

# O poder INESPERADO do atrito

Brasileiros e alemães explicam movimento inesperado de barril em experimento explosivo com bolas de pingue-pongue

Faz alguns anos circulam na internet vídeos de um experimento intrigante, que agora recebe uma explicação física adequada. Nele, uma garrafa plástica com um pouco de nitrogênio líquido transforma um barril cheio de bolas de pingue-pongue em um espalhafatoso canhão. Líquido a temperaturas inferiores a  $-196,15$  graus Celsius, o nitrogênio rapidamente vira gás à temperatura ambiente, sofrendo uma expansão explosiva que lança aos ares milhares de bolas. O experimento já foi feito em programas de TV e parou por instantes um prédio da Universidade de Plymouth, no Reino Unido, quando o químico Roy Lowry o realizou em 2015 ([bit.ly/1PabSI6](http://bit.ly/1PabSI6)). O curioso é que, no momento da explosão, não só as bolas voam. Também o barril sai do chão e sobe, às vezes, a 1 metro de altura, quando, o esperado, era que permanecesse parado ou ricocheteasse.

O experimento aparentemente simples ganhou uma explicação de pesquisadores brasileiros e alemães. Em um artigo publicado em abril no *American Journal of Physics*, o físico gaúcho Jason Gallas, o pernambucano Eric Parteli, e o engenheiro catarinense Daniel Nasato, em parceria com os alemães Thorsten Pöschel e Patric Müller, mostraram que é o atrito entre as bolinhas e entre elas e o barril que faz o tonel voar.

Algumas tentativas de explicação até haviam surgido em fóruns de discussão na internet. Uns sugeriam que a explosão faria o fundo do barril se deformar e pressionar o chão, que, por sua vez, empurraria o tonel para o alto. Outros

Em 2015, o químico Roy Lowry (à esq.) reproduziu o canhão na Universidade de Plymouth

propunham que o conjunto de bolas, ao ser ejetado, formaria um vácuo parcial que arrastaria o barril. Uma terceira explicação era mais complexa. A garrafa de nitrogênio seria colocada flutuando em água. A explosão lançaria as bolas para o alto ao mesmo tempo que pressionaria a água contra o fundo e as paredes do tonel. Ao recuar, a água puxaria o barril para cima, fazendo-o saltar.

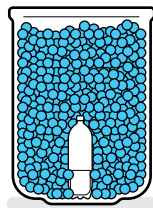
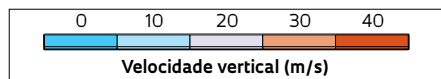
As interpretações explicavam a ascensão do barril em certas condições, mas, segundo os pesquisadores, não eram essenciais para o fenômeno. O barril decolava mesmo sendo de metal e com um fundo rígido. O grupo também não via razão para que o estouro criasse vácuo, uma vez que o ar deslocado é rapidamente preenchido por nitrogênio. Se o vácuo fosse essencial, o barril continuaria saindo do chão mesmo sem as bolas, o que não ocorre. A terceira explicação, para ser válida, exigiria que o tonel inicialmente estivesse distante do chão ou que o piso fosse de material elástico – em muitos experimentos, o barril está sobre um chão rígido e sem água. “Buscávamos uma explicação geral”, conta Nasato, hoje pesquisador na Universidade Técnica de Munique, na Alemanha.

O grupo começou a pensar no assunto em 2011, quando Gallas viu o vídeo pela primeira vez. Ele chegava à Universidade de Erlangen-Nurembergue, Alemanha, para um período como professor visitante e levou o assunto a uma discussão informal de temas da física, o *kaffee seminar*. Thorsten Pöschel, diretor do Instituto de Simulações em Multiescalas da universidade, achou a questão interessante. Como Gallas, ele é especialista no comportamento de materiais granulares (grãos de areia, alimentos e minérios) e suspeitou que o barril saltasse em decorrência de um efeito conhecido na área: o entupimento.

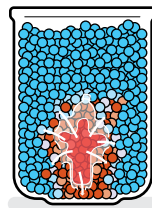
Como não era possível medir todas as forças em ação no experimento, partiu-se para as simulações computacionais. Parteli, hoje na Universidade de Colônia, Alemanha, fez as primeiras, confirmando a suspeita inicial. No entanto, as simulações com os parâmetros do experimento de Plymouth (quantidade de bolas, dimensões e propriedades delas e do barril) tiveram de esperar até a chegada de Nasato a Erlangen para um estágio de pós-doutorado. Nasato, então, obteve resultados realistas, que reproduziram corretamente a altura a que o barril subia.

## Um canhão intrigante

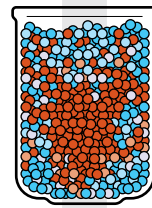
Atrito entre as bolas de pingue-pongue e entre elas e a parede do recipiente explica por que tonel salta



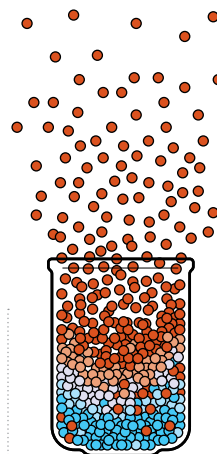
1 Inicialmente em estado líquido, o nitrogênio absorve energia do ambiente e vira gás, expandindo de modo explosivo



2 A explosão empurra para baixo o barril e para o alto as bolas próximas (vermelhas), que se chocam com as mais acima (azuis)



3 Quando o gás escapa, a troca de forças entre as bolas, decorrente do atrito, forma um tampão que se desloca para o alto e arrasta o barril



4 Depois que as bolas do topo escapam, o tampão se desfaz. A gravidade, então, freia o tonel, que volta ao chão

FONTES PÖSCHEL, T. ET AL. AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS. 2019

Com a explosão, as bolas próximas à garrafa são ejetadas a alta velocidade e se chocam com as das camadas mais superiores, que são empurradas para cima e entopem a passagem. A troca de forças entre as bolas, decorrente do atrito, forma o que os físicos chamam de cadeias de força e faz com que, por uma fração de segundo, elas se comportem como um objeto rígido e único – como uma grande rolha – se deslocando a alta velocidade. O atrito entre esse tampão e a parede do barril o arrasta para o alto, até que as bolas do topo escapem e deixem passar as demais.

Não é só isso que explica a ascensão do tonel. Ela também ocorre porque a aceleração das bolas para o alto e a troca de forças entre as bolas e a parede do barril ocorrem em momentos distintos. Logo após a explosão, a expansão do nitrogênio empurra, ao mesmo tempo, tanto as bolas para o alto quanto o fundo do tonel para baixo, o que o manteria no chão. No entanto, depois que o gás escapa e a força exercida por ele cessa, as bolas formando o tampão continuam se deslocando para o alto por inércia. É nesse momento que o atrito entre elas e a parede do barril o arrasta para cima. Após subir por algum tempo, a gravidade desacelera o barril, que volta ao chão.

Para Allbens Atman, físico do Centro Federal de Educação Tecnológica (Cefet) de Minas Gerais e estudioso de meios gra-

nulares, a explicação surpreende. Primeiro, por mostrar que o sistema formado por barril, bolas e garrafa de nitrogênio não está isolado do ambiente, como alguns poderiam pensar. “A temperatura do ambiente ao redor, bem superior à do nitrogênio líquido, fornece a energia que gera a explosão”, explica. “Isso desfaz o paradoxo aparente, que, no primeiro momento, nos leva a perguntar de onde vem a força que ergue o barril.” Segundo porque o atrito é necessário e suficiente para arrastar o barril. Nas simulações, removido o atrito entre as bolas ou entre elas e a parede do barril, o tonel não saía do chão.

“Entender o papel do atrito na interação de materiais granulares pode gerar aplicações industriais”, conta Nasato. Na área farmacêutica, pode ajudar a projetar melhores sistemas de transporte pneumático (por tubos com fluxo de ar) de materiais que não podem ser contaminados, reduzindo o risco de entupimento e quebra do equipamento. Também pode auxiliar no cálculo da velocidade ideal de alimentação dos altos-fornos de refinarias de minério e na produção de pós ultrafinos para a produção de novos materiais. ■

Ricardo Zorzetto

### Artigo científico

PÖSCHEL, T. *et al.* Ping-pong ball cannon: Why do barrel and balls fly in the same direction? *American Journal of Physics*. v. 87, n. 4, p. 255-63. abr. 2019.