

MAIS CIÊNCIA

ASPECTOS DA FÍSICA DO RAIO: BUSCANDO ELUCIDAR UM FENÔMENO POUCO COMPREENDIDO

Dirceu da Silva
Jomar de Barros Filho
Jurandyr C. N. Lacerda Neto

É comum encontrarmos em livros didáticos e pára-didáticos comentários e observações sobre o raio. Quase que invariavelmente estes apresentam erros conceituais e analogias imprecisas; às vezes encontramos vários aspectos míticos e lendários associados aos conceitos. Assim, este breve artigo tem por objetivo apresentar o fenômeno raio, para professores, na tentativa de elucidar o que venha a ser esse fenômeno natural, além de aspectos ligados a ele.

Um pouco de história do fenômeno

Até meados do século XVIII, o raio era associado a uma manifestação dos céus, ora como castigo ora como evento natural, sem uma relação causal explicativa. Foi só em 1750, que Benjamin Franklin, cientista amador e estadista, propôs um experimento para provar que o raio era um fenômeno elétrico. Neste mesmo período, marcado pelo estudo dos fenômenos eletrostáticos, havia diversos avanços científicos em curso: máquinas eletrostáticas, os conceitos de isolantes e condutores, os capacitores (garrafas de Leiden) etc.

Franklin havia se interessado pela eletricidade e já havia realizado diversas experiências, nos "círculos" de ciências europeus.

Assim, em uma publicação, onde ele era o editor, *The Poor Richard* (alusão aos atuais Estados Unidos, que eram nesse período colônia da Inglaterra), Franklin descreve uma experiência, usando uma analogia com fenômenos observados em laboratório. Deveria erguer-se no alto de um monte, uma guarita de madeira, com uma haste de ferro no seu topo. Dentro desta, seria colocada outra haste cravada no solo. Além disso, o chão no interior da guarita necessitaria ter uma base isolante (placa de vidro ou madeira). No momento de formação de uma tempestade, um homem deveria ficar em pé sobre a base isolante, segurando com uma das mãos, na haste cravada e aproximar a outra da haste fixa no telhado da guarita.

Com isso, Franklin previa que faíscas deveriam saltar pela mão próxima da haste, de forma semelhante que ocorria com as experiências nos geradores eletrostáticos e assim, confirmaria, por analogia, a causa elétrica do raio.

Em 1752, Alibard, outro cientista amador, contratou um sargento aposentado do exército francês para realizar a experiência, na região da França que faz divisa com a Suíça. De fato, Alibard, constatou a produção de faísca e escreve uma carta para Franklin. Como este agora estava na Filadélfia, a carta demora

muito a chegar. Assim, sem conhecimento do sucesso da sua proposta, Franklin resolve, por ausência de montes altos na região, mudar a experiência e acaba por "soltar" um papagaio, no momento que se forma uma tempestade. Para tal, usa um cordão resistente: um fio metálico muito fino, paralelo ao cordão. Amarra a chave da porta da sua casa próximo à sua mão e observa saltarem faíscas dos nós da sua mão para a chave.

As duas experiências são muito perigosas! Se um raio tivesse, "caído" em qualquer delas, os envolvidos teriam sido mortos instantaneamente. Na época de Franklin, não se conhecia as magnitudes do fenômeno.

Provado que o raio era um fenômeno elétrico, Franklin, usando novamente uma analogia com as experiências de laboratório com eletricidade estática, propõe um artefato para eliminar os raios: o pára-raios, que consistia em hastes pontiagudas ligadas por fios condutores a outras hastes cravadas no solo. Com esse artefato, Franklin esperava que a nuvem de tempestade fosse descarregada sem a produção de uma faísca, ou seja sem haver o choque do raio. Essa idéia foi retirada de um fato facilmente observado em experiências com geradores eletrostáticos.

Em certas condições de laboratório, é fácil verificar que quando um gerador está carregado, ao aproximarmos um corpo rombudo aterrado, há a produção de uma faísca. Caso contrário, aproximando-se um corpo pontiagudo aterrado, há a neutralização elétrica do gerador, sem a produção de faíscas. Este fenômeno é explicado pelo "efeito das pontas", que devido à geometria pontiaguda, apresenta um campo elétrico muito intenso na ponta. Isto faz com que haja movimentação das cargas (do gerador para a ponta ou vice-versa) sem a produção da ruptura do dielétrico do ar (isolação do ar). A figura 1, representa a situação descrita.

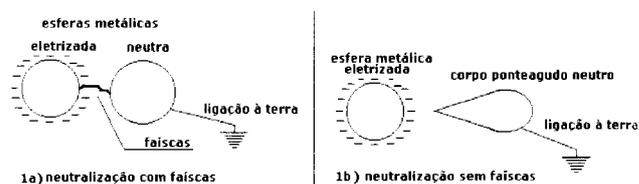


figura 1. Representação das situações de neutralização de corpos eletrizados.

Em 1755, alguns desses dispositivos são instalados em um prédio público em Londres e após sete meses, estes foram atingidos por raios. Franklin então, muda as suas concepções e passa a advogar que os pára-raios se não podiam eliminar os raios, pelo menos seriam um local mais favorável à “queda” dos mesmos.

Até hoje encontramos em diversos livros a idéia errônea de que os pára-raios podem eliminar os raios. Muito dessa afirmação baseia-se na falta de conhecimento e na interpretação do nome pára (contra) raios.

A eletrização da nuvem de tempestade.

Há conhecimento de pelo menos dez teorias diferentes para a formação de uma nuvem de tempestade, a cúmulos nimbus (cúmulo = alto, grande e nimbu = chuvoso), segundo Martin Uman (Uman, M. A (1984). *Lightning*, New York, Dover Publications) a teoria mais aceita é a de Simpson que usa um fenômeno interessante para justificar a eletrização das nuvens.

Se pegarmos, por exemplo uma barra de gelo, e colocarmos nas suas extremidades dois eletrodos, ligados por um voltímetro e em seguida, fizermos uma das extremidades mais fria que a outra - derramando nitrogênio líquido, por exemplo - iremos observar uma tensão ou ddp¹ entre os dois extremos.

Este fenômeno, efeito termoiônico, é explicado pela agitação diferenciada das partes da barra de gelo, já que a temperatura é uma grandeza associada ao grau de agitação das partículas dos corpos. Quanto maior a temperatura maior a agitação e vice versa. Assim, o lado de maior temperatura, devido a maior agitação, acaba roubando elétrons do lado mais frio, tornando-se levemente negativo (vide figura 2)

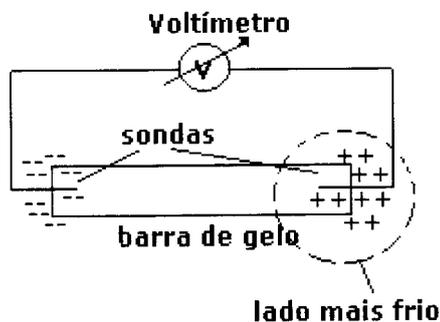


figura 2: representação do efeito termoiônico

A nuvem de tempestade é formada quando há uma “inversão térmica”, após um período de intensa evaporação, a entrada na região de uma massa de ar frio provoca a condensação e a solidificação de pequenos aglomerados de água.

Dessa forma, passa-se a ter pequenos cristais de gelo à deriva. A inversão térmica provoca um turbilhão de correntes de ar ascendentes e descendentes no interior na nuvem, fazendo com que os cristais de gelo colidam e passem a crescer pela agregação de outros.

Esse processo, também faz com que ao serem carregados pelas correntezas de ar sejam esfriados. Como o gelo é um bom isolante térmico, passa a haver uma diferença de temperatura entre o centro do granizo (pedras de gelo observadas nas tempestades) e exterior.

Transportando o efeito termoiônico para esse caso, temos que na parte interior - de maior temperatura - haverá acúmulo de cargas negativas e na parte exterior - de menor temperatura - haverá acúmulo de cargas positivas (ausência de negativas) (vide figura 3).

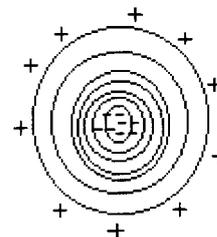


figura 3: representação de um granizo, em corte.

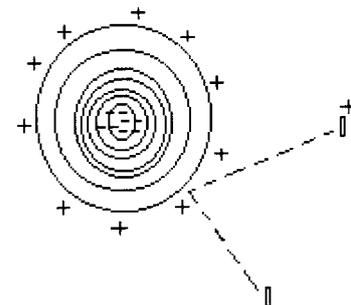


figura 4: representação do choque entre um granizo e um cristal de gelo pequeno

Se o fenômeno não fosse dinâmico, estaria dada a eletrização da nuvem, mas como há um turbilhão de correntes de ar no interior da nuvem, esses granizos são arrastados para cima e para baixo, vindo a colidir entre si e com flocos de gelo menores, que estão eletricamente neutros, pois sendo muito pequenos é desprezível a diferença de temperatura entre o seu interior e exterior.

Quando os granizos chocam-se com os pequenos cristais de gelo, roubam cargas elétricas deles, deixando-os positivos e ficando, após muito choques, negativos. Isto é, na realidade os granizos,

são neutralizados externamente, mas como tinham excesso de cargas negativas na parte interior, acabam ficando negativos (vide figura 4).

Ao final de algumas dezenas de minutos, teremos a seguinte configuração:

Os pequenos cristais (positivos) têm maior probabilidade de serem arrastados para o topo da nuvem, os granizos que sofreram choques (negativos), terão maior probabilidade de estarem na região central da nuvem, em queda ou sendo arrastados ou sustentados pelas correntes de ar ascendentes e os granizos que sofreram poucos choques (ainda positivos) estarão na base da nuvem. Estes últimos, sofreram poucos choques, porque provavelmente foram os primeiros a serem formados, o que justifica a quase ausência dos cristais menores para que pudessem sofrer os choques (vide figura 5).

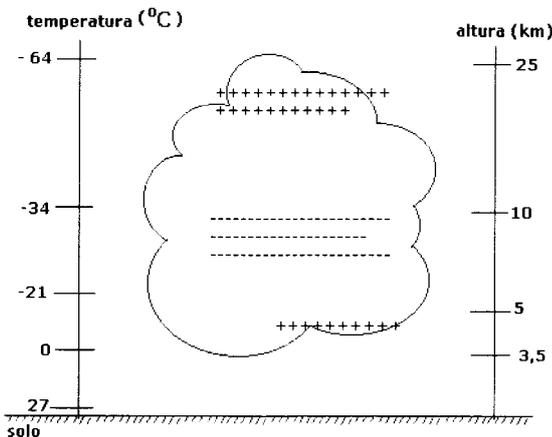


figura 5: Representação de uma nuvem de tempestade média, com escalas médias de temperaturas e alturas

Esse processo de acúmulo de cargas elétricas irá ocorrendo até a formação do raio.

Em média, as três regiões eletrizadas, possuem a seguinte quantidade de cargas, superior +35 C, mediana -40 C e inferior +5 C (C = coulomb).

O mecanismo de propagação do raio: muito além de um faísca gigantesca.

Como representamos na figura 5, a nuvem de tempestade tem dimensões gigantescas, por esse motivo e pelo acúmulo de gelo em seu interior, a luz do sol é desviada e blindada, fazendo com que o céu torne-se cinzento.

Em 90% dos casos, o raio inicia-se, pela ruptura do dielétrico (isolção) do ar, entre as regiões mediana e inferior (um conjunto de faíscas entre as duas regiões) e acaba por ionizar o ar entre estas duas regiões (figura 6a).

Uma vez estando o ar ionizado, isto é, bom condutor de eletricidade, há um rearranjo elétrico e inicia-se a "descida" de uma corrente de elétrons que buscará o solo. Essa corrente na maioria das vezes não sobe, devido a longa distância até o topo

da nuvem e assim, quanto mais elevado mais rarefeito é o ar, maior a dificuldade de circulação de eletricidade.

Devido ao fato de ser muito elevado o valor do campo elétrico na "ponta" dessa corrente, o ar circunvizinho irá ficando ionizado pela "expulsão" de elétrons das moléculas do ar e assim, o caminho irá sendo traçado para a "descida" desse primeiro choque, chamado de "condutor por passos".

Devido aos ventos sempre presentes nas tempestades (devidos à inversão térmica) esse choque irá ter um caminho muito ramificado e sinuoso (figuras 6b e 6c).

Na medida que esse condutor se aproxima do solo, há por indução elétrica, uma movimentação de cargas no solo, fazendo com que os objetos, edificações, árvores etc. fiquem positivamente carregados.

Em uma distância que varia de aproximadamente 70 a 110m, a quantidade de cargas acumuladas no solo é tal que ocorre a ruptura do dielétrico (isolção) do ar entre a ponta do condutor por passos e um objeto ou edificação (figura 6d). A partir desse instante, passa-se a ter definido o caminho do raio.

Ato contínuo, as cargas na nuvem estão em constante rearranjo e um choque de grande valor de corrente elétrica desce pelo caminho ionizado, o "choque de retorno" (figura 6e). Esse nome é devido ao sentido convencional da corrente elétrica.

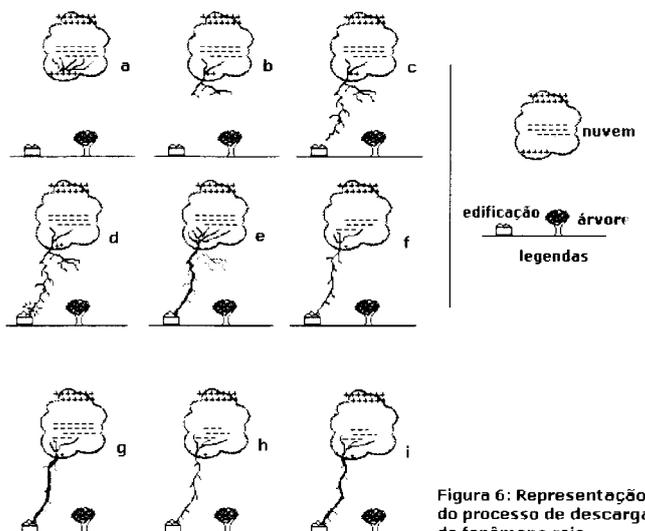


Figura 6: Representação do processo de descarga do fenômeno raio.

Historicamente, acreditava-se que a corrente elétrica seria o movimento de cargas positivas. Após as experiências de Rutherford e da estruturação do modelo atômico de Bohr, por coerência, passou-se a acreditar que o que se movimenta são elétrons e não prótons, pois estes estão ligados no interior do núcleo atômico.

Mesmo assim, manteve-se a idéia de corrente de prótons, só é sentido contrário à de elétrons. Temos então, a corrente convencional e a dita real. Se a real percorre da nuvem para o solo, a convencional irá do solo para a nuvem. Por esse motivo, o choque citado é chamado de choque de retorno, pois refere-se à corrente convencional (vide figura 7).

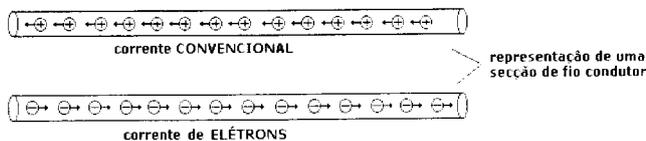


Figura 7: Representação das correntes CONVENCIONAL e de ELÉTRONS

Este choque tem em média um valor de pico de 20.000 A, sendo que já foi medido experimentalmente choques de retorno que atingiram o valor máximo de 160.000 A.

Este choque movimentava uma quantidade grande de cargas elétricas, provocando um aquecimento espetacular do ar, o que falaremos mais adiante.

Após o choque de retorno, é comum haver ainda uma grande quantidade de cargas elétricas na nuvem. Lembrando sempre que as cargas estão em constante rearranjo, um novo choque fraco buscará o solo novamente, o "condutor dardo".

O mecanismo de propagação é semelhante ao condutor por passo, porém como há um caminho fracamente ionizado, devido ao choque de retorno, este novo choque é mais dirigido, menos sinuoso, daí o nome dardo (figura 6f).

Subseqüentemente ao choque dardo, outro choque de retorno deve ocorrer (figura 6g), porém com corrente elétrica menos intensa.

Se ainda houver cargas suficientes na nuvem, ocorrerá novo condutor dardo (figura 6h) e novo choque de retorno (figura 6i).

Em média no fenômeno ocorrem 3 a 4 choques. Há registros experimentais, que mostram um raio que se manifestou em 56 choques!

O mais incrível é que todo esse processo dura em média 0,2 s (dois décimos de segundo)

Para que o raio ocorresse através de uma faísca direta seria necessário que a tensão ou ddp entre a nuvem e o solo fosse muito maior do que é em média. Por esse motivo, ocorre todo o processo descrito.

Alguns dados sobre o fenômeno

De forma mais ilustrativa, apresentamos a seguir algumas estatísticas sobre o fenômeno raio:

- Tensão ou ddp entre nuvem e solo, no início do choque : 100 milhões a 1 bilhão de volts.
- Pico médio de corrente nuvem-solo : 20.000 a 160.000 ampères.

- Pico de temperatura do ar médio no canal formado pelo raio: 30.000° C.
- Comparação - Temperatura média da superfície do sol: 6000° C.
- Média da duração do pico de corrente no choque de retorno: 1/1000 s.
- Diâmetro estimado do canal por onde passa a corrente do raio (no ar): 1,3 a 2,5 cm.
- Comprimento médio do raio: 3,5 a 12 km.
- Número (médio) de tempestades com raios que estão ocorrendo neste instante no planeta Terra: 2.000
- Há 100 "flashes" de raios por segundo na Terra.
- Estima-se que nos USA de 500 a 1000 pessoas são atingidas por raios, todos os anos.
- Só o Empire State building na cidade de Nova York é atingido por 8 raios, em média, por ano.
- A Ilha de Java, na Indonésia, tem o maior número de tempestades por ano: 233, em média.
- Número de raios por dia no planeta Terra: 8 milhões.

O trovão e o relâmpago: fenômenos adjacentes à passagem de corrente elétrica

Quando falamos do raio, devemos deixar claro que este é constituído por três fenômenos: As correntes elétricas dos choques, os trovões e os relâmpagos.

Como mostramos acima, a passagem de corrente elétrica em um meio mau condutor de eletricidade, provoca uma repentina elevação da temperatura do canal por onde circula a corrente elétrica. Em um cilindro(sinuoso) de aproximadamente 1,3 a 2,5 cm, a temperatura do ar chega a valores, em média de 30.000° C. Como essa circulação demora em média 1 a 3 milionésimos de segundo, ocorrem um expansão do ar, tal como na explosão de uma bomba de grande porte. Este canal, explode ao pé da letra, provocando uma onda de choque (agora mecânico) supersônica que se afasta do canal da corrente do raio. Esse fenômeno é chamado de Trovão.

Como o raio se repete 3 a 4 vezes, em média, há 3 a 4 ondas sonoras formadas no fenômeno. Devido ao curto intervalo de tempo de duração de todo evento, não conseguimos distingui-las.

No caso dos relâmpagos, o fenômeno é explicado pelo fato de que, ao circular a corrente elétrica do raio pelo ar (meio pouco condutor), elétrons das moléculas dos gases constituintes são expulsos por repulsão. Ao cessar a corrente, o ar ficou ionizado (moléculas com elétrons a menos). Quando os elétrons retornam às moléculas, estes devolvem a energia que adquiriram, no processo de repulsão. Essa energia é devolvida sob a forma de radiação, desde o infravermelho até o ultravioleta, passando pela luz visível. O que nós constatamos, evidentemente, é a parte visível.

Como apresentamos anteriormente, o raio se repete várias vezes, isto explica porque os relâmpagos

gos são "tremidos" no céu, isto é, são vários "flashes" luminosos.

À guisa de conclusões

Neste breve artigo, buscamos apresentar o fenômeno raio, um breve histórico do trabalho de Franklin, o processo de eletrização das nuvens de tempestade e o seu mecanismo de propagação

Podemos constatar que o fenômeno não é simples ou de fácil explicação, pois ainda há aspecto ou tipo de raio que são explicados através de teorias pouco abrangentes, como é o caso das "bolas de raio" (*lightning balls*), que buscaremos tratar em outra ocasião.

Tentamos com este, mostrar que o raio não é uma simples faísca entre as nuvens e o solo, pois envolve um mecanismo de auto-propagação complexo, apesar da familiaridade que temos com o fenômeno como espectadores.

Outras confusões são associadas aos pára-raios. Muitos acreditam que as pontas destes são eficazes e indispensáveis para a segurança, mas como mostramos, o raio é auto propagável e só se define aproximadamente entre 70 e 110 m do solo. Além do mais, a base da nuvem está em média a 3,5 km do solo, o que faz com que uma ponta de alguns centímetros seja desprezível. Para essa distância, uma casa mediana, pode ser considerada como um ponto, o que dirá a haste de um pára-raios.

Outro aspecto é o poder atribuído ao pára-raios de atrair os raios, o que acreditamos ter sido eliminado, frente à exposição do mecanismo de propagação do raio.

Poderíamos fazer um comentário final sobre a periculosidade do fenômeno. De fato, o raio é muito

perigoso. É um fenômeno que poucos conseguem sobreviver após serem "atingidos". Aqueles que sobrevivem, acabaram com várias seqüelas, sobretudo motoras, devido a intensidade da corrente elétrica. Em muitos relatos, sabe-se que essas pessoas não foram atingidas pela corrente principal do raio, mas sim por choque ou faíscas laterais, de menor intensidade.

Para se proteger do raio, evite campos abertos nos momentos de tempestade, pois dessa forma, você passa a ser um dos possíveis pontos de contato, árvores isoladas, pois pode receber parte do raio, que ao atingir uma estrutura, acaba por se ramificar.

Evite também ficar em piscinas ou lagos, nos momentos de tempestade. Se estes locais "receberem" um raio, a corrente elétrica circulará por toda a água, inclusive pelo corpo humano.

Para maiores dados e informações pode-se consultar na internet os sites: <http://sunmlb.nws.fit.edu/newho.html> e <http://wvlightning.com/>, onde se encontram endereços interessantes, aspectos sobre a proteção contra os raios, dados recentes, explicações sobre o fenômeno etc.

Notas

1. O conceito de ddp (diferença de potencial), tensão ou voltagem, pode ser entendido como uma diferença entre as cargas em excesso ou falta de dois corpos ou de regiões diferentes do mesmo corpo. Lembre-se que uma pilha comum tem a ddp, tensão ou voltagem de 1,5 v. Já os pólos de uma tomada doméstica, pode ter a ddp de 110 volts ou de 220 volts. Quanto maior é o valor da ddp, maior poderá ser o choque que uma pessoa levará ao tocar os dois pólos.

Dirceu da Silva é professor da Faculdade de Educação da Unicamp; Jomar de Barros Filho é mestre em Educação e Jurandir C. N. Lacerda Neto é Mestrando na FE/Unicamp.