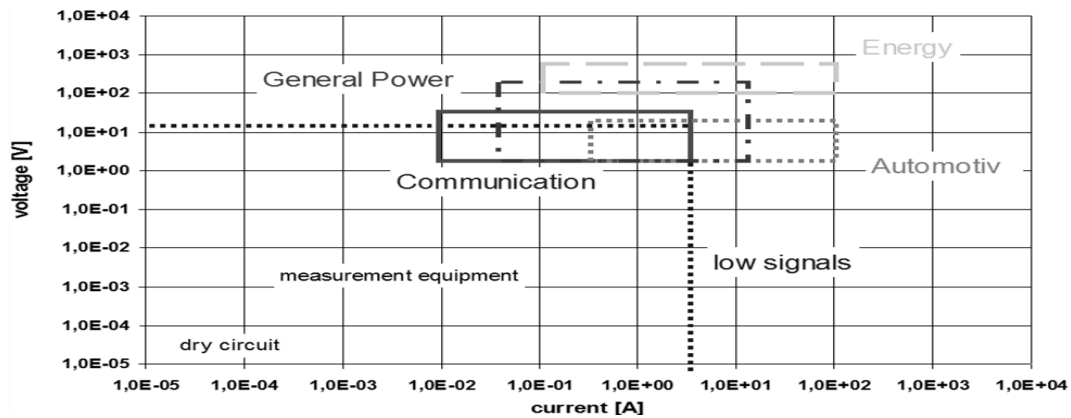


Figura 12: Ramo de aplicações dos relés da TE para as diversas cargas [8]

Os **relés automóveis geralmente funcionam** entre 6V, 12V, 24V e 42 V. As correntes na carga poderão ir acima de 150A. [8]

Os **relés de potência** são sobretudo usados em aplicações de redes com potências de 120Vac ou de 230Vac. As correntes na carga podem ir acima de 30A. Por razões de segurança, tanto a tensão do dielétrico entre a bobine e os contactos, como o tipo de gás no interior (resistência de isolamento) e as distâncias do relé são essenciais neste tipo de relés. Independentemente da carga, é por vezes comum nos relés de potência e automóvel, haver distinção nas aplicações entre PCBs (placas de circuito impresso) e *plug-in* (encaixe). Enquanto uns relés são soldados em PCB, outros são inseridos num *socket*. [8]

Relés de telecomunicação e de sinal são usados numa vasta gama de aplicações, desde *dry circuits* (circuitos sem carga) a transmissão de sinais analógicos. Tem aplicações com cargas de μV a 5000V e correntes desde μA a 4A. Nesta classe de relés a força do dielétrico as folgas e as distâncias têm de ser consideradas mas a uma escala inferior à dos relés de potência. Na Tabela 1, estão contempladas as principais diferenças entre os relés de telecomunicação e de sinal. [8]

Tabela 1: Diferenças entre os relés de telecomunicações e os relés de sinal [8]

	Relé Telecom	Relé de Sinal
Configuração dos contactos	Essencialmente 2 <i>change over</i>	Vários
Resistência de contactos (durante ciclo total de vida)	<1Ω, estável	<100mΩ, muito estável
Gama de cargas	μV...250V μA...2A >60W	μV...10V μA...mA <10W
Ciclo de vida	>1Mio. Ops. >25 anos	<100 k.Ops. >10 anos

Relés de alta frequência são designados para aplicações onde sinais de várias centenas de MHz até vários GHz têm de ser comutados.[8]

2.2.2. DESENHO DO ATUADOR

Outra classificação importante que deve de ser considerada é em relação ao desenho do atuador do relé, Figura 13.

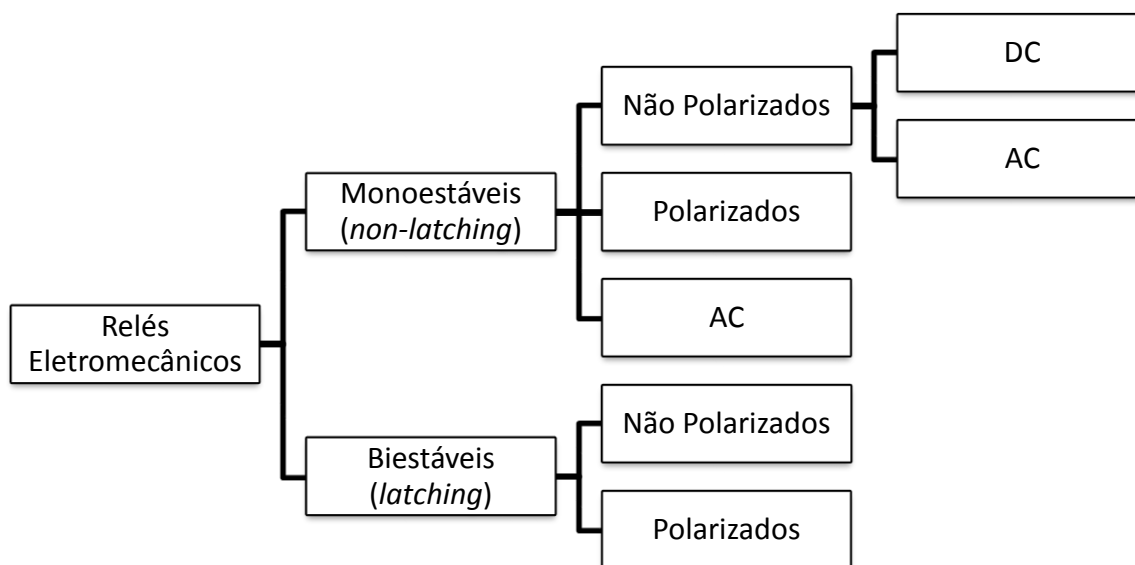


Figura 13: Classificação dos relés de acordo com o tipo de atuador [8]

2.3. BREVE DESCRIÇÃO DO RELÉ

Um relé é basicamente um interruptor mecânico que abre ou fecha circuitos de cargas elevadas (tensões e/ou correntes), é operado eletricamente por aplicação de uma tensão baixa na bobine (comando). Ou por outras palavras, é um componente que requer muito pouca energia para comandar circuitos de elevada energia. Um bom exemplo é um motor de 220V poder ser ligado e desligado com uma pilha de 9V.

A capacidade de ligar e desligar cargas elevadas com uma baixa energia, permite-lhe ter uma capacidade de amplificação. Ao contrário do transístor, o relé não é um amplificador analógico, mas sim um amplificador do tipo “digital”(0-1; ON-OFF). Na Figura 14 estão ilustrados as características do sinal de um transístor e de um relé. [11]

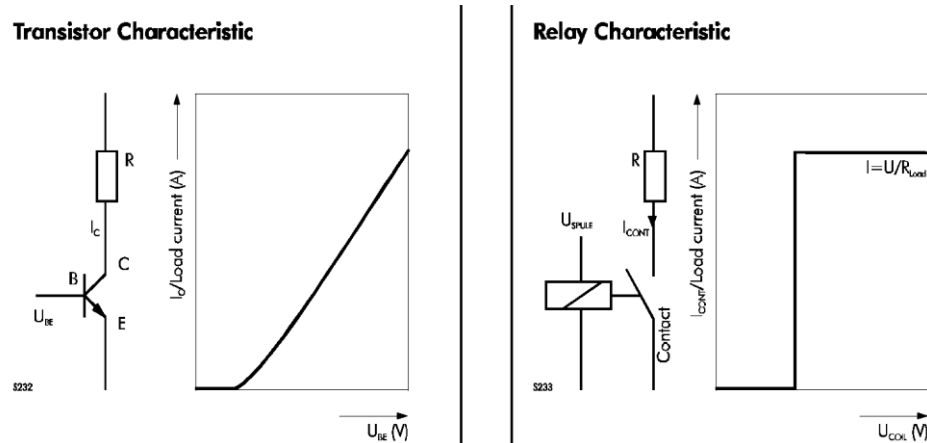


Figura 14: Comparação entre as características do sinal de um transístor e de um relé [10]

Outra característica e grande vantagem deste tipo de componentes é o isolamento elétrico (galvânico) entre o circuito de comando e o circuito de carga; o isolamento resistivo dos contactos abertos e a baixa resistência de contactos quando estes estão fechados.

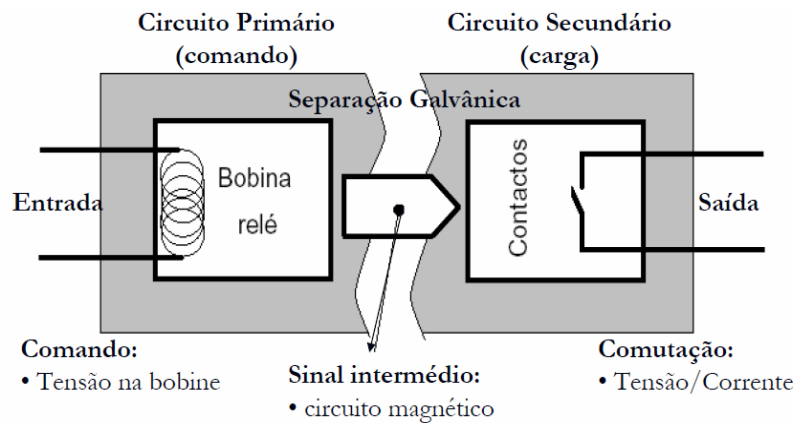


Figura 15: Circuito básico de comando e de carga [11]

Na maioria dos relés existem duas áreas distintas funcionais, como é visível na Figura 15. A primeira área é um atuador, a bobine, que comanda a segunda área, os contactos. As tensões aplicadas em ambas as áreas são independentes.

Os relés têm ainda a capacidade de comandar vários circuitos de carga ao mesmo tempo; de ter uma enorme variedade de funções de comutação.

2.4. CONFIGURAÇÃO DO RELÉ

Dos elementos que compõem o relé eletromecânico, os mais importantes são:

- **Sistema de contacto ou secundário (ou de carga)**
 - Contactos fixos;
 - Contactos móveis (movidos pelo sistema magnético, ou motor, para comutar o circuito de carga);
 - Sistema da mola (sustentam os contactos móveis e é suficientemente flexível para permitir o movimento).
- **Sistema magnético**
 - Bobine (gera o campo magnético necessário para movimentar a armadura e os contactos);
 - Núcleo;
 - Carcaça ou *yoke* (estabelece o circuito magnético);
 - Armadura (parte móvel do sistema magnético que fecha e abre o circuito magnético e funciona como atuador nos contactos);

- Mola de retorno (estabelece a posição onde o sistema magnético e sistema de contactos têm de estar quando a bobine não está ligada).
- **Componentes mecânicas**
 - Capa (protege o relé de choques);
 - Base (protege o relé de influencias externas);
 - Isolamento (dentro do relé separa o circuito primário do secundário);
 - Atuador (Movimento do sistema de contactos devido ao sistema magnético. Tem de ter propriedades de isolamento para separar o primário (bobine, sistema magnético) do secundário (sistema de contactos));
 - Pinos ou terminais (permitem efetuar a ligação do circuito de carga com o sistema de contactos).

Na Figura 16 está uma descrição dos constituintes principais de um relé (automóvel). Na Figura 17 está ainda representada uma vista mais geral dos elementos mecânicos, magnéticos e sistema de contactos.

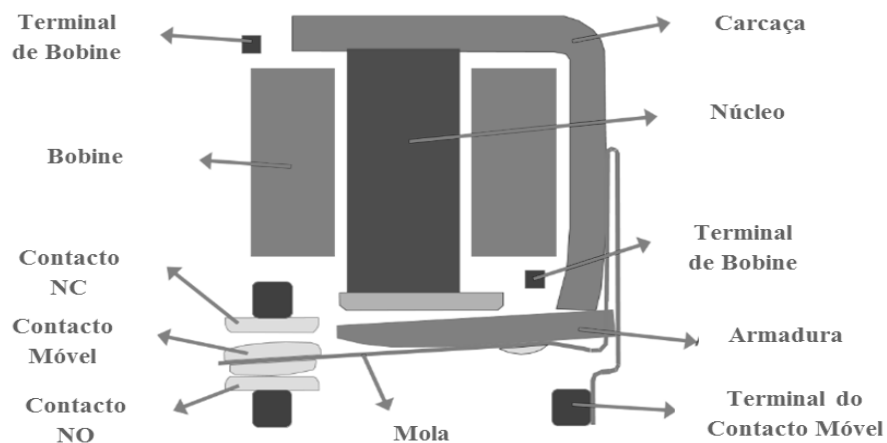


Figura 16: Constituintes de um relé [12]

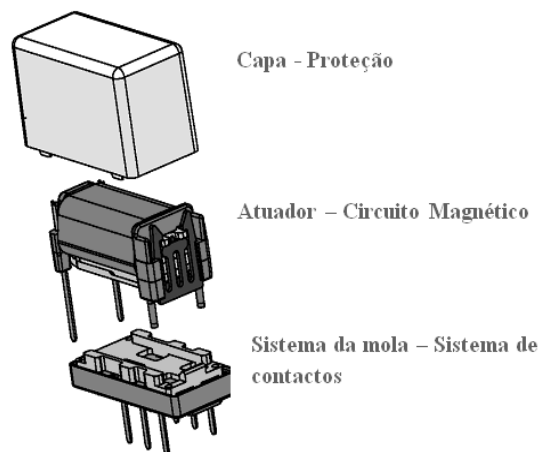


Figura 17: Elementos básicos do relé [8]

2.5. OPERAÇÃO BÁSICA DO RELÉ

O relé tem duas posições, aberto ou fechado, como se pode observar na Figura 18.

A operação básica do relé passa pelas seguintes etapas:

1. O relé está desligado. A mola força a armadura para o estado de repouso.
2. A tensão é aplicada na bobine gerando uma corrente.
3. A circulação da corrente nos enrolamentos da bobine induz um campo magnético, que por sua vez induz um fluxo magnético nas partes ferromagnéticas. O “motor” é ativado.
4. A força magnética é agora superior à força da mola, o que vai fazer com que a armadura se comece a mover em direção ao núcleo. O sistema de contactos estando fixo na armadura vai-se mover com o movimento da armadura.
5. Os contactos fecham e a armadura vai para a posição de repouso junto ao núcleo. O relé está ligado.
6. Ao retirar a tensão aos terminais da bobine, a corrente que circulava na bobine cessa, e o campo magnético também cessa, fazendo com que os contactos voltem para a posição inicial devido à força da mola.

Relé Desligado	Relé ligado
-----------------------	--------------------

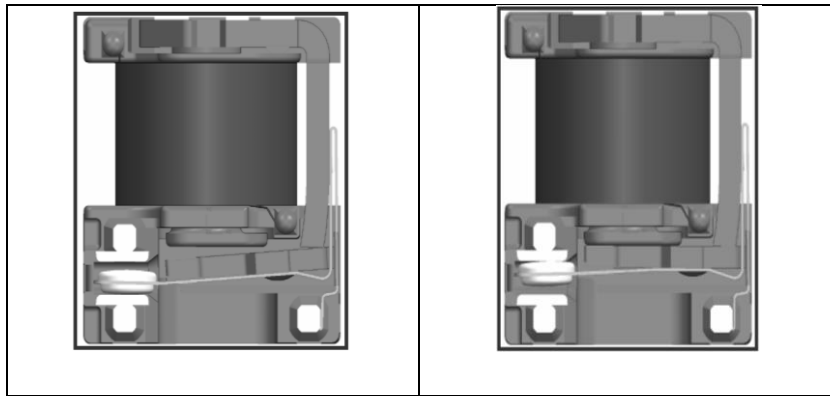


Figura 18: Modos de funcionamento do relé [13]

2.6. SISTEMA DE CONTACTOS

O sistema de contactos é constituído pelos contactos e pela mola. Na Figura 19 e na Figura 20 estão representados dois desenhos de sistemas de contactos para dois tipos de relés, um de sinal e um automóvel.

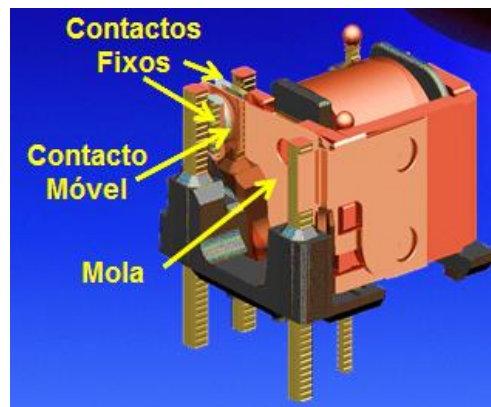


Figura 19: Sistema de contactos de um relé automóvel [13]

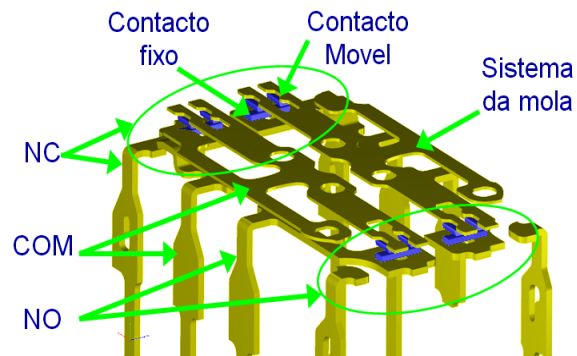


Figura 20: Sistema de contactos de um relé de sinal IM

A função de ambos os sistemas é igual, manter os contactos na posição definida quando a bobine está inactiva (força da mola), e quando a bobine for activada ser flexível para permitir o movimento para abrir/fechar os contactos.

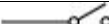
2.6.1.1. CONFIGURAÇÕES DOS CONTACTOS

Existem várias configurações de contactos, na Tabela 2 estão agrupados os vários tipos quanto ao seu desenho e forma. A performance do sistema de contactos está muito dependente da adequação do tipo de material usado nos contactos, o seu arranjo e o desenho mecânico.

Nesta tabela temos:

- SPST - Single Pole Single Throw - NC. Contacto único com um movimento (de fecho-NO ou de abertura-NC)
- SPDT - Single Pole Double Throw. Contacto único com dois movimentos
- DPST - Double Pole Single Throw. Contacto duplo com um único movimento
- DPDT - Double Pole Double Throw. Contacto duplo com dois movimentos (de fecho-NO ou de abertura-NC)

Tabela 2: Configurações dos contactos [11]

a) SPST NO	COM 	NO	1 Form A
b) SPDT	COM 	NC NO	1 Form C
c) DPST	COM  COM	NO NO	2 Form A
d) DPDT	COM  COM	NC NO NC NO	2 Form C

Na representados os tipos de configuração mais usados nos contactos, onde:

- C é o terminal comum;
- NO é o contacto normalmente aberto;
- NC é o contacto normalmente fechado.

O sistema de contactos ou de carga tem quatro fases de funcionamento são elas:

- Fechar o contacto, ou a ligar a carga;
- Contacto fechado, carga ligada;
- Abrir os contactos, ou a desligar a carga;
- Contacto aberto, carga desligada.

2.6.1.2. MATERIAIS DOS CONTACTOS

O material dos contactos tem uma grande influência na performance de um relé. A vertente económica na escolha do material dos contactos tem enorme importância.

Idealmente, o material do contacto deve ter as seguintes propriedades:

- Alta condutividade elétrica e baixa resistência;
- Alta condutividade térmica para dissipar rapidamente o calor gerado;
- Capacidade de suportar altas temperaturas por longos períodos;
- Temperatura de fusão elevada para evitar a soldadura e desgaste excessivo do contato;

- Resistência à migração de material (aplicações DC);
- Alta temperatura de evaporação para evitar a pulverização e reduzir a re-ignição do arco;
- Resistência ao desgaste mecânico;
- Elasticidade para absorver energia cinética e reduzir o *bouncing*;
- Resistência às influências do ambiente envolvente tais como gases, humidade, etc.;
- Resistência à oxidação e corrosão.

Existem dois tipos de desenho de contactos, os de rebite (redondos) e os soldados (retangulares).[11]

Em termos de desenho moderno, atualmente estão a ser muito utilizados os contactos soldados, nomeadamente nos relés de telecomunicações e nos de sinal.

Os contactos de rebite ou *rivet*, que são usados por exemplo nos relés automóveis, não podem ser usados em pequena escala (a sua dimensão é quase a mesma de um relé de sinal), como tal, os materiais dos contactos têm de ser produzidos em bandas, que são cortadas e soldadas no *carrier* (suporta sistema contactos) e nas molas.

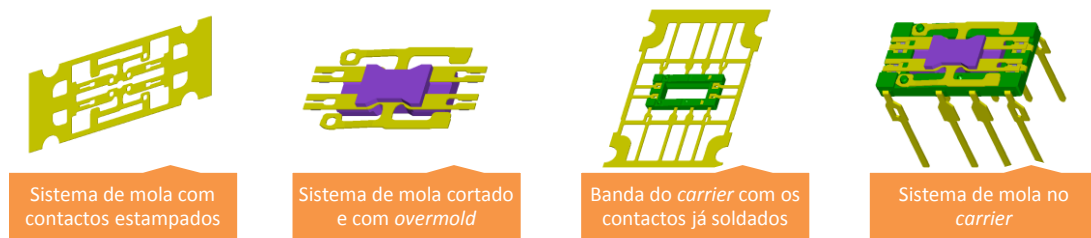


Figura 21: Contactos de rebite, *revit*

De modo a minimizar custos de produção, foi necessários aplicar técnicas em relação aos metais preciosos (diminuir a quantidade), sem haver um impacto negativo na fiabilidade dos relés. Uma das soluções foi aplicar a técnica de *sputtering*. É um método de pulverização do ouro na superfície dos contactos. Os relés de sinal usam sobretudo contactos bifurcados (duplos) revestidos a ouro, para comutação de baixo nível (cargas de baixa potencia).

Na Figura 22 estão dois cortes feitos (*cross section*) a dois contactos onde é visível o revestimento de ouro usado e as várias camadas de material usado.

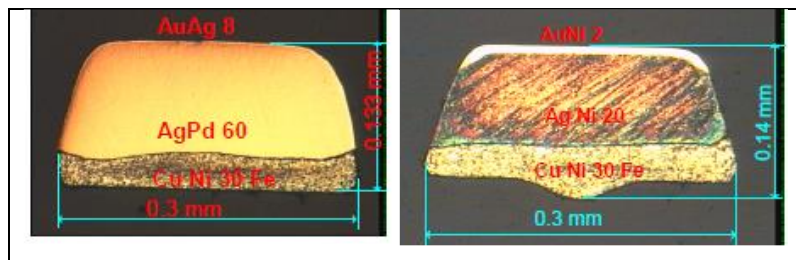


Figura 22: Cross section de um contacto e suas dimensões típicas [8]

A grande vantagem do método de *sputtering* é a limpeza da superfície e o efeito positivo em contrariar a migração de material. Estas camadas em ouro fazem com que quando existe arco eléctrico, este não se restrinja a um ponto, mas que se distribua por vários pontos da superfície de contacto, como resultado, a erosão fica mais distribuída e não é tão severa nos contactos. A performance dos camadas de revestimento e material dos contactos é visível na Tabela 3, onde estão as vantagens, desvantagens e espessuras usadas típicas.

Tabela 3: Características das ligas metálicas e materiais [13]

Material dos contactos	Vantagens	Desvantagens
Au	Elevada condutividade Anti-corrosão	Muito moles Soldadura nos contactos
AuAg 8...10	Elevada condutividade Segurança	Formação de sulfeto de prata <i>sticking</i>
AuNi 2...5	Sem migração de material em DC	Soldadura dos contactos Formação de NiO ₂
AuPd 2...4	Elevada protecção anti-corrosão	Corrosão por <i>fretting</i> (polimerização)
AuCo 0,2...0,5	Sem migração de material em DC	Oxidação de Co
Ag (Prata)	A condutividade eléctrica e térmica são as mais elevadas de todos os metais. Tem baixa resistência de contato Barato Amplamente utilizado.	Formação de sulfureto de prata <i>Sticking</i> Cria camadas de óxidos muito facilmente
AgCdO/AgSnO ₂	Elevada protecção anti corrosão para corte de correntes elevadas	Resistência de contactos elevada

AGW (prata tungstênio)	A dureza e o ponto de fusão são elevados, resistência ao arco é excelente.	Não é um metal precioso. Pressão nos contatos alta é necessária para reduzir a resistência. Resistência no contacto é relativamente alta Resistência à corrosão é pobre.
AgNi 0,15	Força elevada Iguala a condutividade elétrica da prata, excelente resistência ao arco.	Formação de sulfureto de prata <i>Sticking</i>
AgNi 10...20	Elevada proteção anti corrosão	Transferência de material Soldadura nos contactos
AgPd 60 (Prata e paládio)	Resistente ao sulfureto Desgaste nos contatos baixo	Corrosão por <i>fretting</i> (polimerização) Maior dureza. Caro.
PdRu 10	Elevada condutividade Segurança	Custo elevado
PdNi 30	Pouca transferência de material	Custo elevado
AgCu (cobre prateado)	Maior resistência ao desgaste Menor tendência para arco e soldadura	Resistência no contacto é relativamente alta

2.6.1.3. TIPOS DE CONTACTOS NOS RELÉS DE SINAL

Os contactos podem ser de dois tipos, únicos os bifurcados (duplos).

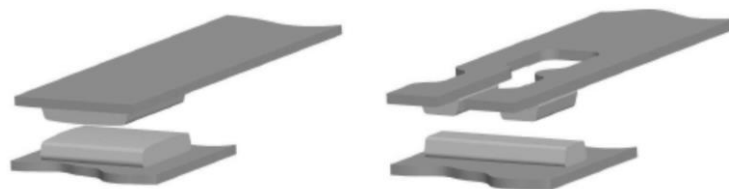


Figura 23: Contacto único (esquerda) e contacto bifurcado (direita) [11]

Os contactos bifurcados têm a grande vantagem de serem mais fiáveis, nomeadamente no que diz respeito a cargas de baixo nível e com baixas correntes.

A probabilidade de haver contacto é maior quando se usa contactos duplos ao invés do contacto único, porque na prática a força de contacto é distribuída pelos dois contactos e tem-se uma área real de contacto maior quando comparado com o contacto único. Este fenómeno irá ser melhor explicado no subcapítulo seguinte.

Apresenta também a vantagem de como tem menor massa é mais resistente a vibrações e o tempo de *bouncing ou ressaltos* é menor. Sendo bifurcados previne a falha por *welding (soldadura por arco eléctrico)*, já que a carga divide-se pelos dois contactos. Como desvantagem o tempo que demora a abrir é superior, na realidade os contactos não são simétricos e há um que demora mais tempo a abrir.

2.6.1.4. GAMA DE APLICAÇÕES PARA OS DIFERENTES TIPOS DE CONTACTOS

Consoante o tipo de aplicação/carga, existem materiais que se adequam mais do que outros. Na Figura 24 está representado um gráfico que ilustra os tipos de materiais que são usados nos contactos para diferentes tipos de cargas.

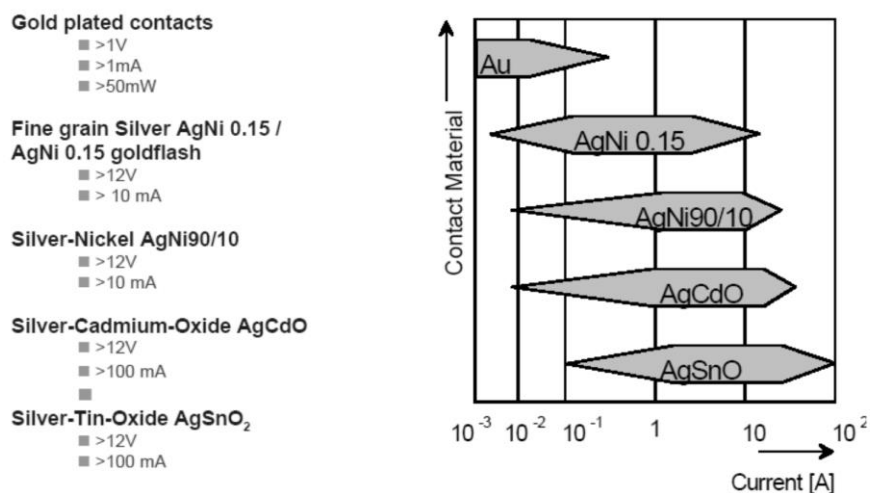


Figura 24: Material de contacto usado para determinada carga [11]

2.6.1.5. RESISTÊNCIA DE CONTACTOS

Cortar um condutor homogéneo em duas partes e tentar uni-las posteriormente no mesmo local da separação, geralmente gera um aumento da resistência. A diferença nos valores de resistência medidos antes e depois do corte é chamada de resistência de contacto. Esta é causada pelo facto da área efetiva ser sempre menor que a aparente, devido a efeitos de rugosidade apresentados por qualquer

superfície metálica. A área real dos contactos é dada pela junção dos pontos das duas superfícies rugosas de ambos os contactos que se tocam, tal como está representado na Figura 25.

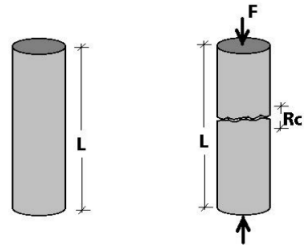


Figura 25: Condutor homogêneo antes e após o seu corte [8]

A área total real A , que fica deformada plasticamente, é proporcional à força que é feita pelo contacto, F_c , mas inversamente proporcional à rigidez do tipo de material do contacto, H . Sendo a fórmula da área plasticamente deformada dada pela equação (1):

$$A = \frac{F_c}{H} \quad (1)$$

Na Figura 26 está um exemplo de uma ilustração que ajuda a perceber os conceitos.

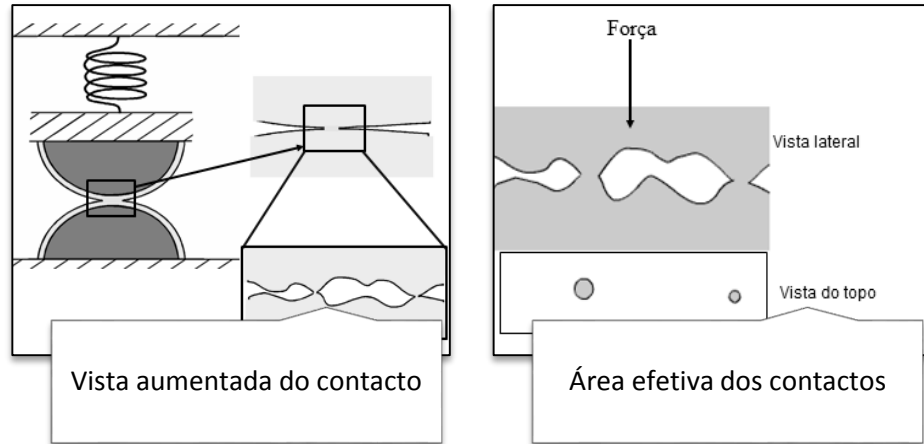


Figura 26: Ilustração dos vários tipos de vistas dos contactos [16]

A resistência de contacto acontece porque a corrente apenas consegue passar em pequenos pontos onde os contactos se tocam, ficando constricta, como se pode ver na representação da Figura 27.

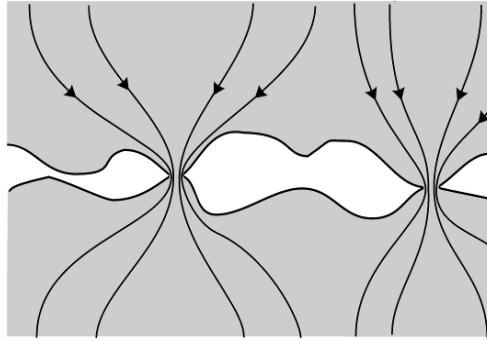


Figura 27: Constrição da corrente [16]

O desvio necessário da corrente (elétrões) causa uma queda adicional de tensão, ou seja, uma resistência. Considerando o caso mais simples de um ponto de contacto circular de raio a , no centro de uma área aparente de raio b , a constrição forma-se de acordo com a Figura 28.

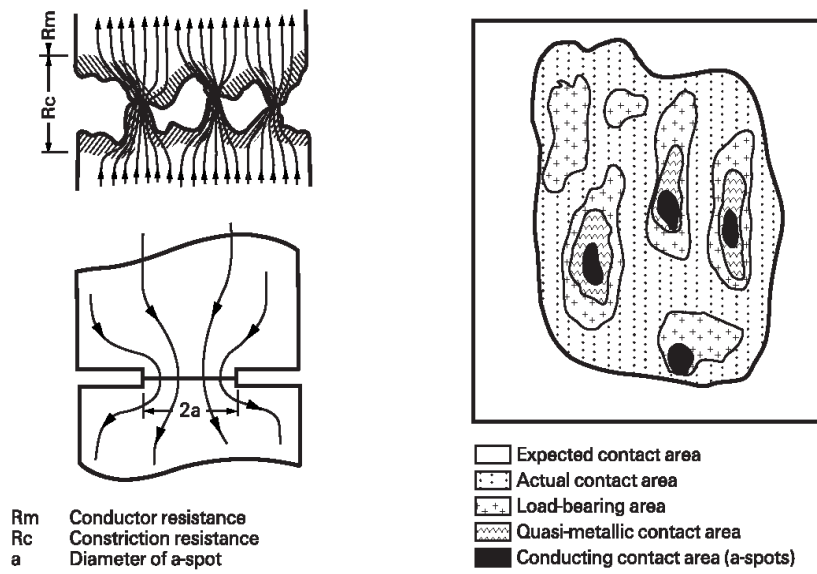


Figura 28: Formação da constrição da corrente [15]

O raio de uma área plasticamente deformada de raio r_p é dado pela equação (2):

$$r_p = \sqrt{\frac{F_c}{\pi H}} \quad (2)$$

A resistência de constrição, R_c , devido a um ponto circular de raio a , é dada por:

$$R_c = \frac{\rho}{2a} \quad (3)$$

Onde ρ é a resistividade do material de contacto.

Combinando as a equação (2) com a equação (3), tem-se a resistência de contração, R_c :

$$R_c = \rho \sqrt{\frac{\pi H}{4F_c}} \quad (4)$$

Significa isto que é necessária uma força de contacto quatro vezes superior para reduzir para metade a resistência de contacto existente. Assim, para um determinado valor mínimo de força, poderá ser mais económico distribuir a força total disponível por dois ou mais pontos de contacto, ao invés de concentrar tudo num único ponto.

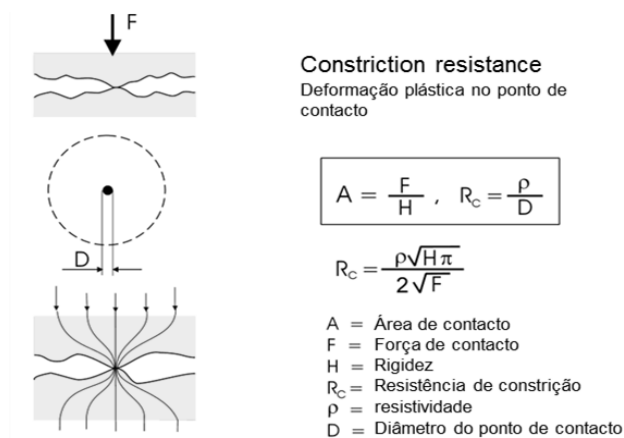


Figura 29: Resistência de contração do ponto de contacto [16]

É possível saber a temperatura no ponto de contração sem ser necessário medir diretamente. Esta pode ser calculada através da queda de tensão na resistência de contração nesse ponto.

$$U_c^2 = 8A(T_a^2 - T_c^2) \quad (5)$$

Onde:

T_a é a temperatura absoluta no ponto a ;

T_c é a temperatura absoluta do contacto geral;

U_c é a queda de tensão do contacto;

A é a constante Wiedermann-Franz $= 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ (V/K)}^2$.

O aumento da temperatura na área de constrição ($T_a > T_c$), aumenta a resistência de constrição. Sob esta influência a resistência de constrição é dada pela equação seguinte:

$$R_c(T_a) = R_c(T_c) \left[1 + 2\alpha \frac{(T_a - T_c)}{3} \right] \quad (6)$$

Onde:

α é o coeficiente de temperatura da resistividade elétrica.

O aumento da temperatura nos contactos pode causar amolecimento, derreter ou até fundir os contactos. A resistência dos contactos é por vezes devida a outros fenómenos físicos, as *layers* (ou camadas) que se sobrepõem nos contactos. A resistência dos contactos é dada pela soma parcial dos diferentes efeitos físicos:

$$R_{contacto} = R_{constrição} + R_{layer} \quad (7)$$

As superfícies reais de contactos têm por vezes camadas (*layers*) com baixa condutividade, com propriedades semicondutoras e até de isolamento. Estas camadas formam-se na superfície por absorção de moléculas que podem existir no ambiente envolvente.

O crescimento destas camadas vai decrescer e eventualmente parar, à medida que esta camada por si própria impede novas reações químicas. A espessura destas camadas e a sua velocidade de crescimento está dependente do tipo de material dos contactos, da atmosfera envolvente, da temperatura e do tempo. Uma descrição destas camadas é visível na

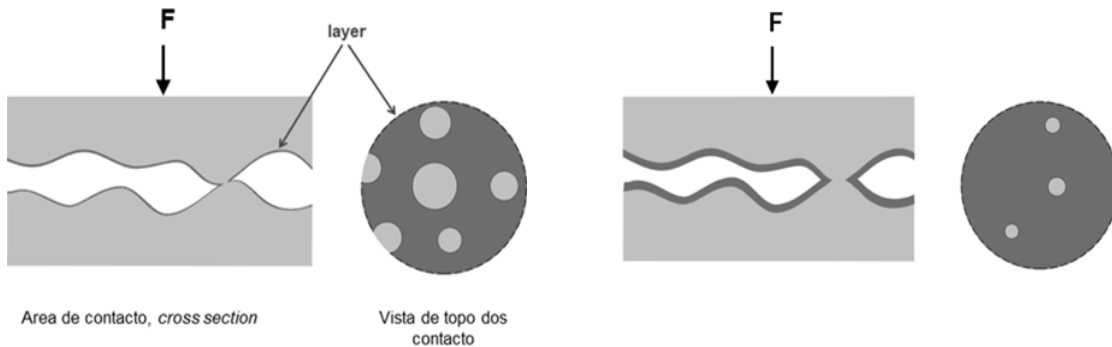


Figura 30 Figura 30: Layer na superfície de contacto [16]

Estas finas camadas aumentam ligeiramente a resistência, criando um efeito chamado *tunnel-effect*, onde existem apenas pequenos “túneis” por onde a corrente pode passar, Figura 31.

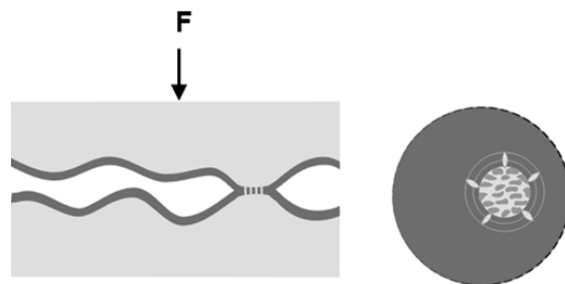


Figura 31: *Tunnel-effect* [16]

Para que se consiga ter uma boa resistência de contacto, estas camadas terão de ser destruídas, mecanicamente ou por destruição eletrotérmica. À parte destas camadas, outras contaminações poderão surgir na superfície dos contactos, aumentando a resistência ou até isolando os contactos. Estas contaminações poderão vir de pó atmosférico, de partículas criadas pelo desgaste dos contactos ou das partes móveis dentro do relé (plástico e fibras). Poderão ainda ser resultado de *outgassing* (libertação de gases) de materiais plásticos provenientes do interior do relé ou próximos dos relés (não herméticos) ou até efeitos catalíticos causados pela decomposição de vapores orgânicos pela influência do arco elétrico, como sedimentos de silicone.

2.6.1.6. INFLUÊNCIAS NOS CONTACTOS

As influências mais conhecidas nos contactos elétricos e os seus respetivos efeitos estão descritos na Tabela 4 e na Tabela 5.

Tabela 4: Influências nos contactos elétricos [7]

Influências	Parâmetros	Efeito
Elétrica	Corrente Tensão	Aquecimento, derreter, migração de material, reações químicas, <i>fritting</i> , descarga elétrica, resistência de contacto
Térmica	Arco elétrico	Derreter material de contacto, migração de material
Mecânica	Fricção Pressão	Deformação, desgaste, soldadura fria, resistência de contacto
Condições ambientais	Pó Gases	Aumento do desgaste, partículas, formação de camadas de óxidos e corrosão

Químicas	Oxidação	Resistência de contacto, camadas de matéria orgânica e inorgânica, corrosão
----------	----------	---

Tabela 5: Influência nos contactos derivada à comutação das diferentes cargas [8]

Carga	Influências principais	Material dos contactos	Considerações
<i>Dry circuits:</i> <100mV, <10mA Frequência de comutação baixa: <1V; <1mA	Mecânicas Químicas	Material banhado a ouro	Resistência de contactos, relés selados, movimento de limpeza, contactos duplos, livre de <i>outgassing</i> e plástico resistente ao desgaste
Nível intermédio <15V <300mA-30A	Mecânicas Químicas Elétricas	AgNi 0.15 AgNi 10 (AgSnO ₂) (AgCdO)	Relés selados, <i>fritting</i> , transferência de material, resistência de contactos, <i>outgassing</i>
Contactos de potência 10-400V, 300mA-30A	Químicas Elétricas	AgNi 0.15 AgNi10 AgSnO ₂ AgCdO	Vida elétrica, soldadura dos contactos, desgaste elétrico, altas temperaturas, propriedades de isolamento, corrosão em relés selados

A Tabela 4 descreve as influências físicas mais comuns e o que pode originar nos contactos. A Tabela 5 descreve, para as várias cargas submetidas aos vários tipos de material nos contactos, as influências que causam nos contactos.

Quando os contactos estão em “*dry-circuits*” (sem carga) os contactos feitos de paládio (*Pd*) e platina (*Pt*) e respetivas ligas, as moléculas orgânicas são absorvidas e polimerizadas. As camadas têm um efeito isolante. Quando o contacto faz um movimento relativo, estas camadas orgânicas são removidas e depositadas próximas dos contactos, podendo ser visíveis nos contactos com o aspeto de um pó preto (*black powder*), Figura 32.

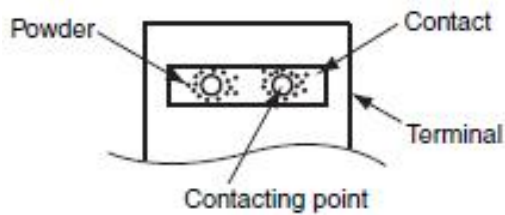


Figura 32: Imagem ilustrativa do *black powder* [17]

Na figura seguinte está o gráfico da resistência de contactos de um teste de vida elétrica e a análise a um contacto com contaminação por *black powder*.

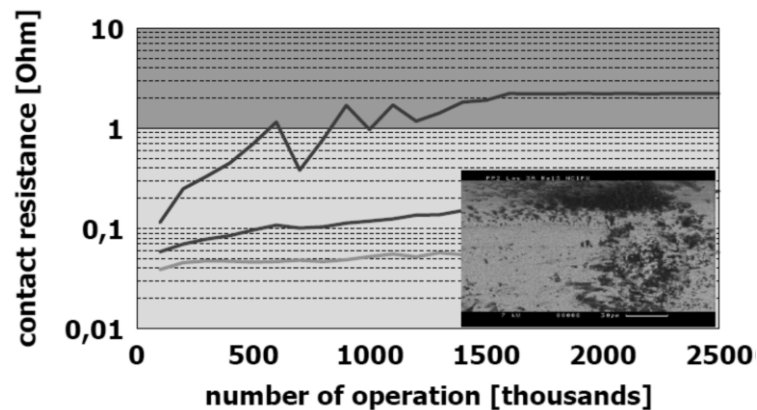


Figura 33: Gráfico da resistência de contactos e análise S.E.M. onde mostra a presença do *black powder* [8]

Quando os contactos operam num ambiente fechado (relés herméticos) e os contactos têm materiais orgânicos como plásticos, resinas e materiais isolantes orgânicos, o *outgassing* pode provocar aparecimento de carbono nos contactos. A Figura 34 contém uma análise feita aos contactos em S.E.M. (microscópio de rastreamento de eletrões) com carbono nos contactos.

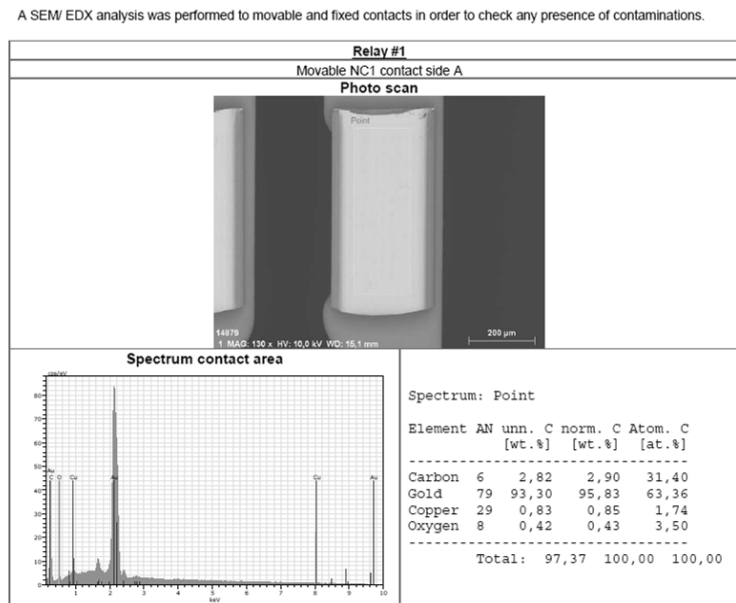


Figura 34: Análise SEM feita a um dos contactos móveis novos

Um teste usado para detetar este efeito é chamado de “*molten bridge test*”, onde são aplicados 10V e 10mA aos contactos do relé. A baixa energia do arco provocado por esta carga, é suficiente para ativar o aparecimento do carbono, mas insuficiente para os queimar. Estes ficam por isso junto aos contactos, podendo provocar um aumento de 1 a 2 Ohms na resistência de contacto.

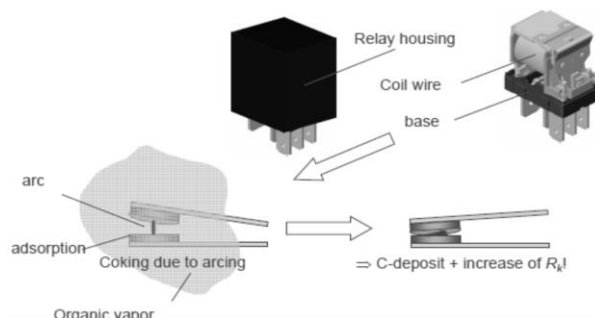


Figura 35: Processo de contaminação por polímeros gerados pelos materiais plásticos do relé [11]

O material isolante SiO_2 é um revestimento formado por silicone, originado pela presença na área próxima do contacto (ou na sua superfície) quando ocorre um arco elétrico. As moléculas orgânicas de silicone são oxidadas no arco, formando uma camada isolante. O silicone tem características de penetração extremas e é capaz de percorrer pelo ar enormes distâncias. Os silicones

podem vir de cabos, colas, fios de bobine, isolamentos, cremes para as mãos, etc. A penetração de silicones mesmo em relés com capa foi observada no passado.

Na figura seguinte está o gráfico da resistência de contactos de um teste de vida elétrica, é visível ainda a análise feita aos contactos em S.E.M.

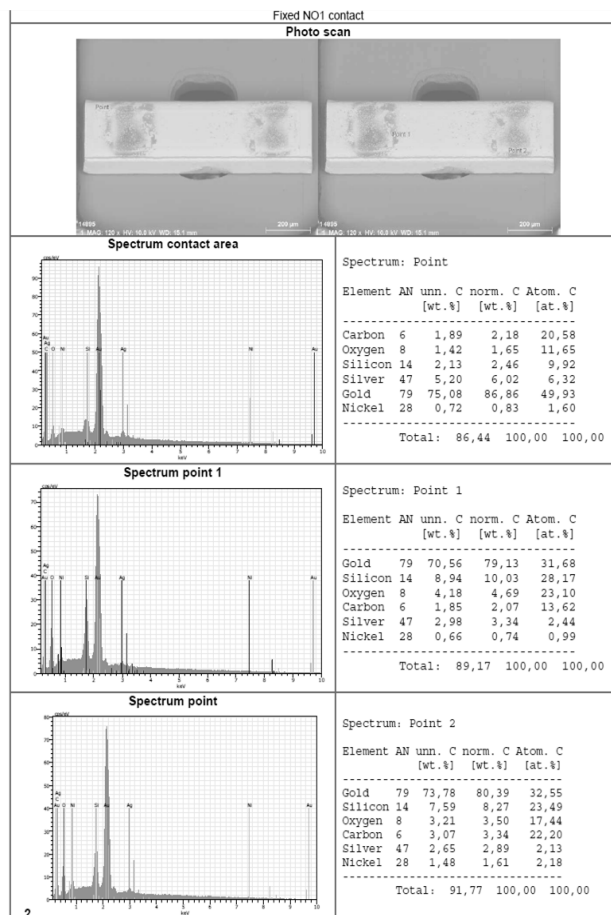


Figura 36: Imagem de uma contaminação por silicone

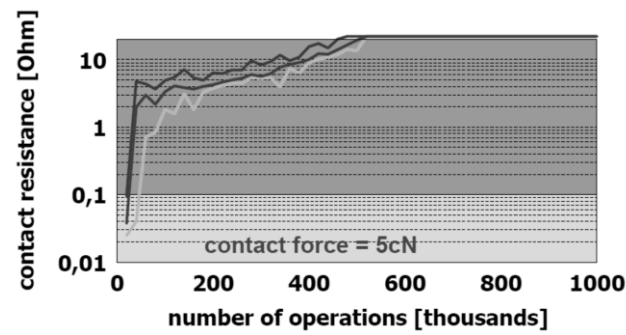


Figura 37: Gráfico da resistência de contacto na presença de silicone [8]

As partículas são o inimigo numero um dos contactos, particularmente em relés de sinal, com baixas forças de contacto. Estas pequenas partículas podem impedir o fecho do relé.

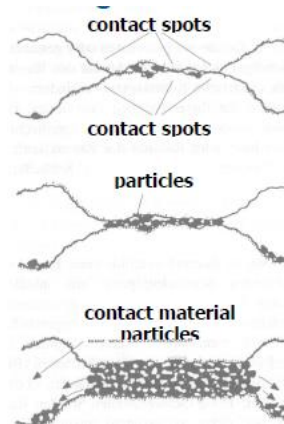


Figura 38: Partículas nos contactos [8]

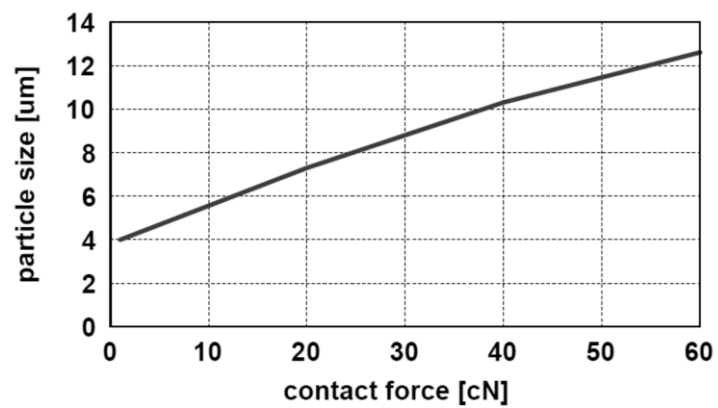


Figura 39: Gráfico da relação do tamanho da partícula e da força de contacto para operar [8]

As fontes mais comuns das partículas são o desgaste das peças do relé, ou desgaste de peças do processo de produção, o manuseamento ou o processo de soldadura.

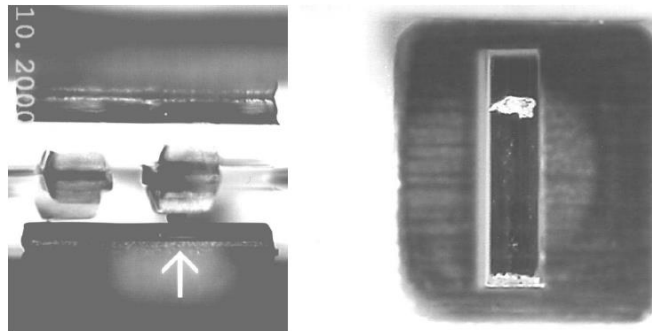


Figura 40: Imagem de uma partícula detetada na superfície dos contactos [8]

2.6.1.7. LIMPEZA MECÂNICA

Existem duas maneiras de destruir as camadas de corrosão nos contactos:

- Força de contacto suficientemente alta;
- Movimento relativo ou impacto mecânico durante o fecho do contacto.

Ao aplicar uma elevada pressão de contacto, estes fecham várias vezes devido ao ressalto e com isso consegue provocar micro deformações nas superfícies de contacto, destruindo as camadas isolantes. O desenho da maioria dos relés permite às superfícies de contactos uma fricção entre si de forma a destruir as camadas finas isolantes das superfícies de contacto.

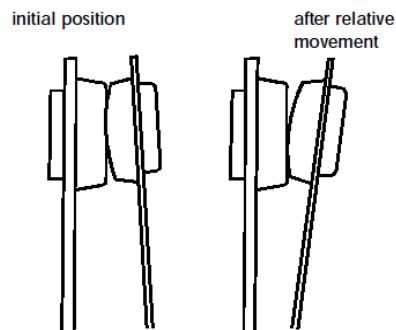


Figura 41: Movimento de limpeza dos contactos [17]

A limpeza por fricção pode gerar um fenómeno chamado de *fretting*, representado na Figura 42. Este é um processo que cria um aumento na resistência de contacto devido à corrosão nos contactos, causada por um movimento relativo um no outro. Este movimento causa desgaste que com a oxidação própria nas superfícies metálicas, resulta na formação e acumulação de óxidos que criam uma capa isolante. Isto acontece devido a vibrações, força excessiva de contacto ou contactos com muita rugosidade.

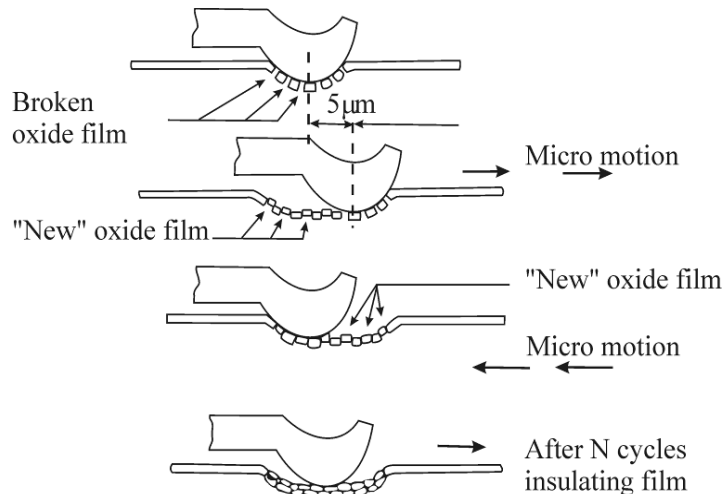


Figura 42: Efeito de *fretting* [15]

2.6.1.8. LIMPEZA ELÉTRICA

A destruição mecânica necessita de forças elevadas de contacto, o que com a miniaturização dos relés, torna-se difícil de conseguir. Assim a destruição por limpeza elétrica torna-se um complemento importante.

As camadas não condutoras também podem ser destruídas por efeitos:

- Tensão elétrica ou *fritting*;
- Corrente (aquecimento pontos de contacto);
- Efeitos térmicos (altas temperaturas devido ao arco elétrico)

O arco elétrico é o mais usado nos relés automóvel, onde ajuda a manter os contactos limpos. De seguida será feita a descrição de cada um destes métodos.

2.6.1.8.1. FRITTING

Se as camadas não forem destruídas mecanicamente através do fecho dos contactos, ou se os contactos estiverem fechados durante longos períodos de tempo sem passagem de corrente, o efeito eléctrico ou de *fritting* irá contribuir para estabelecer um bom contacto, mesmo com as camadas isolantes na área de contacto efetivo.

O termo *fritting* descreve a quebra das camadas de óxidos (ou contaminações) devido à aplicação de uma alta tensão (*fritting voltage*) em ambos os contactos fechados, visível na Figura 43. Devido a essa tensão aplicada e às distâncias muito curtas (a espessura das camadas) entre os dois potenciais, é gerado um campo eléctrico muito forte. A camada pouco condutora irá “quebrar” e a corrente penetra por canais estreitos abertos (*tunnel effect*), resultando numa densidade de corrente elevada, o que vai causar o aquecimento nos canais condutores destruindo ainda mais as camadas e alargando o caminho, ligando eletricamente ambas as superfícies dos contactos.

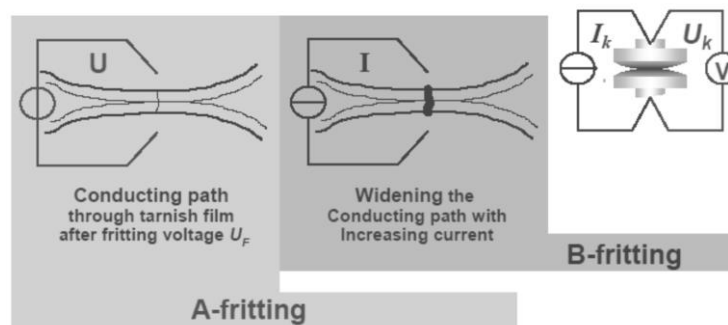


Figura 43: Processo de *fritting* nos contactos [8]

O valor da tensão de *fritting* depende do material de contacto, da composição e espessura das camadas, e da condutividade e composição das superfícies dos contactos. Tensões de mV até centenas de volt poderão ser necessárias para que ocorra o efeito de *fritting*.

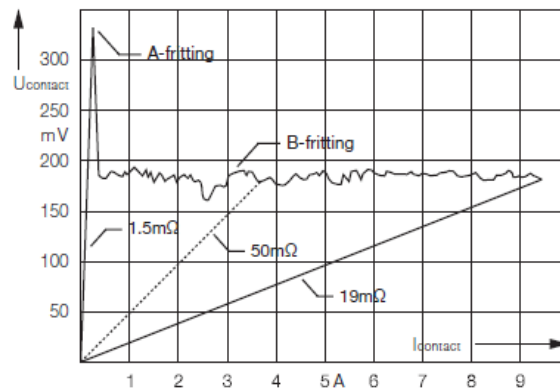


Figura 44: Fritting de um contacto [8]

Existem dois tipos de *fritting*, o *A-fritting* e o *B-fritting*. O fenómeno de decréscimo da resistência de contacto devido ao amolecimento do material de contacto por uma força constante é chamado de *B-fritting*. A quebra de camadas isolantes devido à tensão de *fritting* é chamada de *A-fritting*.

O *fritting* é um processo pouco fiável porque nunca se pode prever se a tensão da fonte disponível é suficiente para iniciar o processo. Por outro lado o resultado não é satisfatório e tecnicamente inadequado na maioria das aplicações. Por isso, por vezes não é um meio aceitável para a quebra das camadas de óxidos dos contactos, estes terão de ser destruídos primeiro mecanicamente.

Para completar a limpeza é necessária a destruição térmica, esta requer altas temperaturas, que são geradas apenas por correntes elevadas nos contactos ou arcos eléctricos (desligar cargas indutivas). A destruição térmica ocorre após a ocorrência de uma destruição eléctrica

2.6.1.8.2. ARCO ELÉTRICO

Um arco eléctrico é causado por uma descarga gasosa de uma corrente intensa que ocorre quando se abrem os contactos. Em determinadas condições é criado um caminho entre os contactos que fica ionizado. Os átomos são “partidos” em iões por efeito térmico e/ou por efeitos de fortes campos eléctricos. A ionização faz com que o ar, que é não condutor, fique condutor. A sua condutividade é mantida se a energia fornecida for suficiente. O arco representa um circuito resistivo adicional ao circuito, como está exemplificado na Figura 45.

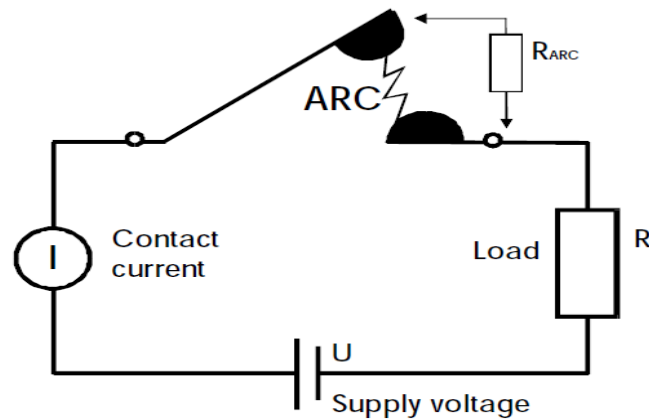


Figura 45: Circuito de carga resistivo e arco elétrico gerado [10]

Quando os contactos se afastam, a distância entre eles aumenta, o que faz com que a tensão para manter o arco aumente acima da fonte de tensão e o arco se extinga. Mas se a fonte de tensão/corrente for suficientemente elevada para manter o arco entre os contactos que se afastam, os contactos do relé podem ser destruídos, isto porque não conseguem suportar as elevadas temperaturas do arco.

A tensão e correntes mínimas para gerar e manter o arco dependem do material dos contactos e da distância entre os contactos. O gráfico da Figura 46 mostra as tensões mínimas necessárias para conseguir gerar um arco elétrico em função do tipo de material dos contactos.

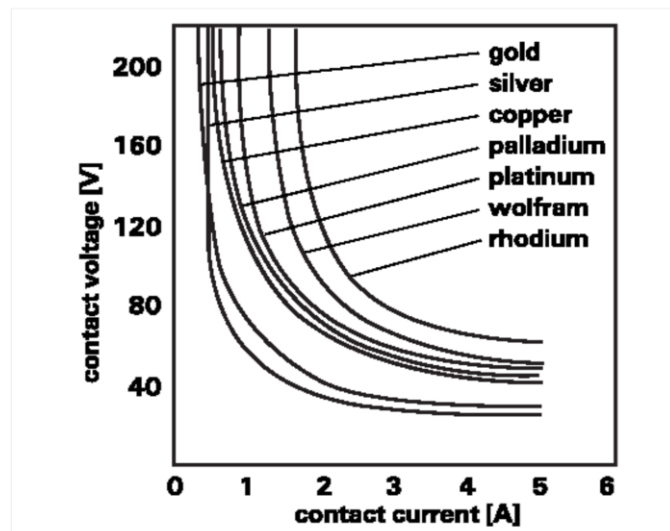


Figura 46: Gráfico da tensão mínima para gerar um arco consoante o tipo de material dos contactos [7]

O arco eléctrico não ocorre só quando os contactos desligam cargas, por vezes também quando fecham. Isto pode acontecer devido aos seguintes fatores:

- O decréscimo da distância entre os contactos conduz a um forte campo eléctrico, resultando em pequenas descargas eléctricas e num arco eléctrico. Este arco pode ajudar a limpar os contactos.
- Após o impacto dos contactos um no outro os contactos ressaltam e abrem diversas vezes. Este ressalto, ou *bouncing* é normal na comutação dos relés, e neste tempo de “abre e fecha”, pequenos picos de corrente passam entre os contactos, tal como representado na Figura 47. Este fenómeno pode traduzir-se em arcos eléctricos e num aumento da temperatura nos pontos de contacto, que em casos extremos pode provocar o “amolecimento” e soldadura dos contactos danificando o relé. A Figura 48 representa o processo de criação do arco eléctrico e um dos seus efeitos negativos, a transferência de material.

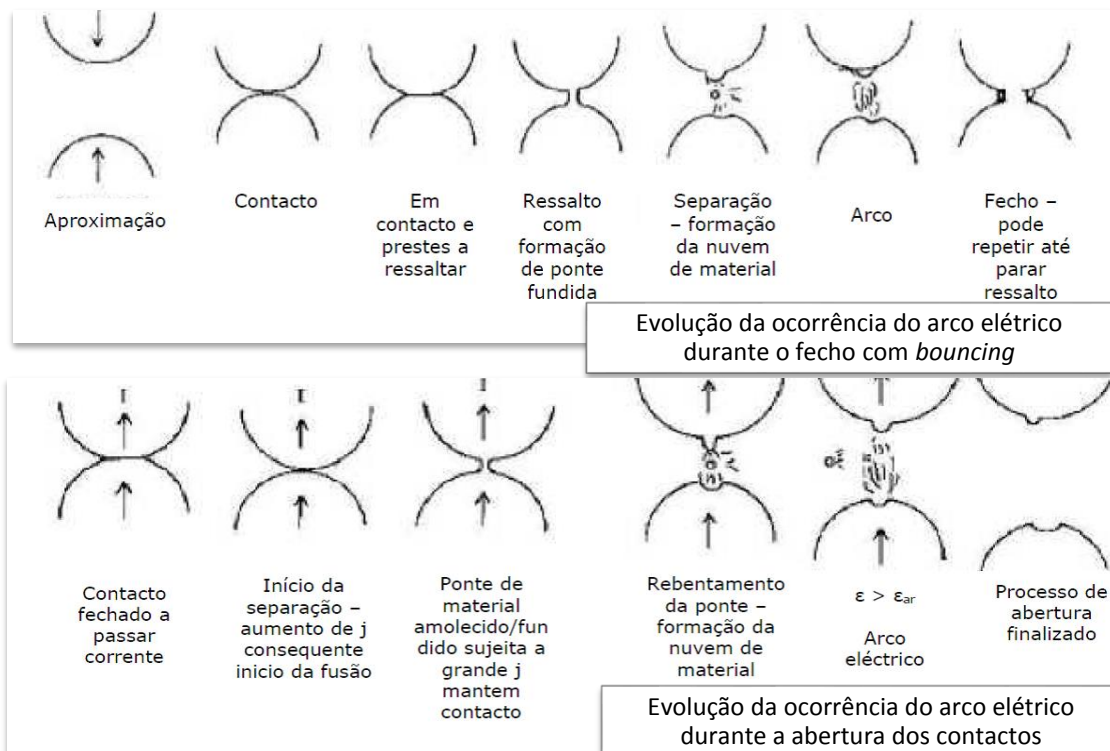


Figura 47:Esquema ilustrativo da evolução da ocorrência do arco eléctrico [1]

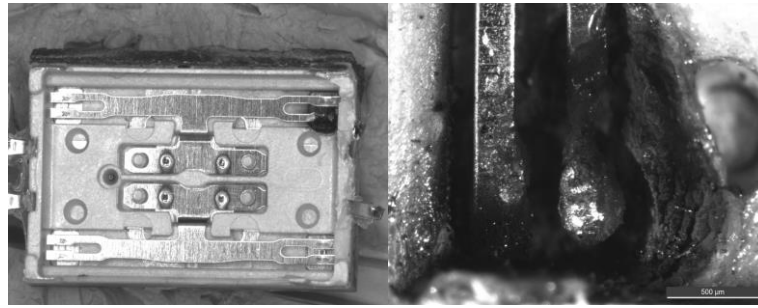


Figura 48: Imagem de um relé danificado por arco elétrico

2.6.1.8.3. ARCO ELÉTRICO EM CARGAS DC

As temperaturas de um arco elétrico podem ir dos 6.000°C aos 10.000°C, o que faz com que a superfície dos contactos derreta. A evaporação e a pulverização dos contactos levam ao desgaste do material e migração, o que reduz o ciclo de vida dos contactos. A migração do material dá-se do cátodo para o ânodo, resultando em crateras e cones nos contactos, visível na Figura 49.

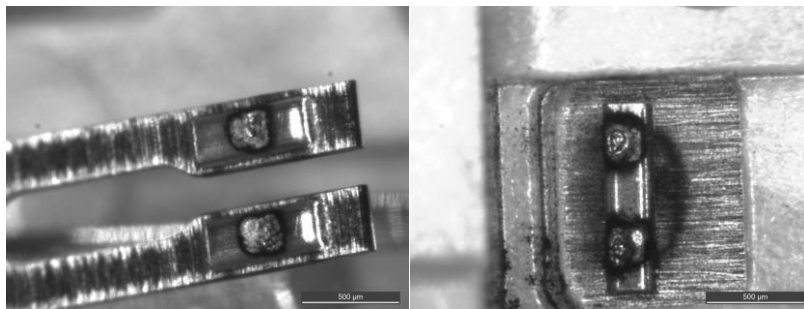


Figura 49: Imagem de transferência de material nos contactos

Nos circuitos DC a transferência de material e a erosão nos contactos são os principais fatores da redução do ciclo de vida dos relés.

Na figura seguinte está o gráfico da resistência de contactos de um teste de vida elétrica para uma carga DC, é visível ainda a análise feita aos contactos em S.E.M.

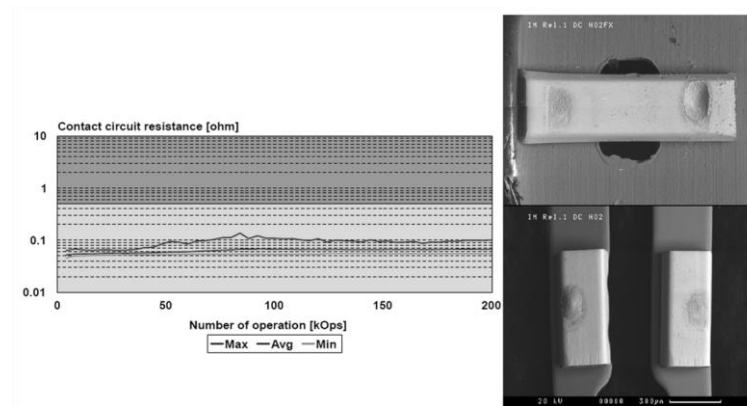


Figura 50: Resultado após teste em circuito resistivo DC (300V;0,2A;60W) [8]

2.6.1.8.4. ARCO ELÉTRICO EM CARGAS AC

Nos circuitos AC a energia fornecida ajuda a extinguir o arco, já que este colapsa quando a corrente baixa e atinge o zero (a cada 10ms para o caso de 50Hz). O arco volta a formar-se se for restabelecida a energia fornecida e se esta estiver acima da capacidade de comutação. O mesmo pode acontecer se os contactos não estiverem totalmente abertos quando a corrente atinge o valor zero.

De forma a aumentar o ciclo de vida útil dos contactos é necessário desenhar o relé tendo em conta estes efeitos, tendo como objetivo a extinção do arco o mais depressa possível. Uma outra possibilidade será usar circuitos supressores.

Na figura seguinte está o gráfico da resistência de contactos de um teste de vida elétrica para uma carga AC, é visível ainda a análise feita aos contactos em S.E.M..

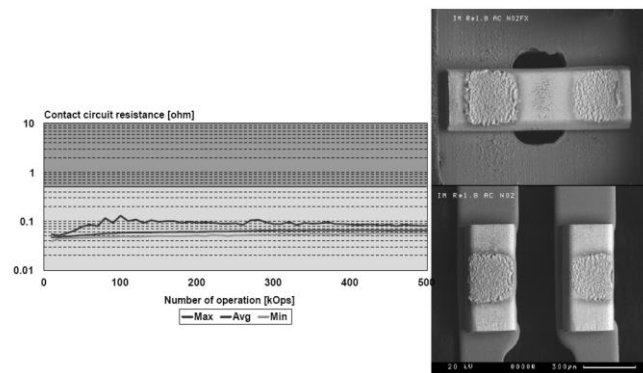
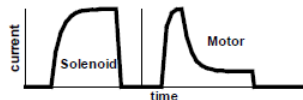
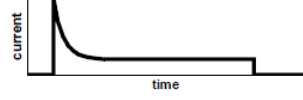


Figura 51: Resultado após teste em circuito resistivo AC (300V; 0,21A; 62.5VA) [8]

2.6.2. CARGAS ELÉTRICAS TÍPICAS NOS CONTACTOS

As cargas elétricas podem ser classificadas segundo a Tabela 6 quanto ao tipo de carga, de fonte, quanto ao nível e características. Estas são as cargas típicas usadas nos circuitos onde os relés são usados.

Tabela 6: Classificação das cargas elétricas dos relés [7]

Cargas Elétricas			
Tipos de carga elétrica	Resistiva	Tipo de curva	
	Indutiva		
	Capacitiva		
Tipo de fonte	AC DC		
Nível de carga	Baixo nível Intermédio Alto nível		
Características típicas da carga	Corrente de descarga Corte de corrente Motores Bobines		

2.6.3. SISTEMA MAGNÉTICO

O sistema magnético, que pode também ser designado como sistema de bobine ou motor, é conhecido como energização do sistema primário. Basicamente, este sistema consiste em todas as partes do relé que transformam a energia elétrica, no primário, em força mecânica para atuar os contactos no lado do secundário.

2.6.3.1. CIRCUITO MAGNÉTICO

Os componentes do sistema magnético do relé são: a bobine, o núcleo, a carcaça (*yoke*) e a âncora (ou armadura). Dois sistemas magnéticos de dois relés diferentes, um automóvel, outro de sinal são visíveis na Figura 52. A armadura move-se de um lado para o outro sob influência do campo magnético, movimento este que pode influenciar diretamente ou indiretamente o fecho e abertura dos contactos. O campo magnético é gerado pela bobine, que consiste num fio de cobre enrolado em camadas ao longo do corpo da bobine onde está o núcleo de ferro.

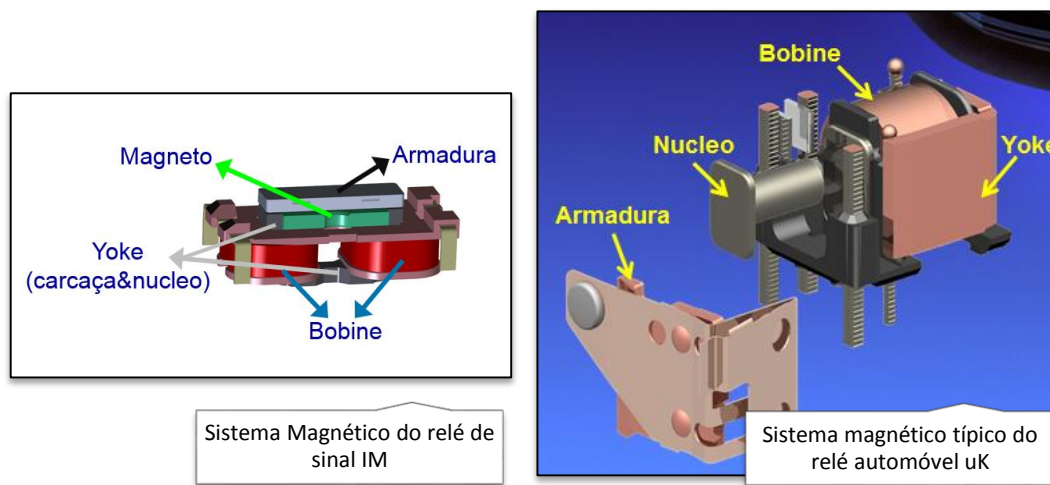


Figura 52: Sistema magnético dos relés IM e do uK [8] [12]

O material usado para as peças do circuito magnético são normalmente ferromagnéticas ou de um aço macio com um baixo teor de carbono. O ferro ou o aço macio são utilizados devido aos seguintes fatores:

- Serem muito eficazes e aumentarem a força do campo magnético da bobine;
- A retenção de magnetismo residual ser muito baixa, depois da bobine desligada.

É muito importante que o magnetismo seja o mais baixo possível, de modo a que o relé retome o estado inicial com a tensão especificada da bobine. As peças (*núcleo, carcaça e âncora*), são normalmente revestidas com cobre, níquel, ou outro material não magnético. A espessura do revestimento é normalmente cerca de 10 μm . [1]. O objetivo deste revestimento é evitar a oxidação (*corrosão*) das peças e alterar a resistência (relutância) do circuito magnético.

2.6.3.2. CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA MAGNÉTICO

O campo/fluxo magnético necessário para mover a armadura pode ser gerado, não só com a bobine, mas com uma combinação com um magneto (ímã permanente), a exemplo dos relés polarizados. A energia que mantém o circuito magnético numa posição fechada pode ser dada tanto pela bobine (monoestáveis), como pelo efeito remanescente do núcleo de ferro (biestáveis), ou por imanes permanentes (biestáveis polarizados)

O sistema magnético é agrupado de acordo com a sua função em monoestável e biestável, e em relação ao método de geração do campo magnético, no caso de ser polarizados ou não polarizados (neutro).

➤ Relés Monoestáveis

O funcionamento dos relés monoestáveis já foi descrito no funcionamento básico do relé. Na Figura 53 está uma figura descritiva de um relé monoestável de sinal e com uma breve descrição do seu funcionamento. Um relé monoestável tem uma mola que obriga o relé a manter a posição definida quando a bobine está desligada.

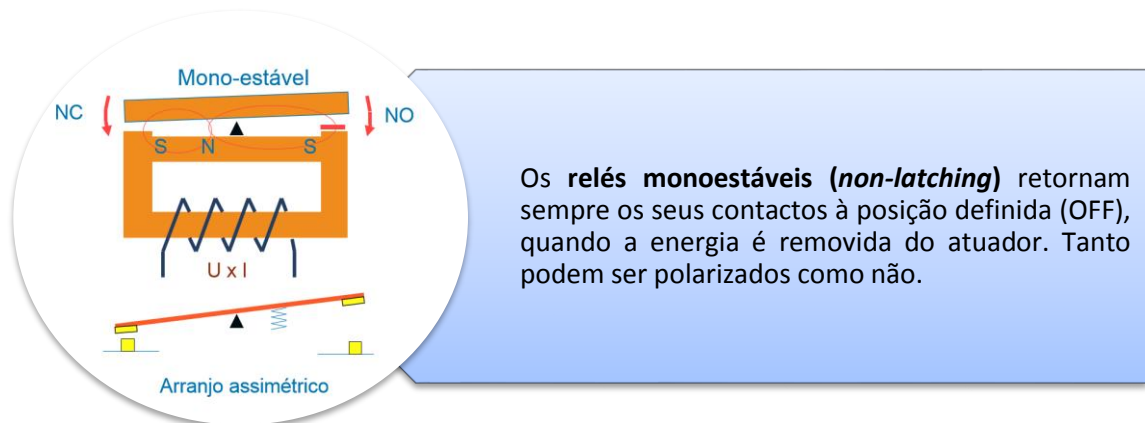


Figura 53: Relé monoestável [10]

➤ Relés Biestáveis

Na Figura 54 está uma figura descritiva de um relé biestável de sinal e com uma breve descrição do seu funcionamento.

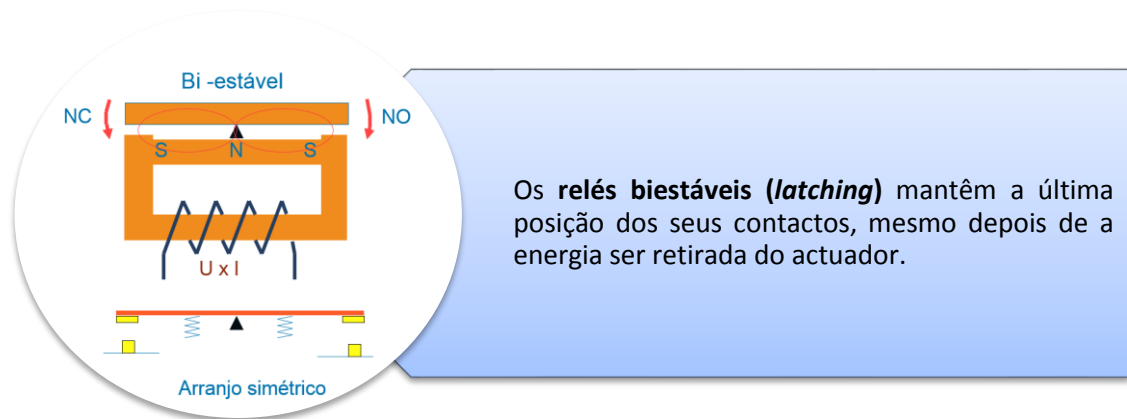


Figura 54: Relé biestável [10]

Os relés biestáveis têm um funcionamento ligeiramente diferente dos monoestáveis, na Figura 55 está descrito o funcionamento de uma forma mais detalhada.

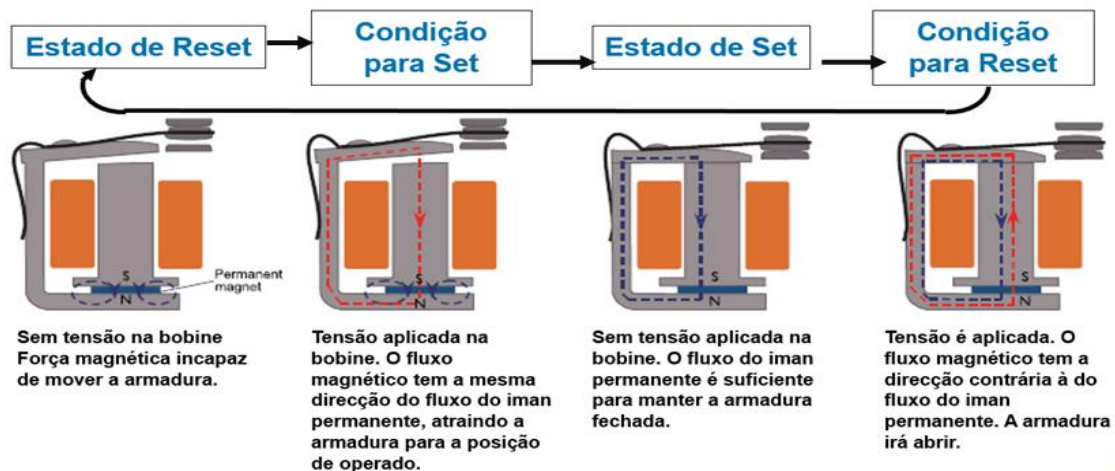


Figura 55: Funcionamento básico de um relé biestável [11]

➤ Relés Polarizados

Na Figura 56 está uma figura descritiva de um relé polarizado de sinal e com uma breve descrição do seu funcionamento.

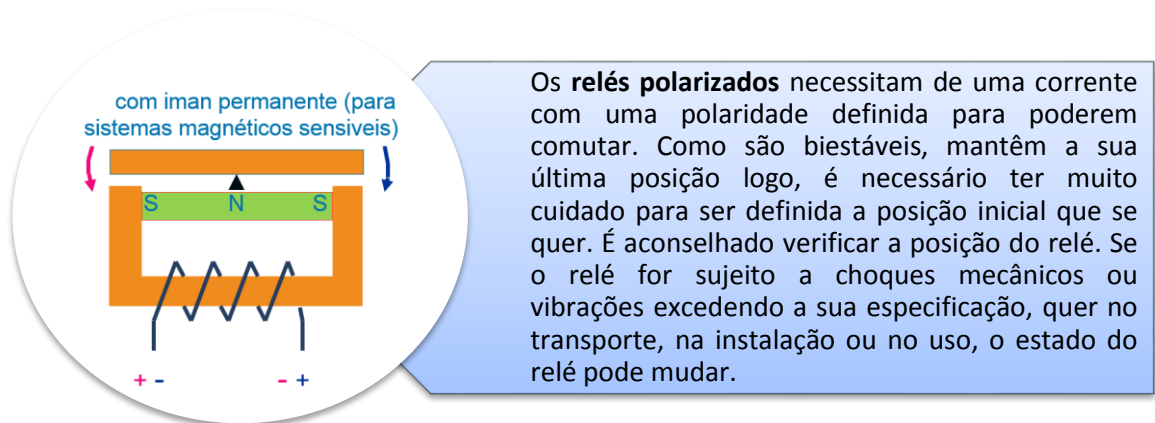


Figura 56: Relé polarizado [10]

➤ Relés não polarizados

Na Figura 54 está uma figura descritiva de um relé não polarizado de sinal e com uma breve descrição do seu funcionamento.

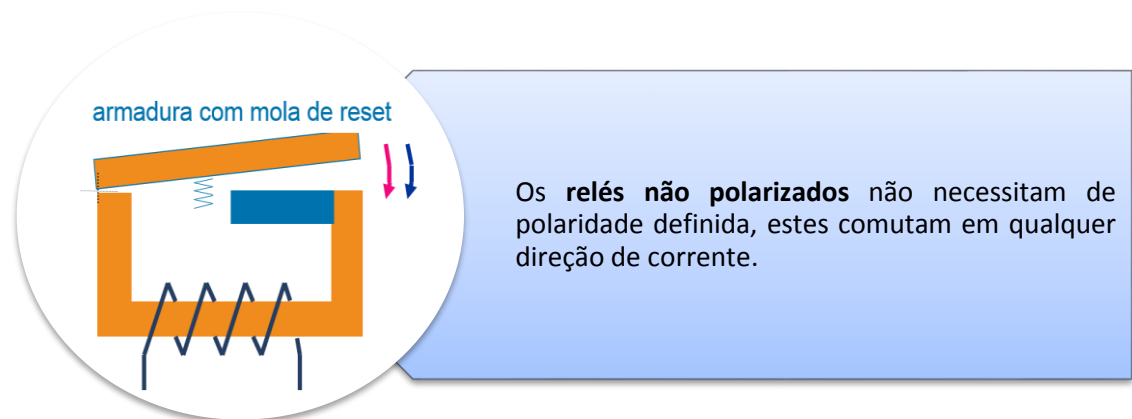


Figura 57: Relé não polarizado [10]

Na Tabela 7 está um quadro que mostra as diferenças entre os relés polarizados e os não polarizados para as mesmas características.

Tabela 7: Comparação entre relés Polarizados e Não Polarizados [7]

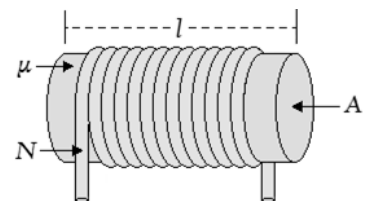
Características	Polarizados	Não Polarizados
Sensibilidade	+	-
Resistência ao choque	+	-
Resistência vibração	+	-
Tempo de operação	+	-
Tempo de desoperação	+	-
Tempo de <i>bouncing</i>	+	-
Custo	-	+

2.6.3.3. BOBINE

A bobine é um elemento passivo, construído a partir de um (ou mais) fio condutor de cobre enrolado sobre um núcleo ferro (para intensificar o campo magnético), que armazena energia magnética e a devolve ao circuito sempre que é necessário. A bobine é também um elemento onde a relação tensão-corrente é descrita por uma equação diferencial em que figura a derivada em ordem ao tempo da tensão ou da corrente. A bobine também é chamada de elemento dinâmico ou elemento armazenador de energia.

A fórmula da indutância de uma bobine é dada por:

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} [H] \quad (8)$$



Onde:

l - comprimento da bobine

N - é o número de voltas

A é a área da secção transversal do núcleo

$\mu = \mu_R \mu_0$ é a permeabilidade do espaço livre e μ_R é a permeabilidade relativa do material do núcleo.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right] \quad (9)$$

Para o caso do ferro (Fe) que é o material que é normalmente utilizado para o núcleo, o valor da permeabilidade relativa é igual a:

$$\mu_R(Fe) = 200 \left[\frac{H}{m} \right] \quad (10)$$

Na Figura 58 estão descritos os símbolos que representam os vários tipos de bobines.

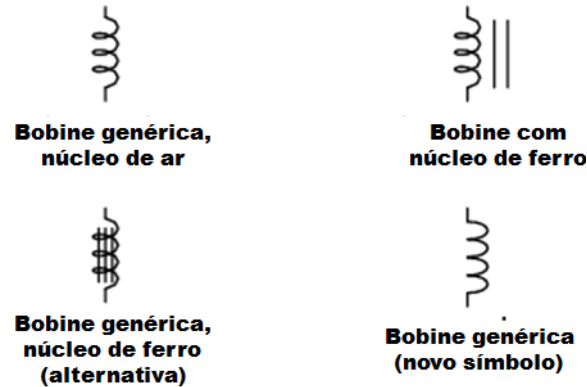


Figura 58: Símbolos dos vários tipos de bobine [1]

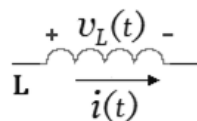
O fluxo magnético na bobine está relacionado com a corrente que a percorre:

De acordo com a lei de Biot-Savart, o campo magnético produzido no circuito de activação da bobine é diretamente proporcional à corrente. O fluxo magnético produzido por um circuito sobre si próprio, e proporcional à corrente:¹

$$\Phi = L \times I \quad (11)$$

Em que L é o coeficiente de auto-indução (característica constante da bobine) e I é a corrente que percorre a bobine. O que vai auto-induzir uma força electromotriz no circuito $\varepsilon = -L \cdot di/dt$.

A diferença de potencial aos terminais da bobine é proporcional à taxa de variação da corrente (em função do tempo) multiplicado pela indutância L da bobine.



A tensão na bobine vem dada por:

$$v(t) = L \frac{di}{dt} [V] \quad (12)$$

Onde:

di/dt - é a taxa de variação da corrente em relação ao tempo;

L - indutância da bobine em Henry.

A corrente que percorre a bobine é dada por:

$$v_L(t) = L \frac{di}{dt} \rightarrow \frac{v_L(t)}{L} dt = di \rightarrow \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v_L(t) dt = i_L(t) \quad (13)$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v_L(t) dt + i(t_0) [A] \quad (14)$$

A potência na bobine fica assim:

$$P_L(t) = v_L(t) dt \times i_L(t) \rightarrow P_L(t) = \left(L \frac{di}{dt} \right) \times i_L(t) [W] \quad (15)$$

Finalmente, a energia armazenada no campo magnético é dada por:

$$E_L(t) = \int_{t_0}^t P_L(t) dt + E(t_0) = \int_{t_0}^t \left[\left(L \frac{di}{dt} \right) \times i_L(t) \right] dt + E(t_0) = L \int_{i(t_0)}^{i(t)} i_L di + E(t_0) \quad (16)$$

$$E_L(t) = \frac{L}{2} i_L^2(t) - \frac{L}{2} i_L^2(t_0) + E(t_0) \quad (17)$$

A energia em qualquer instante de tempo vem dada pela seguinte equação:

$$E_L(t) = \frac{L}{2} i_L^2(t) [J] \quad (18)$$

Da relação entre a tensão e a corrente sabe-se que em corrente contínua, $di/dt=0$, logo $v_L=0$, isto é, a bobine comporta-se como um curto-circuito. A corrente i_L não pode variar instantaneamente caso contrário tem-se $v_L=\infty$.

A bobine ideal não dissipa energia, o que significa que não há transformação de energia elétrica em calor; a bobine apenas armazena energia magnética, que é dada por:

$$w_L = \frac{1}{2} L (i_L)^2 \quad (19)$$

Idealmente a bobine tem apenas carácter indutivo, mas na realidade a bobine tem uma componente resistiva (do condutor), pois esta apresenta um condutor enrolado. Possui ainda um efeito capacitivo através da área entre espiras do enrolamento. Na prática, estes últimos valores são desprezados para baixas frequências.[7]

A componente resistiva faz com que haja dissipação de energia, o que vai causar aquecimento na bobine, e respetivamente um aumento de temperatura no interior do relé.

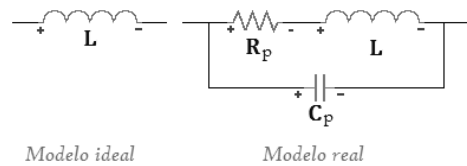


Figura 59: Modelos de um bobine ideal e real

2.6.3.3.1. RESISTÊNCIA DA BOBINE

A resistência da bobine é dada por:

$$R = \frac{\rho \times l}{S} \quad (20)$$

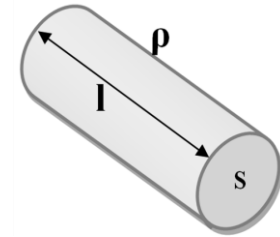
Onde:

R - valor da resistência que se pretende calcular (*em Ω*);

ρ - valor da resistividade do material – tabelado ($\Omega mm^2/m$);

l – comprimento do material (*m*);

S - secção do fio (mm^2).



A constante de proporcionalidade, ρ , é a resistividade do material, que depende da natureza do material e da temperatura, tal como representado na Figura 60.

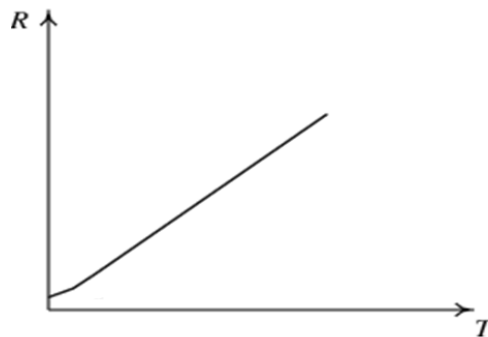


Figura 60: Variação da temperatura de um condutor em função da temperatura [11]

A resistência aumenta com a temperatura, de modo quase linear, para temperaturas afastadas do zero absoluto ($-273^\circ C$).

Praticamente todas as bobines utilizadas nos relés usam fio de cobre, onde existe um aumento/decréscimo de 0,4% por cada $^\circ C$. A expressão para a resistência de um condutor em função da temperatura vem dada por:

$$R = R_{20}(1 + \alpha_{20}(T - 20)) \quad (21)$$

Na última expressão R_{20} é a resistência a 20°C, α_{20} é o coeficiente de temperatura e T é a temperatura em graus Celsius. Cada material tem um coeficiente de temperatura próprio que é medido experimentalmente. Na Tabela 8 estão os valores dos coeficientes de temperatura dos materiais mais usados em fios de bobine, com destaque para o cobre, que é o usado nos fios de bobines dos relés TE em Évora.

Tabela 8: Resistividade e coeficiente de temperatura de alguns materiais a 20°C

Material	ρ_{20} (n$\Omega \cdot m$)	α_{20} (°C⁻¹)
Prata	16	0.0038
Cobre	17	0.0039
Alumínio	28	0.0039
Ferro	100	0.0050
Níquel-crómio	1000	0.0004
Grafite	35000	-0.0005

2.6.3.3.2. CONSUMO DE ENERGIA NA BOBINE

A bobine quando activada consome potência, este consumo está dependente do tipo de relé. A bobine do relé monoestável tem de ser continuamente alimentada, estando assim continuamente a consumir potência. Para o caso dos relés biestáveis, a bobine apenas consome potência num curto espaço de tempo. No caso dos relés polarizados, estes ainda consomem menos potência, o que se traduz numa grande vantagem, já que o iman permanente a par da bobine contribui para a comutação do relé. O aquecimento do relé está dependente do intervalo de tempo em que a bobine está ligada. A Figura 61 ilustra um gráfico com a variação de temperatura em função da variação do fator de ciclo.

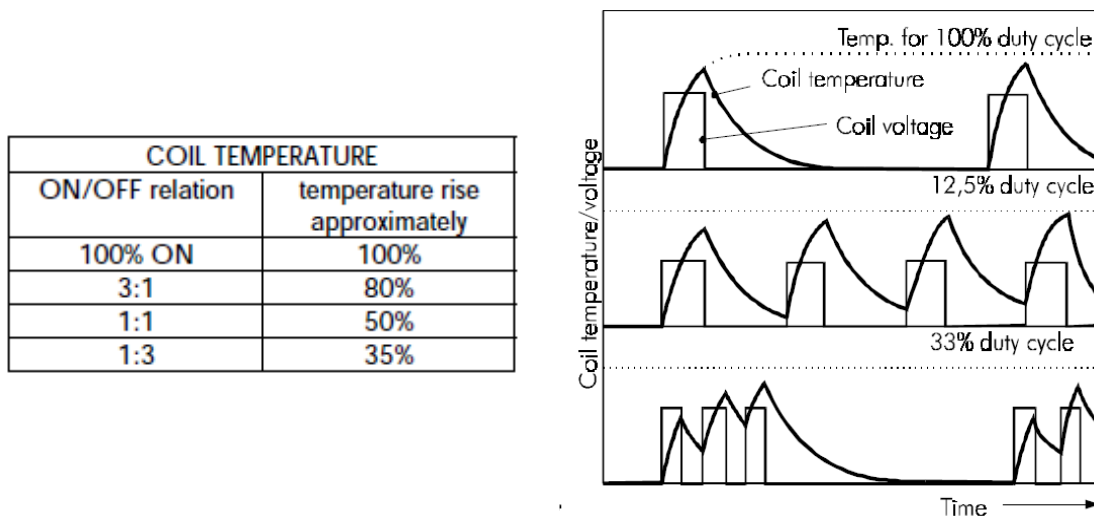


Figura 61: Variação da temperatura com a variação do fator de ciclo [14]

O aquecimento do relé na generalidade não é apenas consequência do tempo em que a bobine está ligada mas também é causado pelo sistema de contactos. A carga do sistema de contactos (corrente nos contactos, resistência dos contactos e da mola) gera também calor afetando o relé. Fontes externas também afectam o relé, uma vez que afectam a temperatura ambiente onde este está inserido.

O aumento de temperatura do relé implica um aumento da resistência do fio da bobine, que se traduz num decréscimo da força do campo magnético para a mesma tensão aplicada. O aumento da temperatura causa perturbações no funcionamento normal do relé, podendo mesmo chegar ao ponto de o relé nem chegar a operar com a tensão nominal aplicada.

A gama de temperaturas de operação de um relé é definida por dois factores:

- A temperatura da bobine devido ao auto aquecimento e ao aquecimento gerado pela carga dos contactos,. Esta não deverá exceder a temperatura máxima definida para o tipo de plásticos e isolamento usados no fio e no corpo da bobine;
- A temperatura ambiente não pode ir além do limite funcional do relé, ou seja, esta tem que ser controlada de forma a não se permitir o seu aumento/diminuição ao ponto de o relé não conseguir operar.

Quando a tensão da bobine excede a tensão térmica máxima, com 100% duty cycle para biestáveis por exemplo, o calor gerado pode não ser dissipado, resultando num sobreaquecimento da bobine,

causando a quebra do isolamento do fio e o amolecimento (derreter) do material plástico do corpo da bobine.

2.1.1.1.1. CARGA E DESCARGA DA BOBINE

Quando a bobine está ligada a uma fonte de alimentação de corrente contínua, tem dois processos: a carga e a descarga.

Quando se liga a bobine a uma fonte de alimentação de corrente continua, o aumento da corrente na bobine produz uma força eletromotriz que se opõe à variação de corrente. Esta força provoca o aparecimento de uma tensão aos terminais da bobine:

$$V_L = -V_{fem} \quad (22)$$

A tensão eletromotriz vai reduzir a variação de corrente, provocando uma “oposição” ao seu aumento, daí a corrente da bobine não ter um crescimento rectilíneo. Quando a corrente estabiliza, a bobine não “cria mais oposição” e V_L toma o valor zero. A fase de carga da bobine está terminada.

Quando a alimentação não está ligada à bobine, V_L inverte a sua polaridade e cai instantaneamente de zero para um valor negativo (*switch-off-peak*), mas i_L (corrente na bobine) mantém a sua direcção e magnitude. A energia armazenada na bobine é então descarregada através da resistência do circuito. V_L aumenta gradualmente para zero e i_L cai gradualmente para zero. Na Figura 62 está um gráfico que mostra as variações de corrente e tensão no processo de carga e descarga da bobine.

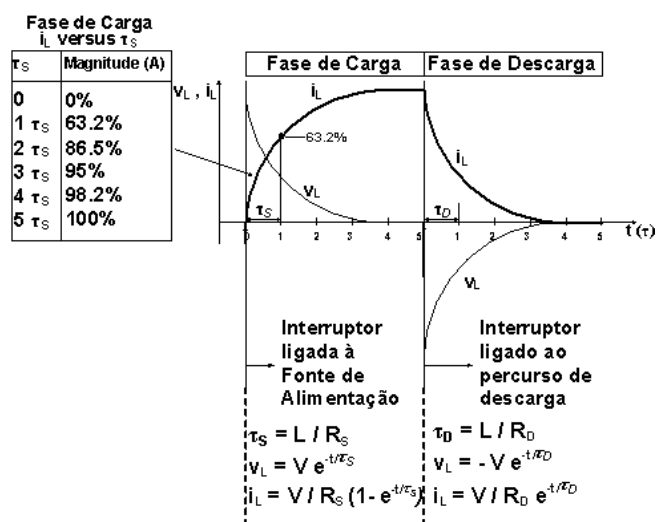


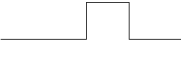
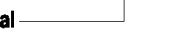
Figura 62: Processo de carga e descarga da bobine [18]

Quando a tensão aplicada aos terminais da bobine é desligada, um pico de tensão elevada será induzido na bobine, devido ao retorno do efeito eletromagnético. Para atenuar este pico, são utilizados circuitos supressores, ou *snubbers*, que irão ser focados mais adiante.

2.1.1.1.2. CIRCUITO DE OPERAÇÃO DA BOBINE

Na Tabela 9 estão descritos os sinais de ativação dos relés monoestáveis e biestáveis.

Tabela 9: Sinais de ativação do relé monoestável e biestável [8]

Monoestável	
control signal  contact signal 	-Energia contínua para operar; -Dissipação de calor na bobine; -Volta à posição definida quando deligado.
Biestável (1 bobine faz set e reset)	
control signal  contact signal 	-Pulso para operar; -Há dissipação de calor na bobine num curto instante; -Mantém a posição; -Necessita de inverter a polaridade na bobine.
Biestável (2 bobines, uma faz set a outra reset)	
control set signal (coil I)  control reset signal (coil II)  contact signal 	-Pulso para operar; -Há dissipação de calor na bobine num curto instante; -Mantém a posição; -Necessita de 2 drivers.

O circuito de controlo da bobine deverá ser o mais simples possível e as correntes de fuga deverão ser evitadas já que podem causar falsas operações de um ou mais relés.

Na figura seguinte estão dois dos tipos de ligações mais usados, utilizando transístores PNP e NPN.

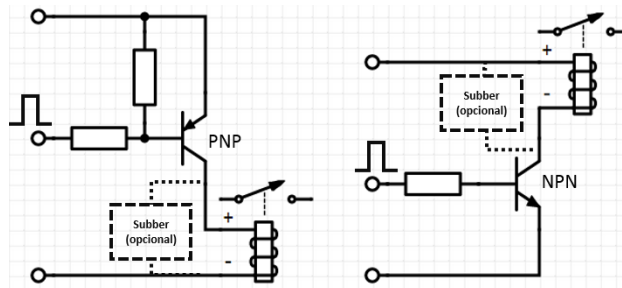


Figura 63: Circuito de driver da bobine com transístores

2.1.1.1.3. SUPRESSÃO DA BOBINE DEVIDO AO SWITCH OF PEAK

Devido ao pico gerado pelo desligar da bobine, os circuitos de proteção são necessários para proteger o circuito de controlo.

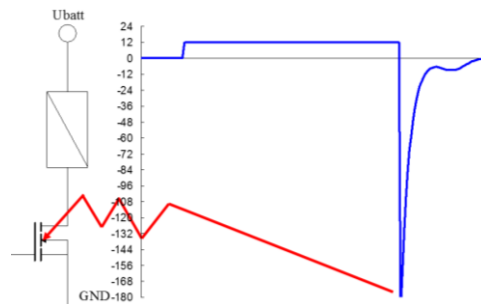


Figura 64: Imagem ilustrativa de que o switch of peak da bobine pode danificar os drivers [11]

Podem ser usadas resistências, diodos, varistors, em paralelo com a bobine para garantir que a corrente de retorno da bobine continua a fluir, mas num circuito que não cause dano ao circuito total. Na Figura 65 estão descritos os supressores que são geralmente utilizados nos circuitos de proteção.

Common suppression circuits

Resistor in parallel to coil

or

Diode in parallel to coil

or

Z-diode in parallel
to relay driver

or

Varistor, RC-circuits, etc.
(very seldom used)

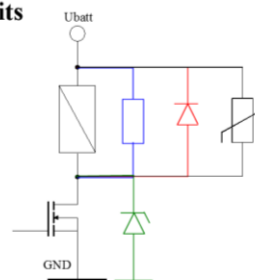
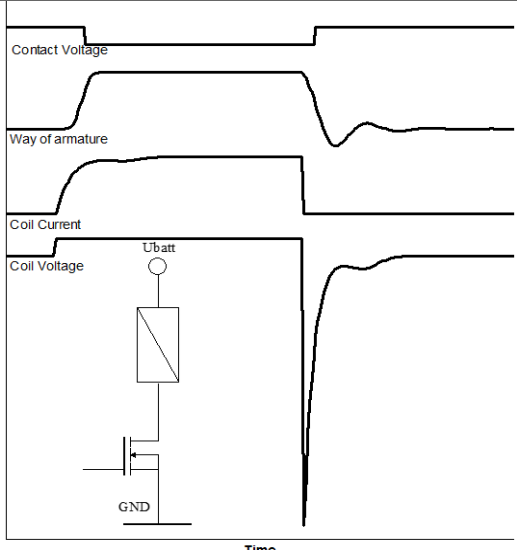
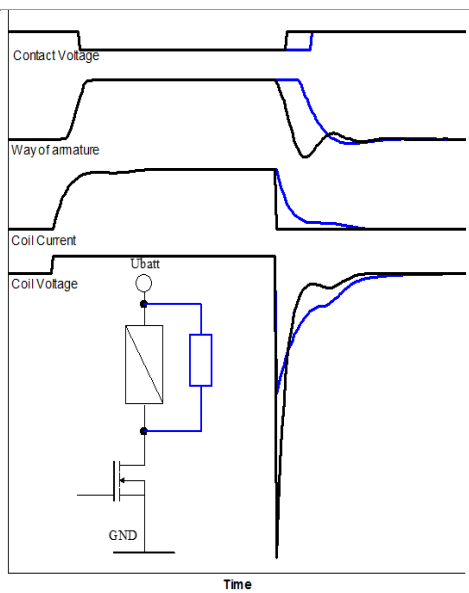
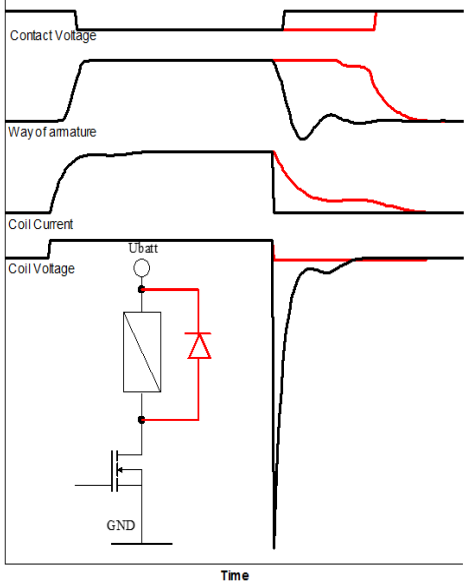
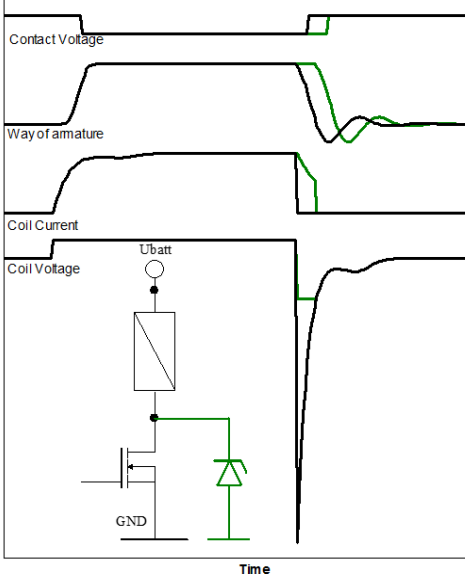


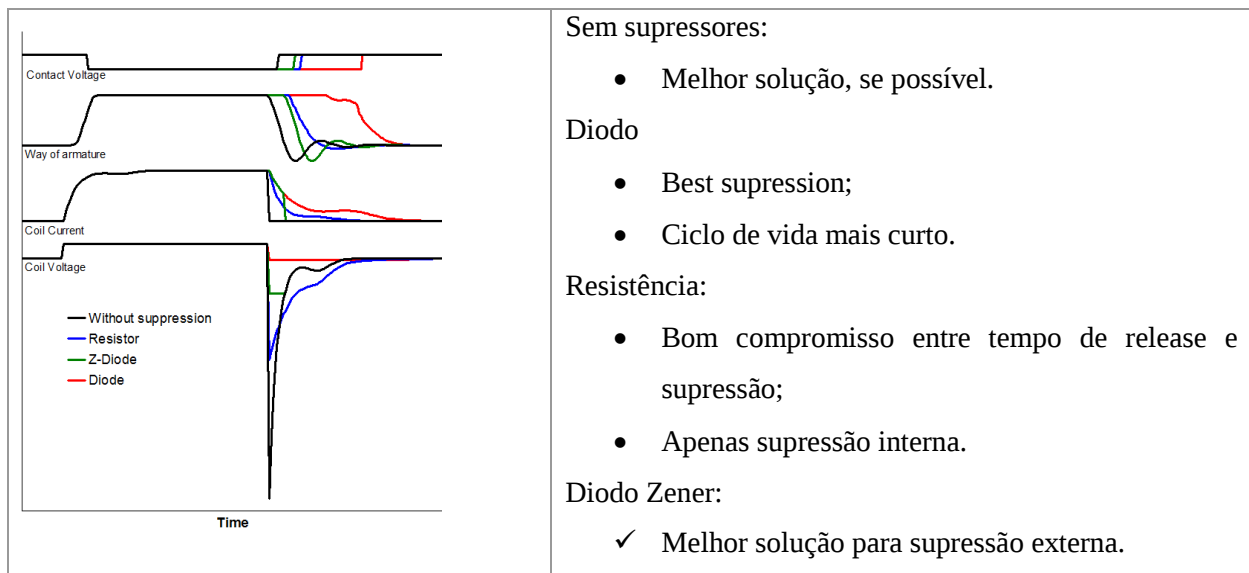
Figura 65: Imagem ilustrativa dos supressores mais comuns usados nos circuitos [11]

A corrente de retorno da bobine faz com que o relé mantenha durante um intervalo de tempo a sua posição mesmo depois da bobine desligada. Seguidamente, apresenta-se um quadro com a descrição dos circuitos usados para protecção dos circuitos e as principais características dos mesmos.

Tabela 10: Circuitos supressores [11]

Circuito sem supressores	
	Pico elevado de tensão negativa; Interrupção imediata da bobine (corrente); Desmagnetização da bobine pela tensão; Dinamica elevada de release(desligar).
Circuito supressor com resistência	
	Tensão negativa de pico limitada; Desmagnetização da bobine por tensão e corrente; Dinamica de release reduzida; Adiciona consumo de energia (mais calor).
Circuito supressor com diodo	

	Sem pico negativo de tensão; Desmagnetização da bobine apenas pela corrente; Dinamica de release baixa; Tempo de vida útil reduzido.
Circuito supressor com diodo de zener	
	Tensão negativa de pico limitada pela tensão de zener Desmagnetização da bobine primeiramente pela tensão e corrente, abaixo da tensão de zener, apenas por tensão Dinamica elevada de release Tempo de vida útil elevado.
Resumo	



Na Figura 66 está ilustrada a comparação dos tempos de vida útil para cada supressor para dois tipos de cargas.

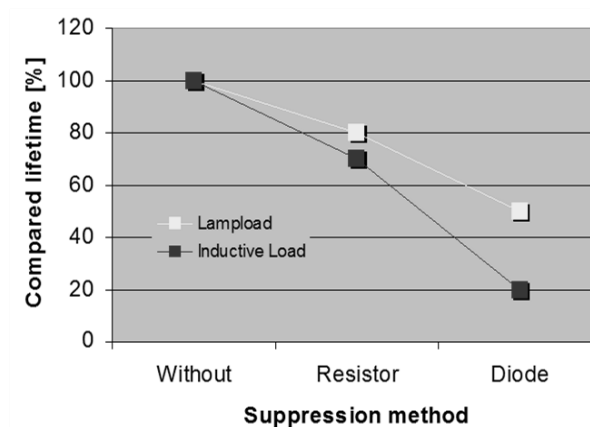


Figura 66: Comparação do tempo de vida do relé para cada supressor para dois tipos de carga [11]

2.1.2. SISTEMA MECÂNICO

A carcaça e a âncora são articuladas através da mola, permitindo que o contacto da mola alterne entre a posição de trabalho e de repouso nos casos em que a âncora (ou armadura) esteja ou não a ser atraída pelo núcleo, respetivamente.

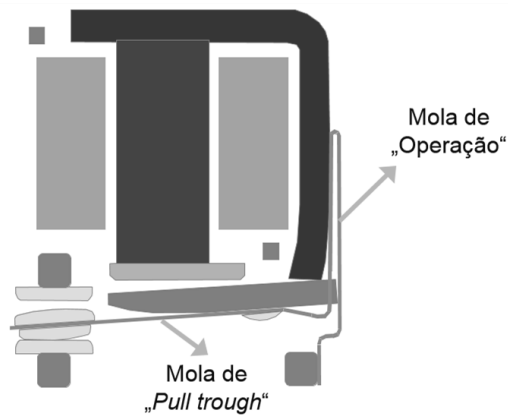


Figura 67: Sistema mecânico do relé [12]

A força magnética (núcleo) puxa a âncora para o núcleo e a força mecânica (mola) puxa a âncora para a posição de repouso.

2.1.2.1. VALORES MECÂNICOS PRINCIPAIS

Os valores mecânicos principais dos relés são: a distância de contacto, o supercurso e a força da mola.

✓ Distância de contacto:

A distância de contacto pode ser avaliada relativamente aos contactos estáticos (1 na figura) ou ao contacto da mola (2 na figura), tal como representado na Figura 68. Relativamente à distância entre os contactos estáticos, diz respeito à distância entre o contacto de fixo de abertura e o contacto fixo de fecho. Relativamente à distância ao contacto da mola (2) diz respeito à distância entre um contacto fixo e um contacto da mola.

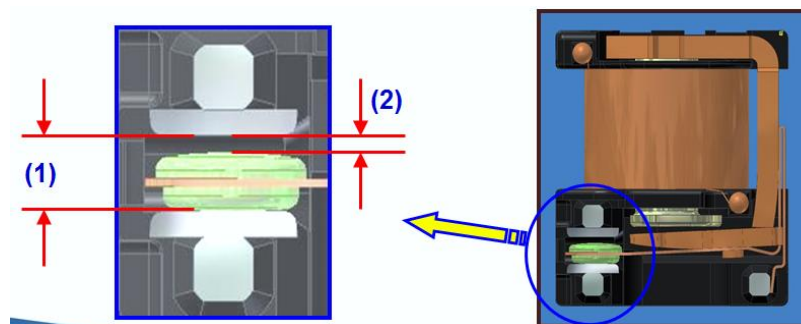


Figura 68: Distância de contactos relativamente aos contactos estáticos e ao contacto da mola [13]

✓ **Supercurso:**

Entende-se por supercurso (Figura 69) a distância entre a âncora e o núcleo medida quando o contacto da mola encosta no contacto de fecho.

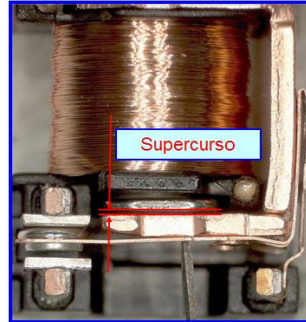


Figura 69: Distância de supercurso [13]

Nos relés de sinal não se tem acesso a esta medição, por razão da sua construção. A medição tem de ser feita recorrendo a métodos indiretos. É usado um compensógrafo que por meio de forças aplicadas consegue saber por cálculo matemático qual é a distância de supercurso. A exemplo do que está na Figura 70 está descrito o fecho de um contacto, com a distância dos contactos e a força necessária para o arrastamento da armadura no núcleo consegue-se saber qual a distância de supercurso.

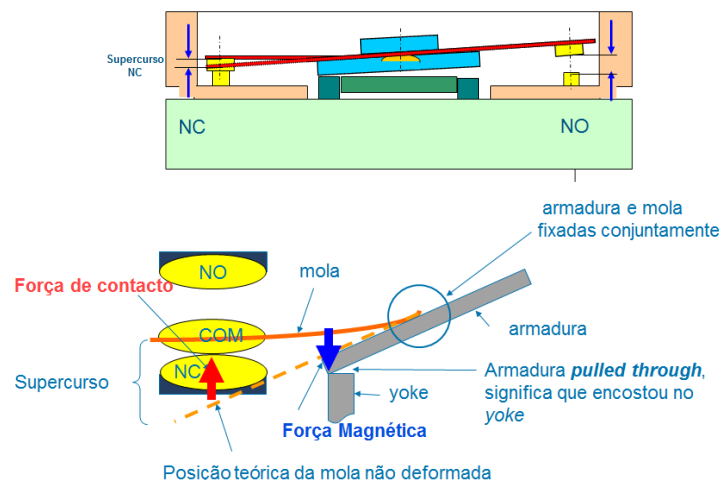


Figura 70: Descrição do fecho de um contacto e identificação do supercurso [10]

✓ **Força da mola:**

A força da mola influencia diretamente os valores elétricos. Esta força é proporcional ao ângulo principal da mola. As curvas mecânicas são o resultado do comportamento da mola do relé. Para a

realização da curva mecânica representada na Figura 71, simula-se o movimento da âncora até encostar no yoke. Quando se traçam as curvas mecânicas, estão-se a traçar as forças aplicadas no relé.

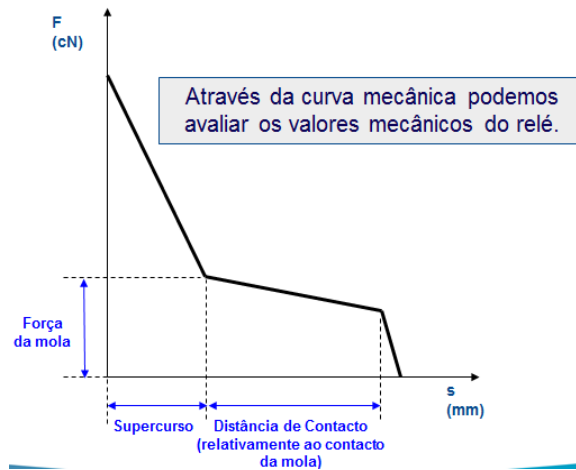


Figura 71: Gráfico da curva mecânica de um relé eletromecânico [12]

No gráfico da Figura 72 estão representadas as curvas mecânicas da força da mola, onde se podem extrair os seguintes conceitos mecânicos:

$F(2)$ = Força necessária para abrir o contacto normalmente fechado (NC) ou de abertura;

$F(3)$ = Força necessária para fechar o contacto normalmente aberto (NO) ou de fecho;

$F(4) - F(5^*)$ = Força aplicada no contacto NO;

$F(5)$ = Força de separação do contacto NO;

$S(5)$ = Supercurso;

$S(6) - S(5)$ = Distância dos contactos (NO a NC);

$F(6)$ = Força aplicada no contacto NC.

*A diferença entre as curvas é devida à histerese mecânica.

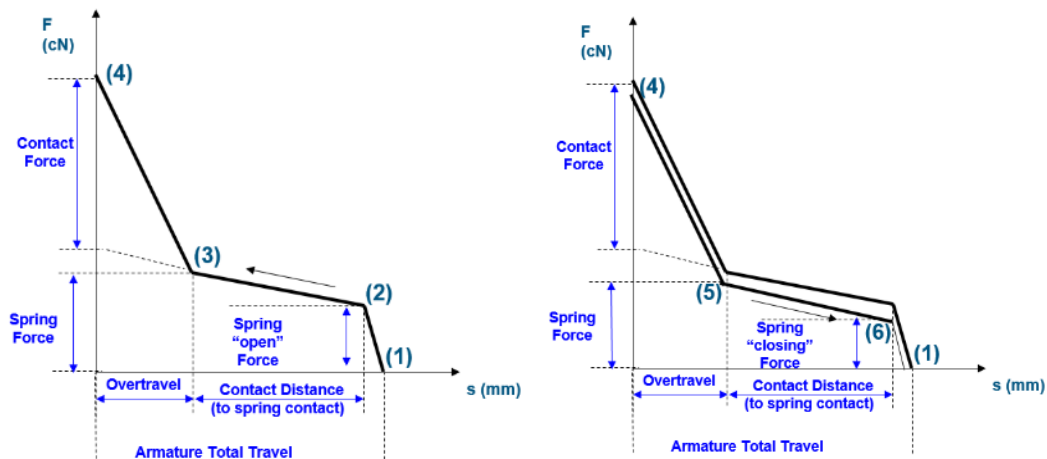


Figura 72: Curvas mecânicas [12]

2.1.2.2. CURVAS MECÂNICAS

Os valores mecânicos de construção (forças, distâncias de contacto e supercurso), são informações possíveis de obter quando se realizam curvas mecânicas. Para se realizarem as curvas mecânicas usa-se um aparelho chamado compensógrafo, que é um sensor de força. Na Figura 73 está um esquema desse sensor. É um aparelho que vai traçando curvas consoante a força que a ponta do transdutor está a fazer.

Existem vários tipos de curvas para os relés automóvel e para os relés de sinal. Estas curvas são fundamentais na análise de relés, além da força dão-nos o supercurso.

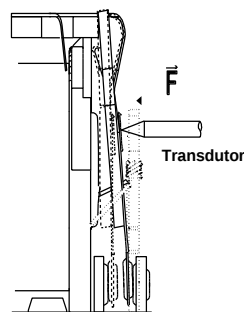
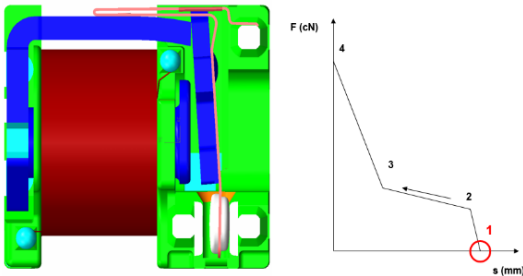
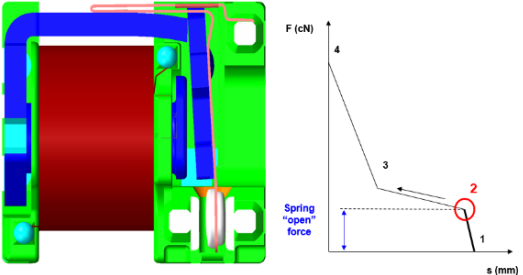
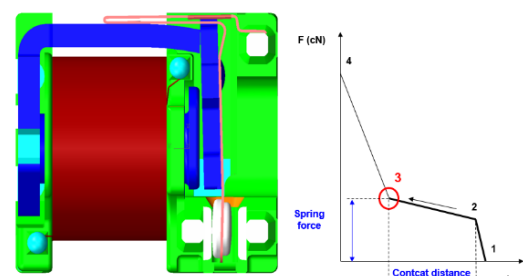


Figura 73: Ponto de aplicação do transdutor (sensor de movimento/pressão) para a realização de uma curva mecânica [1]

Seguidamente apresenta-se um quadro que contém os vários estágios do relé durante a operação e desoperação e a respetiva curva mecânica durante esses estágios.

Tabela 11: Estágios de operação de um relé e curva mecânica dos estágios [12]

OPERAÇÃO DO RELÉ	
	Relé no estado de repouso. Relé está desligado. A mola força a armadura para o estado de repouso.
	A tensão é aplicada na bobine, gerando uma corrente. A circulação da corrente na bobine induz um campo magnético, que por sua vez gera um fluxo magnético nas partes ferromagnéticas. A força magnética é ainda inferior à força da mola. A armadura está no limite de iniciar o percurso até ao núcleo. Os contactos normalmente fechados (NC) começam a abrir.
	A força magnética é superior do que a força da mola. A armadura desloca-se até ao núcleo para a posição de equilíbrio. Os contactos normalmente abertos (NO) estão fechados.

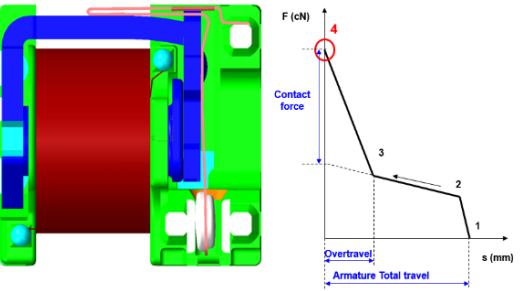
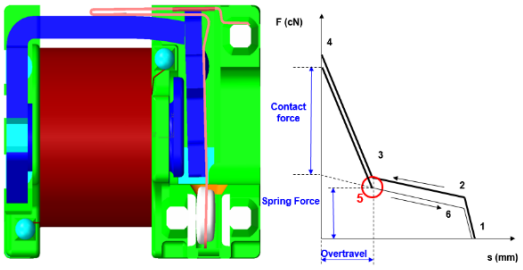
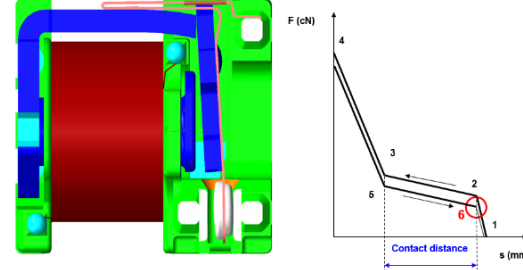
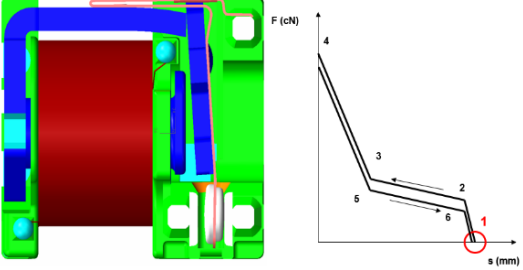
	Os contactos normalmente abertos estão fechados e a armadura está na posição de repouso junto ao núcleo. O relé está agora ligado.
---	---

Tabela 12: Estágios de operação de um relé e curva mecânica dos estágios

DESOPERAÇÃO DO RELÉ	
	A tensão deixa de ser aplicada na bobine, retirando a corrente. A força da mola começa a vencer a força magnética. Os contactos normalmente abertos começam a abrir.
	Os contactos normalmente fechados estão fechados.
	Relé está no estado de repouso. Relé está desligado. A mola força a armadura para o seu estado de repouso.

Na Figura 74 estão representados os pontos de aplicação do compensógrafo no IM para traçar as curvas mecânicas.

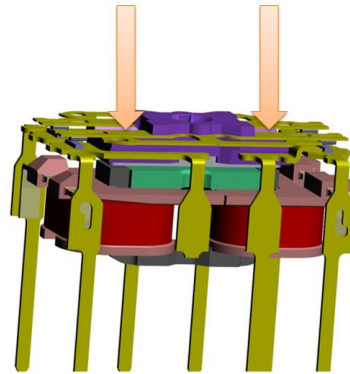


Figura 74: Pontos de aplicação no transdutor do IM

Seguidamente apresenta-se duas curvas mecânicas de um relé biestável (esquerda) e de um relé monoestável (direita).

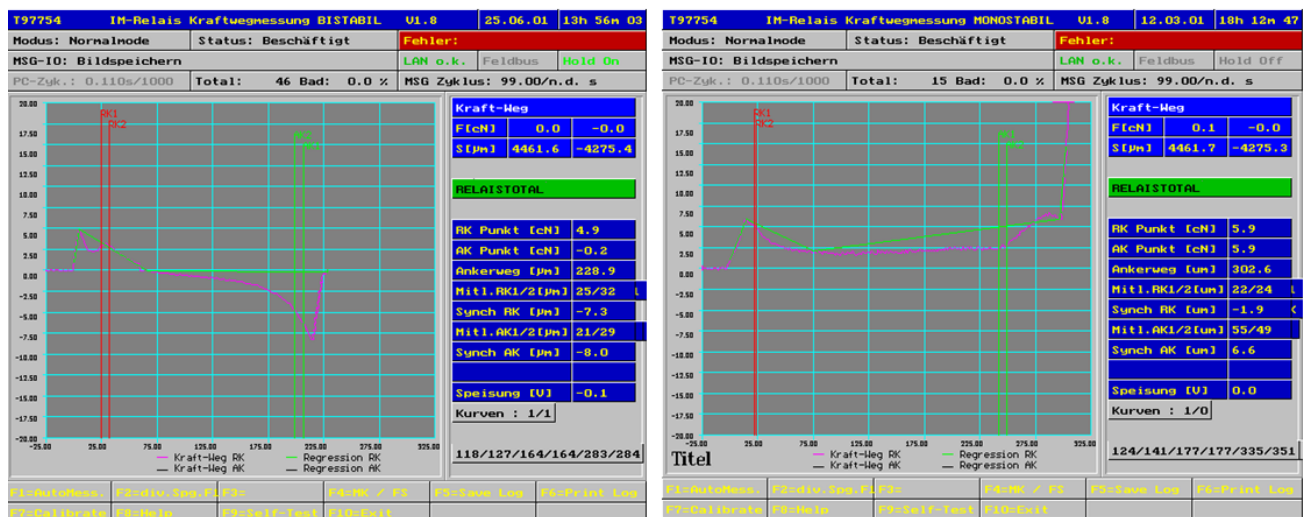


Figura 75: Curvas Mecânicas do compensógrafo do IM (ex. Relé biestável e um monoestável)

Na Figura 76 está a curva mecânica do relé na operação e desoperação e a curva a verde representa a curva da corrente na bobine. A amarelo o quando de distancias e forças extraído da medição.

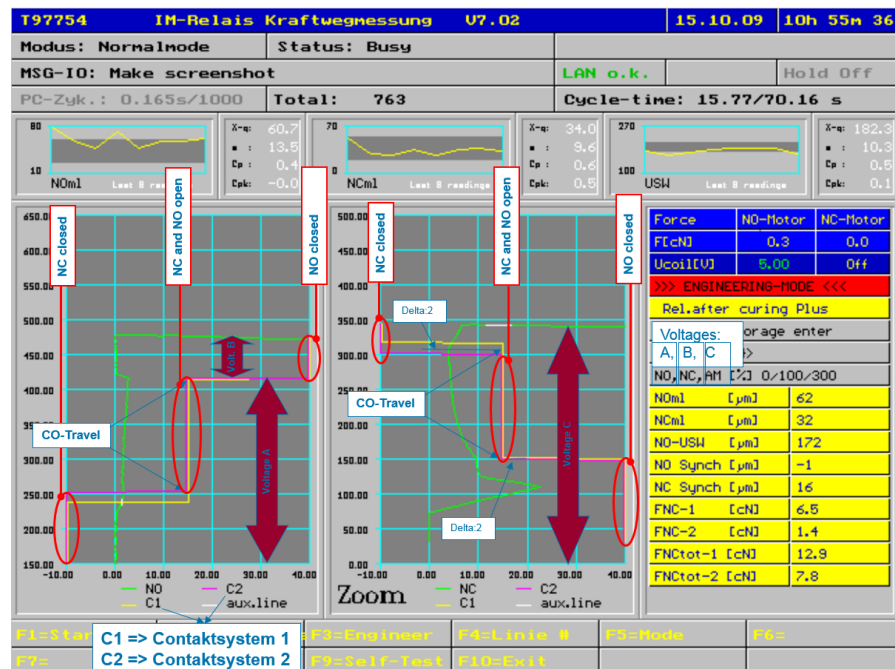


Figura 76: Curva mecânica de relés polarizados e não polarizadas para diferentes correntes na bobine [10]

Na figura seguinte está identificado o ponto de colocação do transdutor de um relé HF para se obter as curvas mecânicas.

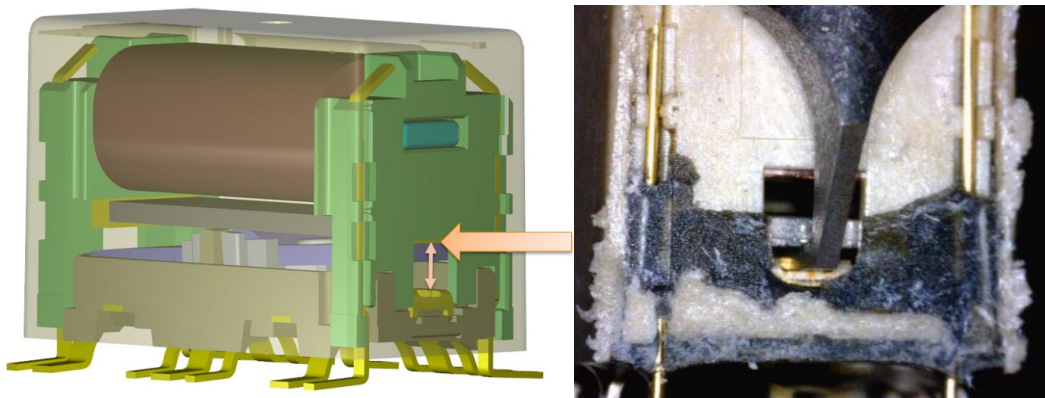


Figura 77: Transdutor do HF

Na Figura 78: **Curvas mecânicas do compensógrafo do HF** Figura 78, está a interpretação das curvas mecânicas feitas ao relé HF.

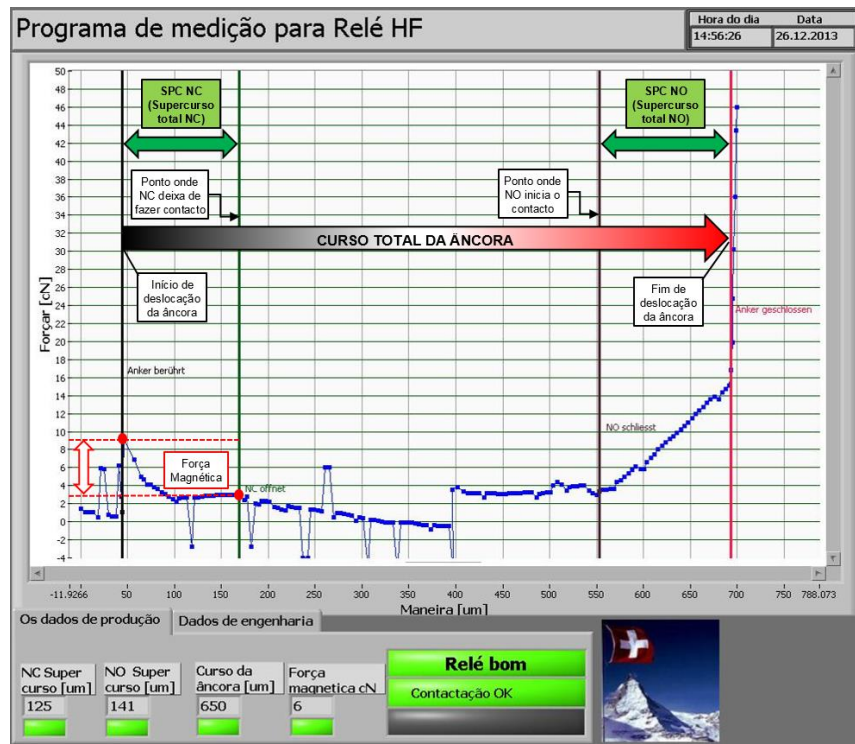


Figura 78: Curvas mecânicas do compensógrafo do HF

2.1.3. CURVAS MAGNÉTICAS

Para um valor de tensão e corrente constantes, a aproximação da âncora ao núcleo (operação do relé), vai depender de:

- Intensidade do campo magnético;
- Valores das grandezas mecânicas envolvidas.

Para um número de espiras e resistência da bobina constantes, a intensidade do campo magnético resultante depende da tensão aplicada, resultando daí curvas com diferentes intensidades do campo magnético, como está representado na Figura 79. Para tensões maiores resultam curvas de maior poder magnético.

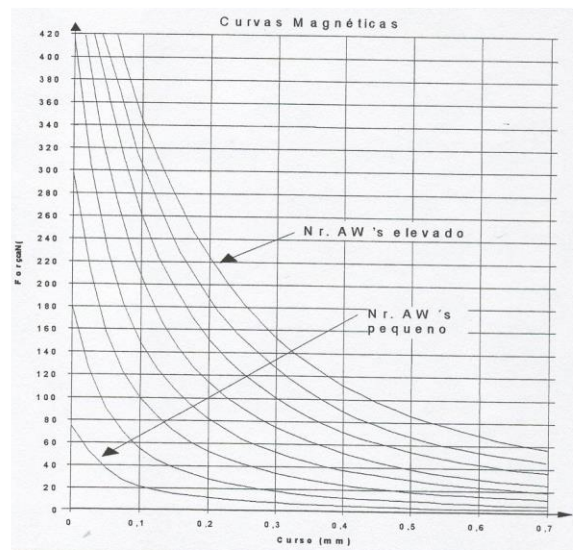


Figura 79: Várias Curvas Magnéticas, com diferentes intensidades [1]

As curvas magnéticas, são como o próprio nome indica, curvas em que é medida a força magnética com que a âncora é atraída ao núcleo. Implícita na realização das curvas magnéticas está a ausência da mola de contacto/recuperação, ficando assim representada apenas a força magnética. Na Figura 80 está uma representação da medição das curvas magnéticas usando compensógrafo. É aplicada a tensão na bobine e como a mola foi retirada do relé, são só medidas as forças magnéticas.

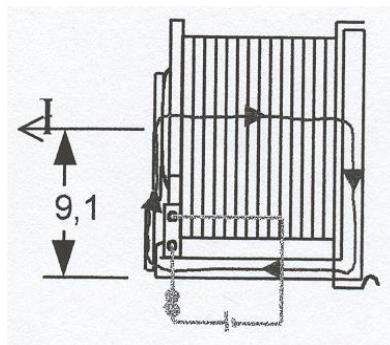


Figura 80: Princípio de medição [1]

A Figura 81 junta curvas magnéticas e mecânicas e correspondente jogo de forças, e respetiva representação do funcionamento (operação) ou não (desoperação), do relé.

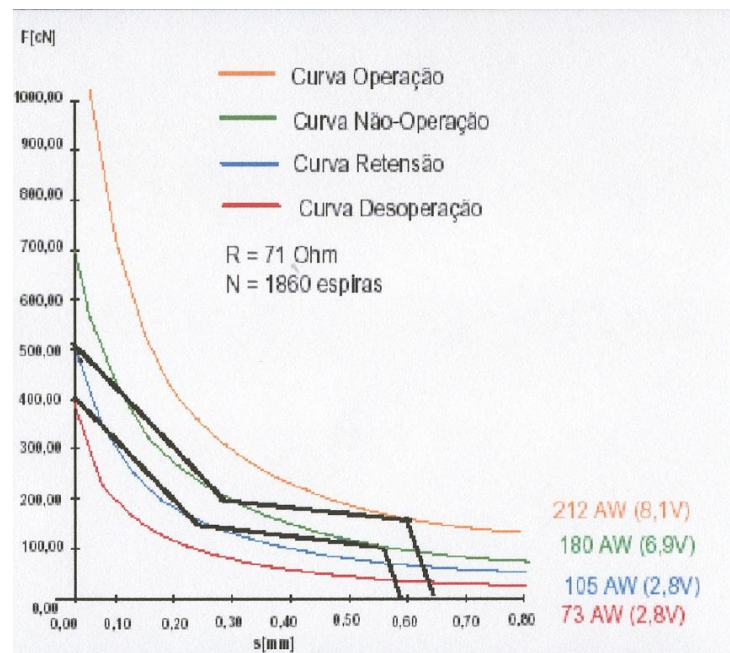


Figura 81: Curvas mecânicas vs. Curvas magnéticas [1]

2.1.3.1. SUPERCURSO MEDIDO ELETRICAMENTE

Para saber o supercurso é necessária uma medição indireta. O supercurso para relés de sinal tem de ser medido desta forma devido a restrições de desenho.

A corrente na bobine ao aumentar vai gerar um campo magnético que induz uma força contraelectromotriz. Esta vai-se opor ao aumento da corrente. Por isso a corrente tem um crescimento exponencial e não instantâneo.

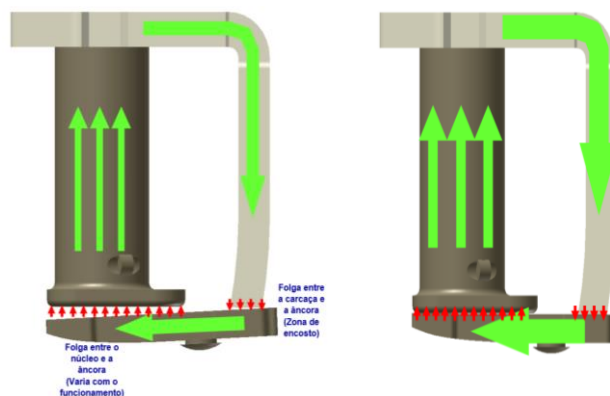


Figura 82: Comportamento magnético do relé [12]

Quando a armadura toca no núcleo, deixa de haver a relutância do entreferro, deste modo a corrente deixa de depender da distância do entreferro e passa apenas a depender do circuito magnético, neste ponto é possível ver pela curva da corrente na bobine um mínimo local, Figura 83.

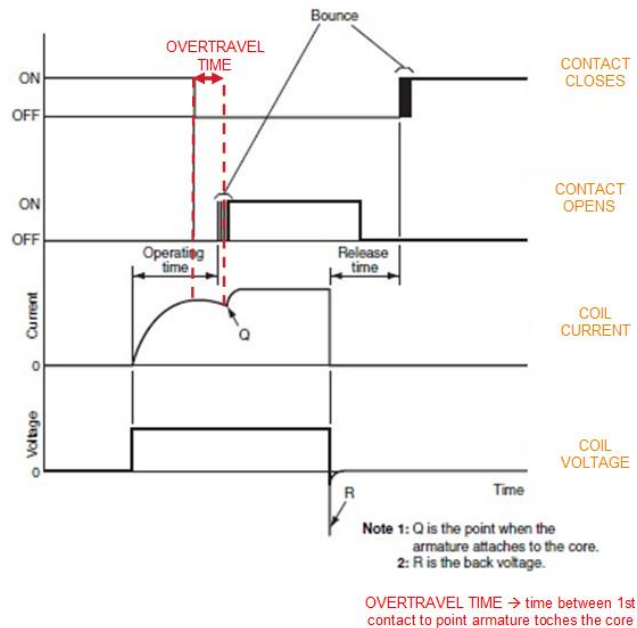


Figura 83: Tempo do supercurso [17]

Em laboratório, para testar o funcionamento pode utilizar-se uma resistência de 500 Ω em série com os contactos e uma tensão a alimentar o circuito de 5V, deste modo limita-se a corrente nos contactos a 10mA, isto para relés de sinal. Com as pontas do osciloscópio nos terminais dos contactos verifica-se se os contactos estão abertos, ou fechados. Se no osciloscópio aparecer a tensão da fonte, tem-se um contacto aberto, se estiver com uma tensão baixa (queda de tensão devido à resistência dos contactos), temos um contacto fechado, tal como na Figura 84.

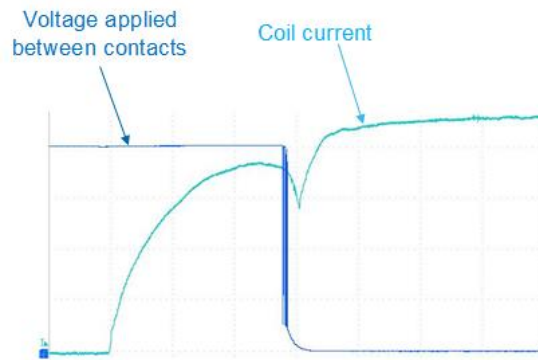


Figura 84: Gráficos no osciloscópio da corrente e dos contactos

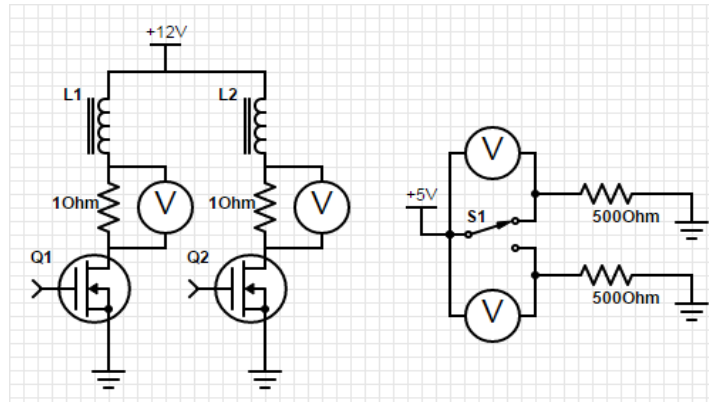


Figura 85: Exemplo de um circuito de teste para um relé biestável de duas bobinas e contactos de transferência

Na Figura 86 é visível a medição do circuito magnético num sistema utilizado para medir em baixas tensões, o RT290.

RT290 é um aparelho de medição em baixas tensões da empresa ART.

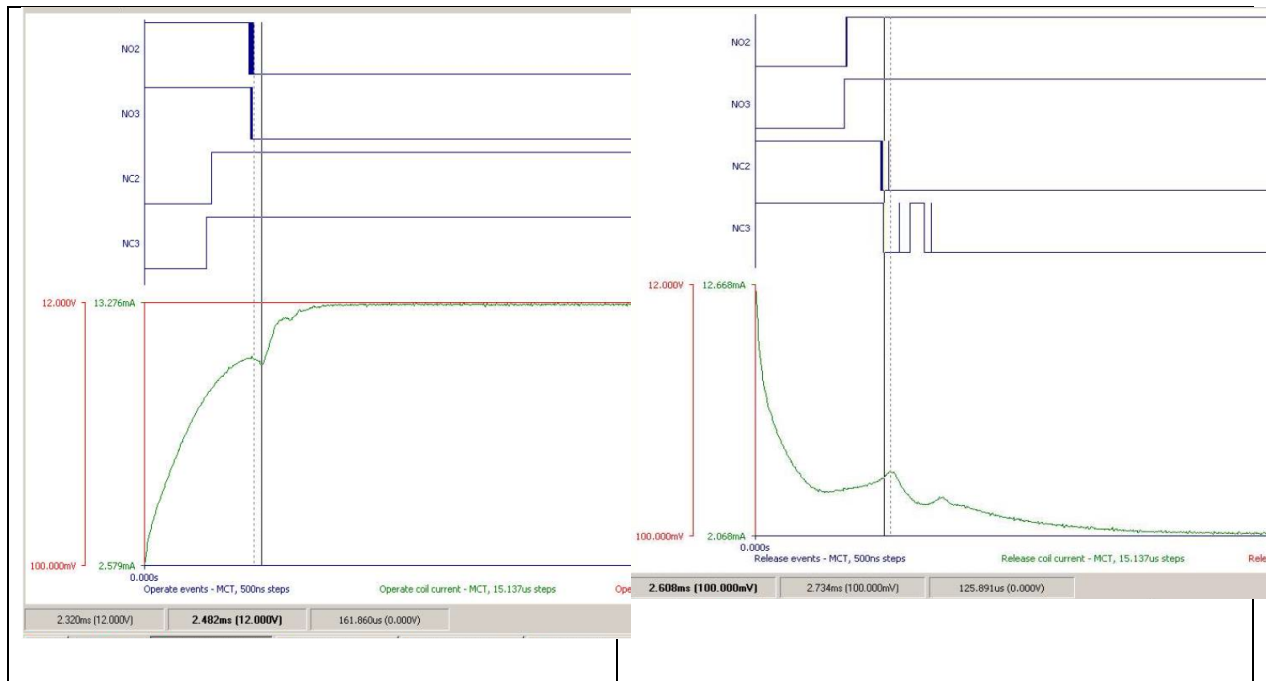
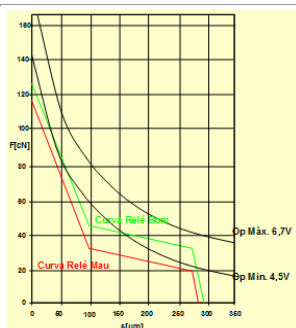


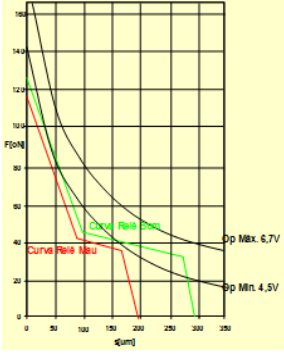
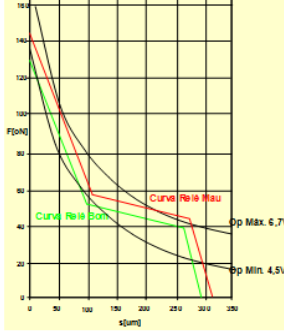
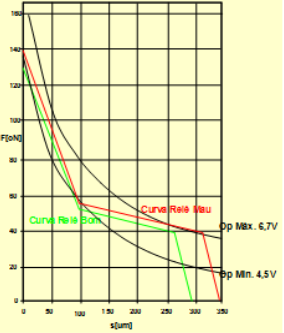
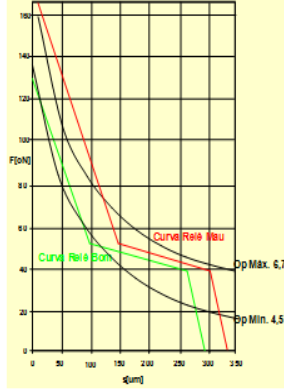
Figura 86: Medição do tempo de supercurso de abertura e fecho dos contactos

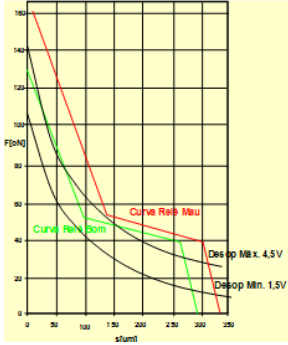
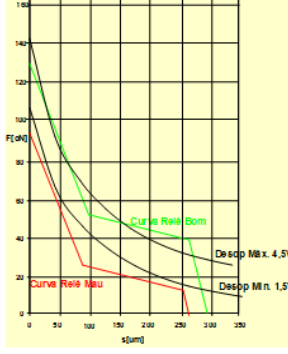
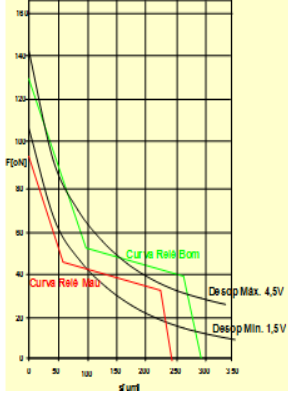
2.1.3.2. ANÁLISE ÀS CURVAS MECÂNICAS/MAGNÉTICAS

A análise destas curvas permite detetar problemas no relé, na tabela seguinte estão alguns exemplos de curvas e seus possíveis efeitos e causas.

Tabela 13: Exemplos do resultado de curvas mecânicas e possíveis falhas [12]

	Defeito de não-operação (= tensão de operação baixa). Causa possível: Força da Mola Baixa.
---	--

	Defeito de não-operação (= tensão de operação baixa). Causa possível: Dist. Contacto pequena
	Defeito de operação (= tensão de operação alta) Causa possível: Força da Mola Alta
	Defeito de operação (= tensão de operação alta). Causa possível: Dist. Contacto Grande.
	Defeito de arrastamento (= tensão de arrastamento alta). Causa possível: Supercurso Grande.

	Defeito de retenção (= tensão de desoperação alta). Causa possível: Supercurso grande.
	Defeito de desoperação (= tensão de desoperação baixa) Causa possível: Força da mola baixa.
	Defeito de desoperação (= tensão de desoperação baixa) Causa possível: Supercurso pequeno

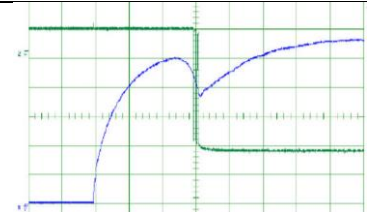
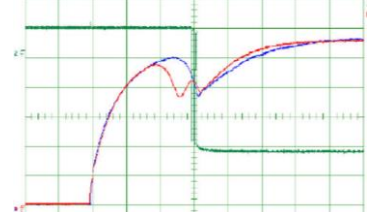
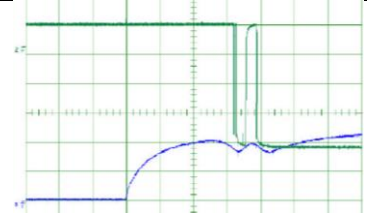
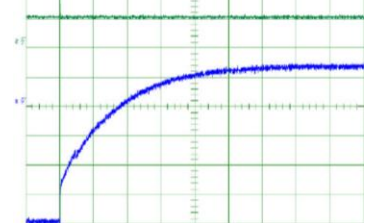
No quadro seguinte apresenta-se um resumo das falhas nas curvas mecânicas mais usuais.

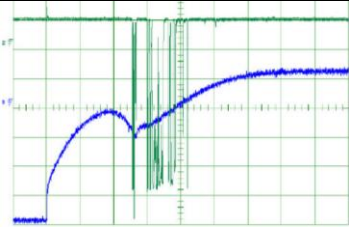
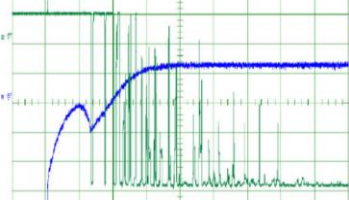
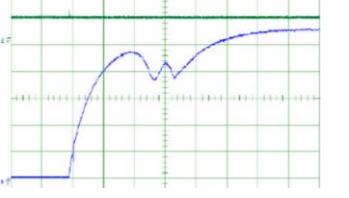
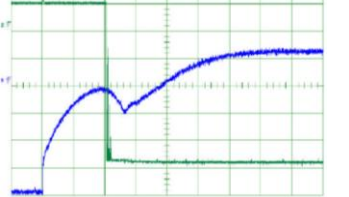
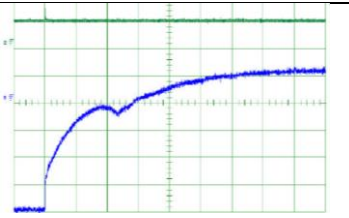
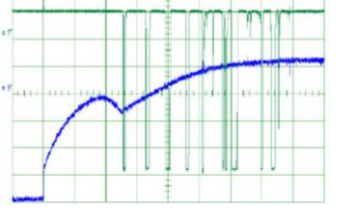
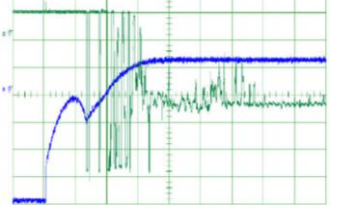
Tabela 14: Resumo das falhas nas curvas mecânicas [12]

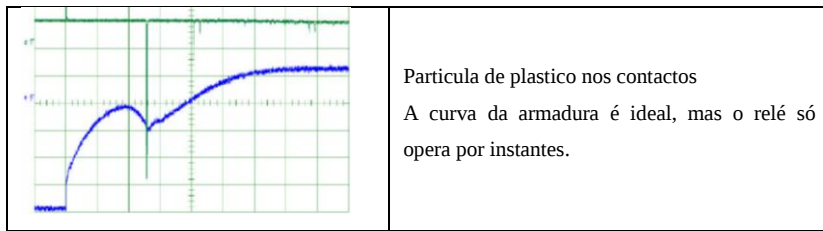
		Possível causa			
		SPC	DC	Força da Mola	Pré-tensão da mola
Defeito	Tensão Operação acima da spec	Alto	Alto	Alta	N.A.
	Tensão de Operação (Não o operação) abaixo da spec	Baixo	Baixo	Baixa	N.A.
	Tensão Desoperação (Retenção) acima da spec	Alta	N.A.	Alta	Alta
	Tensão de desoperação abaixo da spec	Baixo	N.A.	Baixa	N.A.
	Tensão de Arrastamento acima da spec	Alto	N.A.	Alta	Alta

Na tabela seguinte estão alguns exemplos de falhas vistas no osciloscópio pela medição elétrica do circuito magnético, e as respetivas explicações prováveis.

Tabela 15: Curvas magnéticas e possíveis causas

	Curva boa. Curva de referência.
	Armadura ressalta devido a partículas entre a armadura e o núcleo
	Contacto e armadura ressaltam devido a partículas
	Contacto não fecha devido a uma enorme partícula entre armadura e o núcleo. Armadura não se move.

	Contactos ressaltam e não fecham devido a partículas de plástico entre os contactos.
	Distância entre contactos grande por isso a pouca força de contactação e o enorme ressalto. Como a distância não é muito maior que o especificado ainda consegue fechar. Curva de partículas metálicas entre armadura e núcleo é idêntica.
	Âncora ressalta e relé não fecha devido à existência de partículas no sistema.
	Partícula metálica entre os contactos. Relé opera antes do tempo pois a distância de contactos é menor. Pouca distância de contactos tem curva idêntica.
	Partícula entre núcleo e armadura. Ou <i>sticking</i> dos contactos do NC. A armadura move-se, a corrente quase sobe sem se notar o ponto onde a armadura toca no núcleo, os contactos não encostam sequer.
	Partícula pequena entre armadura e núcleo. A prisão da armadura é imperceptível, a curva parece ideal. Os contactos só se tocam devido ao balanço que têm e por isso ressaltam. O relé não opera devido à existência de partículas.
	Distância de contacto maior que o especificado. Por isso existe pouca força de contactação e os contactos não alcançam a posição ideal. Curva com partícula metálica entre a armadura e núcleo é idêntica a esta.



2.1.4. CAMPOS DE APLICAÇÃO

As típicas aplicações dos relés incluem instrumentos de laboratório, equipamentos de teste e medição, sistemas de telecomunicação, interfaces computacionais, aplicações domésticas, ar condicionado e aquecimento, sistemas elétricos para automóveis, controlo de trefego, controlo de iluminação, domótica, controlo sistemas de potência, maquinas industriais, controlo de motores e solenoides, aparelhos domésticos e ferramentas.

Os relés feitos na TE Évora são relés virados para a indústria automóvel, logo as principais aplicações são:

- **Segurança**
 - Desligar da bateria quando o carro sofre um acidente;
 - Direção assistida;
 - ABS.
- **Conforto**
 - Fecho de portas;
 - Vidros elétricos;
 - Ajuste da altura dos bancos;
 - Aquecimento de bancos e vidros;
 - Tetos de abrir;
 - Ar condicionado;
 - Aquecimento elétrico;
 - Espelhos elétricos.
- **Funcionamento**
 - Motor de arranque;
 - Luzes;
 - Limpa para-brisas.

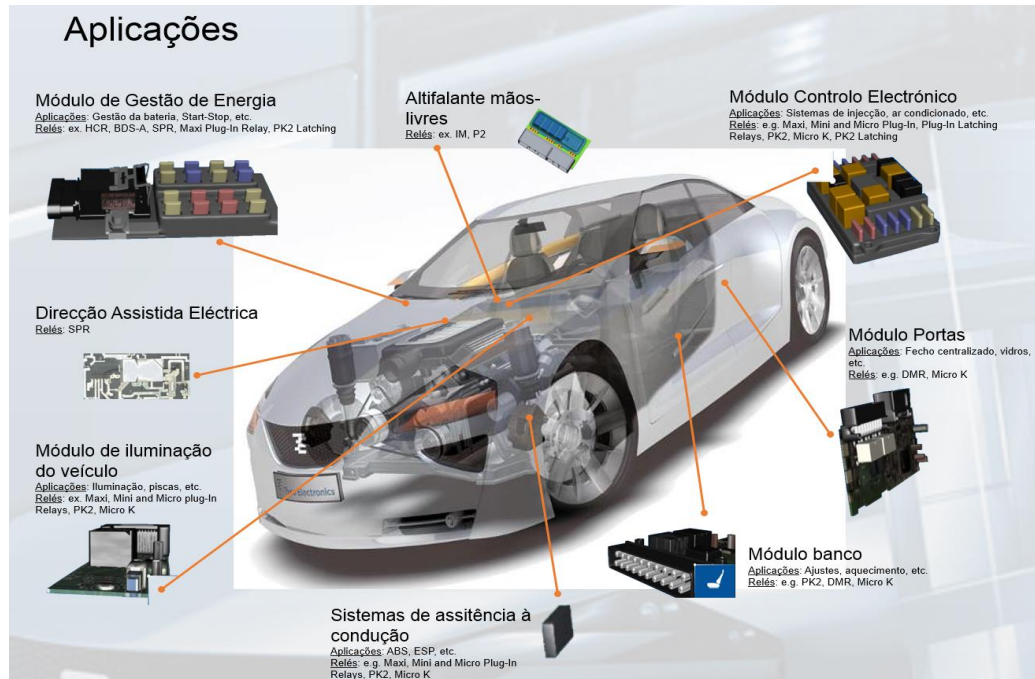


Figura 87: Zonas de aplicação dos relés automóvel

As aplicações dos relés são mais vastas, não se limitando à indústria automóvel., as aplicações passam por:

- Aplicações industriais:
 - Equipamentos de segurança e prevenção de incêndios;
 - Controlo de temperatura;
 - Controlo de luz de emergência;
 - Controlo de elevadores;
 - Interruptor do motor;
 - Equipamentos médicos;
 - ATE;
 - Etc.
- Comunicações:
 - *Dsl modems*;
 - Sistemas de comunicação;
 - Redes fibra ótica.
- Equipamento de escritório:

- FAX interface;
- Impressoras;
- Telefones;
- Etc..
- Aplicações domésticas:
 - Termostato;
 - Carregadores de bateria;
 - Colunas de altifalantes;
 - Etc.

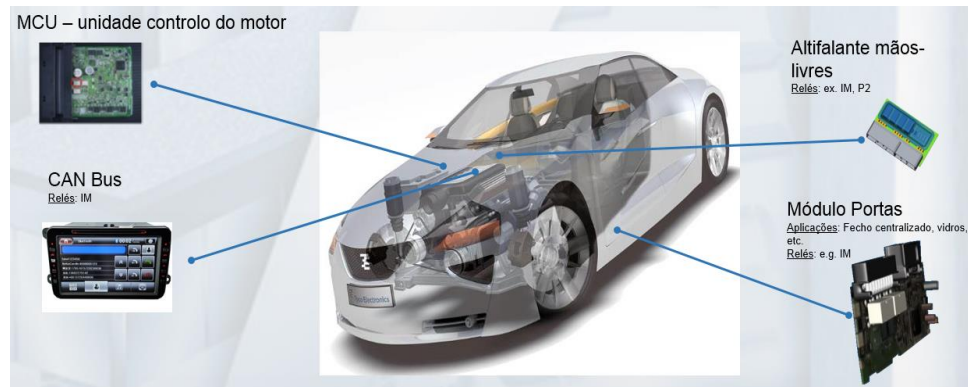


Figura 88: Zonas aplicação de relés de sinal no automóvel