



Como as nuvens se formam?

A origem de uma nuvem está no calor que é irradiado pelo Sol atingindo a superfície de nosso planeta. Este calor evapora a água que sobe por ser menos denso que o ar ao nível do mar. Ao encontrar regiões mais frias da atmosfera o vapor se condensa formando minúsculas gotinhas de águas que compõem então as nuvens.

que para o vapor tornar-se uma gotinha d'água ele precisa encontrar na atmosfera partículas sólidas sobre as quais se condensar. Essas partículas estão sempre em suspensão no ar, mesmo nas regiões onde o ar é muito puro.

Todas as nuvens produzem relâmpagos?

Não. Somente as nuvens de tempestades, conhecidas como cumulonimbus, possuem os ingredientes necessários para produzir relâmpagos: ventos intensos, grande extensão vertical e partículas de gelo e água em diversos tamanhos.

.....
Marcelo M.F. Saba

Pesquisador do Grupo de Eletricidade Atmosférica
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
C.P. 515 - 12201-970
S. José dos Campos, SP, Brasil
e-mail: saba@dge.inpe.br
.....



A Física das Tempestades e dos Raios

Questões e
dúvidas
frequentes

Basta então calor e umidade?

Não. Na atmosfera a temperatura do ar diminui com a altura. Dependendo de quão rápida é esta diminuição, o crescimento de uma nuvem pode ser acelerado ou inibido. Alguns outros fatores podem também dar uma "mãozinha" para que a nuvem cresça: as montanhas, onde ventos batem forçando o ar quente subir, e as frentes frias, camadas de ar frio que funcionam como uma cunha empurrando o ar quente para cima. Sabemos ainda

Que aspecto têm as nuvens de tempestade?

Estas nuvens são enormes. Elas têm sua base em 2 ou 3 km e o topo em até 20 km de altitude! Podem ter 10 ou mesmo 20 km de diâmetro. Normalmente têm a sua base escura, pois a luz solar é absorvida e espalhada pelas partículas de água e gelo de que são formadas. O seu topo muitas vezes atinge a base da estratosfera (camada da atmosfera logo acima da troposfera, onde vivemos). Ao atingir a base da estratosfera, a nuvem não consegue mais subir, pois a tempe-

Neste artigo explicam-se diversos aspectos sobre a física envolvida na formação de nuvens de tempestades e relâmpagos, fenômenos que por milhares de anos assustaram a humanidade e com os quais devemos ter alguns cuidados.

ratura nessa camada tende a aumentar devido à absorção do ultravioleta pela camada de ozônio. Assim ela se espalha horizontalmente na direção dos ventos nessa altitude, fazendo que a nuvem tenha o aspecto de uma bigorna. As nuvens de tempestade geralmente estão associadas a: chuvas torrenciais e enchentes, granizo ou “chuva de pedra”, ventos intensos ou “rajadas de vento”, e eventualmente os temíveis tornados. A quantidade de energia envolvida em apenas uma tempestade modesta é assustadora. Ela é várias vezes superior à energia liberada pela primeira bomba atômica detonada em um deserto dos Estados Unidos em 1945. A diferença é que a bomba atômica libera toda sua energia em uma fração de segundo, enquanto uma tempestade o faz durante um período de muitos minutos ou várias horas.

Qual o efeito das tempestades sobre o clima?

As tempestades são como grandes trocadores de calor. Ou seja, o ar que próximo ao chão encontrava-se, em dias de verão, a quase 40 °C, pode ser transportado até o topo da tempestade onde pode chegar com a temperatura de -70 °C. Existem estimativas de que o nosso planeta sem essas nuvens trocadoras de calor teria uma temperatura média 10 °C maior.

Por que as nuvens se eletrificam?

Ainda não há uma teoria definitiva que explique a eletrificação da nuvem. Há, no entanto, um consenso entre os pesquisadores de que a eletrificação surge da colisão entre partículas de gelo, água e granizo no interior da nuvem. Uma das teorias mais aceitas nos diz que o granizo, sendo mais pesado, ao colidir com cristais de gelo, mais leves, fica carregado negativamente, enquanto os cristais de gelo ficam carregados positivamente. Isso explicaria o fato de a maioria das nuvens de tempestade ter um centro de cargas negativas embaixo e um centro de cargas positivas na sua parte superior. Algumas nuvens apresentam também um pequeno centro de cargas positivas próximo à sua base.



Por que existem relâmpagos?

Quando a concentração de cargas no centro positivo e negativo da nuvem cresce muito, o ar que os circunda já não consegue isolá-los eletricamente. Acontecem então descargas elétricas entre regiões de concentração de cargas opostas que aniquilam ou pelo menos diminuem essas concentrações. A maioria das descargas (80%) ocorre dentro das nuvens, mas como as cargas elétricas na nuvem induzem cargas opostas no solo, as descargas podem também se dirigir a ele.

Quando e quem descobriu que os raios eram enormes descargas (faíscas) elétricas?

Em 1752, Benjamin Franklin propôs uma experiência para verificar se as nuvens possuíam eletricidade. Sugeriu que uma pessoa subisse no alto de uma montanha em um dia de tempestade e verificasse se de uma haste metálica isolada do chão pulariam faíscas em direção aos dedos da sua mão. Era uma experiência arriscadíssima que ele mesmo não a realizou, talvez por não haverem montanhas suficientemente altas na Filadélfia, onde morava. Quem a realizou pela primeira vez foi Thomas François Dalibard, na França, em maio de 1752. Um mês depois, sem saber do sucesso da experiência na França, Franklin conseguiu uma maneira de a realizar na Filadélfia. Em um dia de tempestade empinou uma pipa e observou faíscas pularem de uma chave amarrada próximo da extremidade da linha à sua mão. Tanto uma

como outra experiência não devem ser repetidas por ninguém. Várias pessoas morreram tentando repeti-las!

Como funciona o pára-raios?

Um pára-raios nem atrai nem repele os raios. Ele também não descarrega a nuvem como pensava Benjamin Franklin. Ele simplesmente oferece ao raio um caminho fácil até o solo que é ao mesmo tempo seguro para nós e para o que pretendemos proteger.

Quais os tipos de relâmpagos?

Aqueles que tocam o solo (80%) podem ser divididos em descendentes (nuvem-solo) e ascendentes (solo-nuvem). Os que não tocam o solo podem ser basicamente de três tipos: dentro da nuvem, da nuvem para o ar e de uma nuvem para outra. O tipo mais freqüente dos raios é o descendente. O raio ascendente é raro e só acontece a partir de estruturas altas no chão (arranha-céus) ou no topo de montanhas (torres, antenas). Os raios ascendentes têm sua ramificação voltada para cima.

O que é um raio bola?

O raio bola é o mais misterioso dos raios e, portanto o que mais intriga os cientistas. Ele já foi observado por milhares de pessoas e, no entanto não há até hoje medidas suficientes que possam comprovar qualquer uma das várias teorias elaboradas para explicá-lo. Normalmente o seu tamanho varia entre o de uma bola de ping-pong e o de uma grande bola de praia, e sua duração é em média 15 segundos; possui um colorido na maioria das vezes amarelado e luminosidade menor do que uma lâmpada de 100 W. Flutua pelo ar não muito longe do chão, e não segue necessariamente a direção do vento. Costuma desaparecer silenciosamente ou acompanhado de uma explosão.

Existem raios positivos e negativos?

Sim. Os raios têm a sua polaridade atribuída conforme o tipo de carga que neutralizam na nuvem. Portanto, se um raio neutralizar cargas negativas na nuvem ele é um raio negativo. Na prática não pode-

mos dizer com certeza se um raio é positivo ou negativo a não ser com o auxílio de instrumentos adequados.

Quais as fases de um raio?

Um raio começa com pequenas descargas dentro da nuvem. Estas descargas liberam os elétrons que começarão seu caminho de descida em direção ao solo. Esse caminho de descida é tortuoso e truncado em passos de 50 metros, como que buscando o caminho mais fácil. Esta busca de uma conexão com a terra é muito rápida (330.000 km/h) e pouco luminosa para ser visto a olho nu. Quando essa descarga, conhecida como 'líder escalonado', encontra-se a algumas dezenas de metros do solo, parte em direção a ela uma outra descarga com cargas opostas, chamada de 'descarga conectante'. Forma-se então o que é conhecido como o canal do raio, um caminho ionizado e altamente condutor. Por ele passa um gigantesco fluxo de cargas elétricas denominado 'descarga de retorno'. É neste momento que o raio acontece com a máxima potência, liberando grande quantidade de luz.

O raio pisca?

Se houver cargas disponíveis na nuvem, uma outra descarga intensa (chamada 'subseqüente') pode acontecer logo após a primeira. Aproximadamente metade dos raios possui descargas subseqüentes. Eles são chamados de raios múltiplos. Em média o número de descargas subseqüentes em raios múltiplos é três, mas já foram observadas mais de 50 descargas subseqüentes em um mesmo raio. O tempo entre uma descarga e outra é às vezes suficientemente longo possibilitando ao olho humano ver não uma, mas várias descargas acontecendo no mesmo local; é quando vemos o raio piscar.

Sobe ou desce?

As duas coisas. Se pensarmos em termos das cargas elétricas que fluem no raio, concluiremos, como foi explicado anteriormente, que as cargas descem um bom trecho do caminho antes de se encontrarem com uma descarga que parte do solo subindo

em direção a ela para formar o caminho do raio.

Por que os raios se ramificam?

A primeira descarga do raio geralmente apresenta-se muito ramificada pois no seu caminho até o solo as cargas elétricas buscam o caminho mais fácil (em termos de menor resistência do ar) e não o mais curto (que seria uma linha reta). O caminho mais fácil, geralmente em zig-zague, é determinado por diferentes características elétricas da atmosfera, que não é homogênea.

Qual a duração de um raio?

Um raio composto de várias descargas pode durar até 2 segundos. No entanto, cada descarga que compõe o raio dura apenas frações de milésimos de segundo.

Qual a sua voltagem e corrente?

A voltagem de um raio encontra-se entre 100 milhões a 1 bilhão de Volts. A corrente é da ordem de 30 mil Ampères, ou seja, a corrente utilizada por 30 mil lâmpadas de 100 W juntas. Em alguns raios a corrente pode chegar a 300 mil Ampères!

Qual a energia envolvida em um raio?

Grande parte da energia de um raio é transformada em calor, luz, som e ondas de rádio. Apenas uma fração dela é convertida em energia elétrica. Sabemos que a duração de um raio é extremamente curta, assim, apesar dos grandes valores de corrente e voltagem envolvidos a energia elétrica média que um raio gasta é de 300 kWh, ou seja, aproximadamente igual à de uma lâmpada de 100 W acesa durante apenas quatro meses.

É possível utilizar a energia de um raio?

Para que pudéssemos utilizar essa energia, necessitaríamos não só capturá-la mas também armazená-la, o que é ainda impossível. Para capturar raios seria necessária uma quantidade muito grande de hastes metálicas para aumentar a chance de que fossem atingidas. No entanto, encontram-se em andamento pesquisas que

tentam drenar as cargas elétricas das nuvens de tempestade com o auxílio de potentíssimos raios laser. A idéia é tentar, com o auxílio do laser, guiar o raio até um local onde fosse possível armazenar a sua energia.

Qual a sua espessura e comprimento?

O raio pode ter até 100 km de comprimento. Raios com esse comprimento geralmente envolvem mais de uma nuvem de tempestade. Apesar de seu grande comprimento, a espessura do canal de um raio é de apenas alguns centímetros.

Qual a temperatura de um relâmpago?

A temperatura é superior a cinco vezes a temperatura da superfície solar, ou seja, a 30.000 graus Celsius. Quando um raio atinge e penetra solos arenosos a sua alta temperatura derrete a areia, transformando-a em uma espécie de tubo de vidro chamado fulgurito.

O que é o trovão?

Muita gente acha que o trovão é o barulho causado pelo choque entre nuvens. Esta idéia é errada e muito antiga. Lucrécio (98-55 a.C.) acreditava que tanto o raio como o trovão eram produzidos por colisões entre nuvens. Na verdade é o rápido aquecimento do ar pela corrente elétrica do raio que produz o trovão. Assim como uma corrente elétrica aquece a resistência de nossos aquecedores, a corrente do raio, ao passar pelo ar (que é um péssimo condutor), aquece-o e ele se expande com violência, produzindo um som intenso e grave. Nos primeiros metros a expansão ocorre com velocidade supersônica. Um trovão intenso pode chegar a 120 decibéis, ou seja, uma intensidade comparável à que ouve uma pessoa nas primeiras fileiras de um show de rock.

Como saber se o raio "caiu" perto?

A luz produzida pelo raio chega quase que instantaneamente na vista de quem o observa. Já o som (trovão) demora um bom tempo, pois a sua velocidade é aproximadamente um milhão de vezes menor. Para saber a

que distância aconteceu o raio, comece a contar os segundos ao ver o seu clarão e pare de contar ao ouvir o seu trovão. Divida o número obtido por três e você terá a distância aproximada do raio até você em quilômetros. Essa conta se explica se tivermos em conta que a velocidade do som é de aproximadamente 330 m/s, ou seja, um terço de quilômetro por segundo.

Se o raio dura apenas frações de segundo, porque o trovão é tão longo?

O som do trovão inicia-se com a expansão do ar produzida pelo trecho do raio que estiver mais próximo do observador e termina com o som gerado pelo trecho mais distante (sem considerar as reflexões que possa ter). Como vimos, o canal do raio pode ter dezenas de quilômetros. Assim, o som gerado por uma extremidade que esteja muito distante pode chegar dezenas de segundos depois de ouvirmos o som gerado por um trecho do canal que estiver mais próximo.

A que distância pode-se ouvir o trovão?

Um trovão dificilmente pode ser ouvido se o raio acontecer a uma distância maior do que 25 quilômetros. Isso deve-se à tendência que o som tem de curvar-se em direção a camadas de ar com menor temperatura (refração). Como a temperatura da atmosfera geralmente diminui com a altura, o som do trovão curva-se para



Foto do primeiro raio artificial induzido no Brasil.

cima passando por cima do observador.

Além da luz, o raio produz alguma outra radiação?

Além de produzir luz, o raio produz ondas eletromagnéticas em várias outras frequências, inclusive raios-X. É comum ouvirmos ruídos e chiados ao sintonizarmos uma rádio AM em dia de tempestade. Isso ocorre porque o raio também produz ondas nesta faixa de frequência. Graças a essa característica, antenas sincronizadas

podem localizar o local de sua ocorrência com precisão simplesmente recebendo a onda eletromagnética produzida pelos raios.

O que são os raios induzidos?

Uma grande dificuldade no estudo dos raios é não poder reproduzi-los em laboratório. Como a natureza não avisa onde e quando o raio vai ocorrer, uma maneira alternativa de estudá-lo consiste em provocar o raio para que aconteça próximo aos instrumentos de medida e no momento em que estiverem preparados. Para que isso aconteça, foguetes especialmente preparados são lançados em direção à base de uma nuvem de tempestade. Eles têm aproximadamente 1 metro de comprimento e levam consigo uma bobina de fio de cobre que se desenrola ao longo da subida. O fio de cobre atua como um gigante pára-raios cuja presença induz a ocorrência do raio. A corrente elétrica do raio passa pelo fio e por instrumentos de medida na base de lançamentos. Outras medidas podem ser feitas também ao redor da base. Raios induzidos foram feitos pela primeira vez no Brasil na sede do INPE em Cachoeira Paulista, em novembro de 2000.

Notas

Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas na internet: www.lightning.dge.inpe.br e com o autor, Marcelo Saba, pelo e-mail: saba@dge.inpe.br

Osmar Pinto Jr. e Iara de A. Pinto. *Relâmpagos*. Ed. Brasiliense, 1996.



Faça Você MESMO

Material

- caixa de sapato;
- papel vegetal;
- papel alumínio.

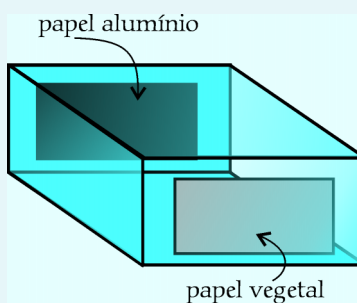
Procedimento

Corte um retângulo grande em um dos lados menores de uma caixa de sapato e cubra-o com papel vegetal. No lado oposto abra um quadrado de 1,5 cm de lado e cubra-o com papel alumínio (ver figura).

Faça um furo pequeno no papel

Imagens Múltiplas

alumínio. Feche a caixa e aponte-a para alguma coisa bem iluminada (ou mesmo o filamento de uma lâmpada



transparente) e veja a imagem formada no papel vegetal. Faça outro furo no papel alumínio.

Observe que...

Para cada furo feito no papel alumínio, aparece uma nova imagem sobre o papel vegetal.

Tópicos de Discussão

- Propagação retilínea da luz
- Formação de imagens na câmara escura
- Princípios da fotografia