

Física 12.º ano

04a Electricidade — Triboelectricidade

Versão: 1,1

José Pedro do Amaral

10 de janeiro de 2026

1. Introdução

Muitos de nós já notámos que andar descalços num tapete, pode fazer-nos apanhar um choque na maçaneta metálica da porta: carregámo-nos por contacto repetido com o tapete e ao tocarmos num material condutor ligado (directa ou indirectamente) à terra — a maçaneta, dá-se uma descarga rápida. Menos dolorosamente, roupas na máquina de secar em que tecidos diferentes se tocam e separam repetidamente, leva também à acumulação de carga e daí resultam faíscas e a roupa colada. Este fenómeno chama-se **triboelectricidade** (*tribo-* deriva da raiz grega $\tau\rho\iota\beta$ - do verbo $\tau\rho\iota\beta\omega$, *tribo*, «eu esfrego» em grego clássico¹). A triboelectricidade ou electrificação por contacto (CE) é assim a transferência de carga que acontece quando dois materiais entram em contacto (Figura 1) — muitas vezes com fricção² — e depois se separam.

1.1 O que está a acontecer?

Quando duas superfícies se tocam, há uma troca de carga (na prática, quase sempre electrões) por causa de diferenças nas propriedades superficiais dos materiais. Ao separá-las, essa carga fica «presa» em cada lado, e os objectos ficam com cargas opostas: um fica com excesso de electrões e tem carga negativa e o outro fica com falta de electrões e tem carga positiva. O total de carga do sistema conserva-se: não se está a criar carga a partir do nada, está-se simplesmente a separar carga.

1.2 Porque é que alguns materiais carregam mais do que outros?

Porque a triboelectricidade é muito dependente do estado da superfície e não apenas do tipo de material ou do seu volume: 1. *química superficial* (grupos funcionais, contaminações, óleos), 2. *rugosidade e área de contacto*, 3. *dureza e deformação* (quanto contacto íntimo conseguem fazer), 4. *humidade*: água na superfície aumenta a dissipação de carga e assim em dias húmidos, o efeito diminui bastante, e 5. *historial do material* (lavagem, desgaste, aditivos, envelhecimento). Por isso a ordenação na tabela em termos de tipo de carga de um certo material nem sempre é universal.

¹A própria palavra *electricidade* deriva da palavra grega para âmbar, $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$, *ēlektron*

²É de notar que a fricção não é um passe mágico essencial: o essencial é o contacto seguido por separação. A fricção acentua o processo ao aumentar a área de contacto e a eficácia da transferência de carga.

1.3 O que se sente como choque eléctrico?

O «choque» é uma descarga electrostática (ESD): há uma diferença de potencial muito alta (por vezes milhares de volts), mas com energia total pequena. A sensação vem da corrente breve e súbita que estimula os sistemas muscular e nervoso.

1.4 A série triboeléctrica

Uma série triboeléctrica é uma lista empírica que tenta ordenar materiais pela sua tendência de ficarem positivos ou negativos após contacto com outros materiais (Tabela 1). Por exemplo: vidro, lã e cabelo tendem a ficar mais positivos; PVC e Teflon (PTFE) tendem a ficar mais negativos. Um balão esfregado no cabelo: o balão como muitas borrachas e plásticos tende a ganhar electrões e assim a ficar negativo. Correspondentemente, o cabelo perde essas mesmas cargas e fica positivo. Este tipo de informação é útil como regra expedita, mas não como regra absoluta.

1.5 Aplicações e gestão

1.5.1 Útil

Fotocópias (fotocopiadoras e impressoras laser): manipulação de cargas para atrair partículas de pigmento plástico (*toner*). Separação electrostática em reciclagem e actividade mineira. Nanogeradores triboeléctricos (TENG): dispositivos que colhem energia de vibrações e contactos repetidos (ainda com um uso muito especializado mas já real). Em termos biológicos, as osgas são um de vários exemplos, pois têm uma capacidade de aderência ao substrato extraordinária devido a estruturas triboeléctricas nas patas.

1.5.2 Perigosa ou inconveniente

Em situação em que haja a acumulação de pós e grãos (farinhas, açúcar, serradura) ou vapores inflamáveis, uma faísca poderá ser uma fonte de ignição catastrófica. Na electrónica: o ESD poderia danificar irreversivelmente componentes. No manuseamento de plásticos, fitas e filmes, as cargas atraem poeira, colam e causam descargas.

1.5.3 Como reduzir triboelectricidade

O aumentar humidade no meio diminui a triboelectricidade até certo ponto. As ligações à terra e o uso de materiais condutores e dissipativos também reduz. O uso de vaporizadores e adição de anti-estáticos (por exemplo, na lavandaria durante a secagem de roupa). E o uso de roupa e calçado anti-estático em ambientes críticos (por exemplo, em fábricas de componentes electrónicos).

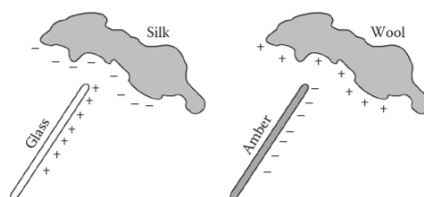


Figura 1. Exemplos comuns de triboelectricidade. Vidro (*Glass*) esfregado com seda (*Silk*) fica carregado positivamente (+). Âmbar (*Amber*) esfregado com lã (*Wool*) fica carregado negativamente (-).

Tabela 1. Série triboelétrica qualitativa: materiais ordenados pela tendência de ficarem positivos ou negativos após contacto e separação. Um material listado mais acima na tabela tende a ficar **positivo** quando contactado ou friccionado com um que esteja mais abaixo. Tenderá a ficar **negativo** quando o outro estiver mais acima.

Carga	Materiais	Tendência	Notas (afinidade, nC/J, vs lâ)
Muito positivos			
++	Mãos (pele oleosa)	+	Medições industriais: «pele e cabelo oleoso» $\approx +45$ nC/J (material condutor: carrega-se mal por contacto com metal).
++	Poliuretano (espuma)	+	$\approx +60$ nC/J; valores variam com formulação e pressão de contacto.
++	Sorbothane (poliuretano viscoelástico)	+	$\approx +58$ nC/J; pode ser ligeiramente condutor consoante o produto.
++	Pêlo de coelho	+	Frequente no topo em séries qualitativas clássicas.
++	Pêlo de gato	+	Surge em séries históricas (p.ex., NIST).
++	Amianto	+	Surge em séries históricas (p.ex., NIST).
++	Acetato (filmes/tecidos)	+	Aparece como positivo em listas industriais e didáticas.
Positivos			
+	Vidro (soda-cal)	+	$\approx +25$ nC/J; «ligeiramente condutor» e muito dependente da humidade ou filmes superficiais.
+	Mica	+	Comum em séries qualitativas como material positivo.
+	Nylon (poliamida)	+	$\approx +30$ nC/J; pele seca e nylon tendem a carregar bem.
+	Lã	+ ou ~ 0	Em listas qualitativas fica acima de muitos polímeros; numa escala quantitativa vs lâ: lâ = 0 (por definição desta tabela).
+	Seda	+	Clássico «vidro com seda» dá vidro positivo.
Perto do neutro			
~ 0	Papel (não revestido)	$\sim +$	$\approx +10$ nC/J; frequentemente «ligeiramente condutor»; muda muito com humidade e revestimentos.
~ 0	Madeira (ex.: pinho)	$\sim +$	$\approx +7$ nC/J; varia com teor de água, tratamentos, resinas e sujidade.
~ 0	Algodão	~ 0 a +	Em tabelas qualitativas aparece «neutro»; numa escala quantitativa pode dar $\approx +5$ nC/J e é sensível à humidade.
~ 0	Aço e ferro	~ 0	Metais conduzem: descarregam e redistribuem carga facilmente; o sinal observado depende de óxidos, textura e pressão.
~ 0	Níquel, cobre, prata e latão	~ 0	Qualitativamente aparecem a meio; em medições, pode ser menos reprodutível e dependente da superfície.
Negativos			
—	Polycarbonato	—	≈ -5 nC/J (perto do neutro; pouco «carregador» face a PTFE).
—	ABS	—	≈ -5 nC/J (id.).
—	Acrílico (PMMA)	—	≈ -10 nC/J; muitas fitas adesivas «transparentes» comportam-se perto do acrílico.
—	Epóxi (ex.: PCB)	—	≈ -32 nC/J.
—	Âmbar (resina fóssil)	—	Comportamento semelhante a resinas e plásticos. A posição nesta tabela depende de polimento, oxidação e humidade. Clássico «âmbar com lâ» dá âmbar negativo.
—	Borracha SBR (estireno-butadieno)	—	≈ -35 nC/J.
—	Tintas spray (solvente)	—	≈ -38 nC/J (pode variar).
—	PET (Mylar)	—	≈ -40 nC/J (tecido ou filme).
—	Poliestireno	—	≈ -70 nC/J.
—	Polimida	—	≈ -70 nC/J.
—	Vinil flexível (PVC plastificado)	—	≈ -75 nC/J.
—	Polietileno e Polipropileno (LDPE, HDPE, PP)	—	≈ -90 nC/J; UHMWPE pode ir a ≈ -95 nC/J.
—	PVC rígido	—	≈ -100 nC/J.
—	Látex (borracha natural)	—	≈ -105 nC/J.
—	Neopreno (policloropreno)	—	≈ -98 nC/J (pode ficar mais condutor com enchimentos).
—	EPDM, butilo e outros elastómeros (com enchimentos)	—	Podem ir de ≈ -120 a -140 nC/J; enchimentos podem aumentar condutividade e alterar comportamento.
—	Enxofre	—	Aparece perto da extremidade negativa em séries qualitativas clássicas/industriais.
Muito negativos			
— —	PTFE (Teflon)	—	Muito negativo; exemplo quantitativo: ≈ -190 nC/J (versus lâ).
— —	PCTFE	—	Fluoropolímero: tipicamente «muito negativo» em listas qualitativas.
— —	Borracha de silicone	—	Frequentemente no extremo negativo em tabelas industriais.

Nota: a ordem é **aproximada** e pode mudar com humidade, contaminação, rugosidade e pressão de contacto.