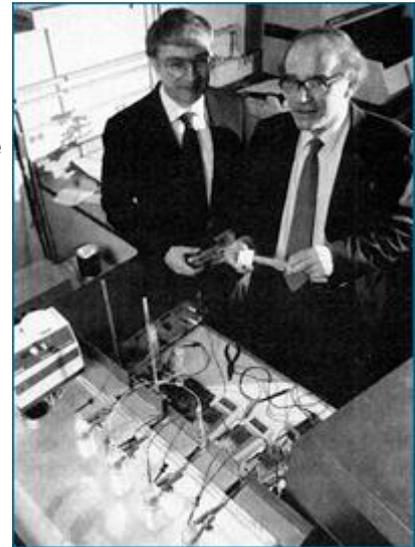
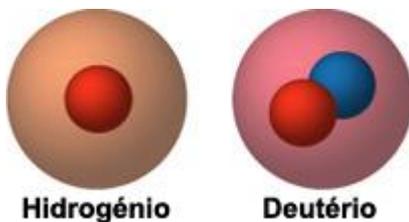


# Fusão fria: Um caso de estudo do comportamento científico

A maioria das pessoas — incluindo cientistas e políticos — reconhece agora que paira no nosso futuro uma grave crise energética. As populações humanas usam uma enorme quantidade de energia, e como a população cresce e os padrões de vida aumentam, vão exigir ainda mais energia. Infelizmente, as fontes de energia atualmente à nossa disposição têm grandes desvantagens a longo prazo. O petróleo é eficiente, mas contribui para a mudança climática e eventualmente vai-se esgotar. O carvão é abundante, mas poluente. A energia solar é atraente, mas apenas disponível em dias de sol — e depois, atualmente é cara! Uma fonte de energia limpa e confiável que não se esgote tão cedo iria resolver os nossos problemas energéticos e revolucionar o mundo. Você pode pensar que tal fonte de energia é um sonho, mas na verdade, ela já foi descoberta — na água do mar! A água do mar contém um elemento chamado deutério — hidrogénio com um neutrão extra. Quando dois átomos de deutério são empurrados de modo a se aproximarem suficientemente, eles fundem-se num único átomo, libertando uma grande quantidade de energia. Infelizmente, descobrir exatamente como obter átomos de deutério suficiente perto uns dos outros — de maneira que não consuma mais energia do que a fusão gera — tem sido um desafio.



Químicos da Universidade de Utah Stanley Pons (à esquerda) e Martin Fleischmann.



Um átomo de hidrogénio tem apenas um único protão no seu núcleo, enquanto que o deutério, um isótopo raro de hidrogénio, tem um protão e um neutrão.

O processo pelo qual dois átomos se unem, ou fundem, num único átomo pesado chama-se fusão. Fusão é a fonte de energia das estrelas, como o nosso Sol — onde ela ocorre a cerca de 15.000.000 °C. Em 1989, os químicos Stanley Pons e Martin Fleischmann fizeram manchetes com a alegação de que tinham produzido fusão à temperatura ambiente — fusão "fria" em comparação com as altas temperaturas que se pensava serem necessárias para o processo acontecer. Era o tipo de descoberta com a qual os cientistas sonham: uma simples [experiência](#) com resultados que poderiam reformular a nossa compreensão

da física e mudar a vida do mundo inteiro. No entanto, faltava um ingrediente fundamental nessa "descoberta": o bom comportamento científico.

Este estudo de caso destaca estes aspetos da natureza da [ciência](#):

- A comunidade científica é responsável por verificar o trabalho dos membros da comunidade. Através da análise dessa comunidade, a ciência corrige-se a si mesma.
- Os cientistas procuram ativamente [evidência](#) para [testar](#) as suas ideias — mesmo que os testes sejam difíceis. Eles esforçam-se por descrever e realizar os testes

que provariam que as suas ideias estão erradas e/ou por permitir que outros o façam.

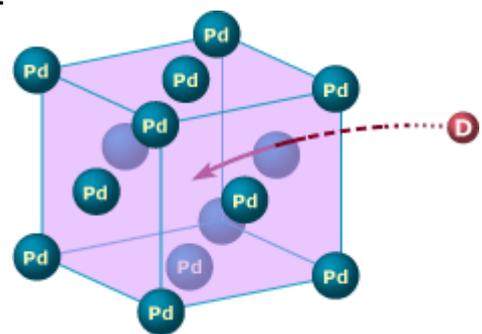
- Os cientistas têm em consideração toda a evidência disponível no momento de decidir se devem [aceitar](#) uma ideia ou não — mesmo que isso signifique abandonar uma [hipótese](#) favorita.
- A ciência baseia-se num equilíbrio entre o ceticismo e a abertura a novas ideias.
- Os cientistas costumam verificar resultados surpreendentes, tentando [replicar](#) o teste.
- Na ciência, as descobertas e ideias devem ser verificadas com múltiplas [linhas de evidência](#).
- Os [dados](#) requerem análise e interpretação. Diferentes cientistas podem interpretar os mesmos dados de maneiras diferentes.

## A ideia engenhosa

Os químicos que alegaram ter resolvido os problemas de energia do mundo com a fusão a frio, Stanley Pons e Martin Fleischmann, formavam um par algo improvável. Pons era um homem calado e modesto de uma pequena cidade na Carolina do Norte. Fleischmann era um europeu extrovertido que exalava confiança e com quase idade para ser pai de Pons. Os dois conheceram-se quando Pons estava a concluir o seu doutoramento na Universidade de Southampton, na Inglaterra, onde Fleischmann era professor. Pons admirava a inteligência e engenhosidade de Fleischmann, e Fleischmann depressa se tornou seu mentor e amigo. Os dois permaneceram próximos ao longo dos anos, à medida que Pons passou de uma posição de estudante de pós-graduação até se tornar professor na Universidade de Utah. Pouco depois de Pons assumir o cargo de professor, os dois começaram a colaborar em projetos de pesquisa.

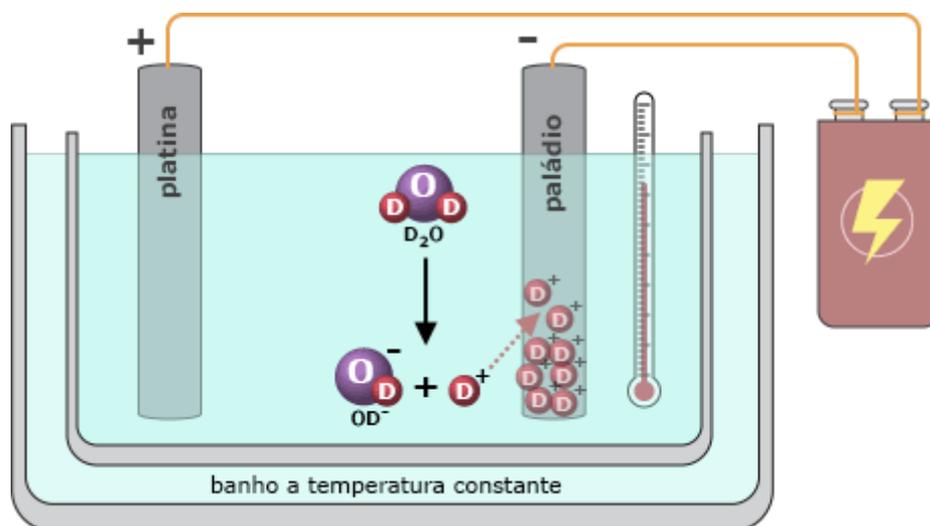
A ideia por trás de sua [experiência](#) de fusão a frio começou depois de outro dos estudos de Fleischmann. No final da década de 1960, Fleischmann tinha usado paládio, um metal raro, como um ingrediente-chave para separar o hidrogénio do deutério. Nessas experiências, viu em primeira mão como o paládio consegue absorver quantidades de hidrogénio invulgarmente grandes — cerca de 900 vezes o seu próprio volume. Isso é um pouco como o

uso de uma única esponja de cozinha para limpar 30 litros de leite derramado! Este poder de absorção extraordinário é devido a uma reação química na superfície do paládio que absorve hidrogénio para dentro do metal. Como o hidrogénio e deutério são tão semelhantes (diferindo apenas por um neutrão), a mesma reação ocorre com deutério — também pode ser absorvido pelo paládio em quantidades surpreendentemente grandes. Fleischmann pensou que, uma vez que o deutério sofre uma redução dramática no volume ao ser absorvido por paládio (por um factor de cerca de 900), os átomos de deutério devem ficar muito apertados dentro do paládio. Ele começou a pensar se um processo semelhante poderia ser usado para forçar átomos de deutério a se aproximarem o suficiente para se fundirem e libertarem energia ...



## De ideia a ação

Fleischmann arquivou as suas ideias sobre fusão até o outono de 1983, quando ele e Pons começaram a falar sobre a possibilidade de utilização de processos químicos (reações entre átomos e moléculas) para desencadear um processo nuclear (mudanças no núcleo dos átomos). Eles decidiram criar uma [experiência](#) completa para [testar](#) a ideia de Fleischmann. Trabalhando no laboratório de Pons, os dois montaram o que chamaram de "célula de fusão." Esta célula consistia de dois pedaços de metal, um de paládio e um outro de platina, submersas num recipiente de água pesada (água em que o hidrogénio de cada molécula de H<sub>2</sub>O é substituído por deutério). Eles sabiam que se eles fizessem passar eletricidade na célula, seria desencadeado um processo químico chamado eletrólise, no qual as moléculas de água pesada se dividiriam, produzindo deutério e oxigénio gasosos. O deutério poderia então ser absorvido no paládio através de uma reação química. Pons e Fleischmann colocaram a [hipótese](#) de que, uma vez dentro do paládio, os átomos de deutério seriam forçados a estar tão próximos que se iriam fundir e libertar grandes quantidades de energia na forma de calor.



Célula de fusão de Pons e Fleischmann.

Pons e Fleischmann mediram a temperatura da célula de forma contínua ao longo da sua operação. Depois de uma análise dos [dados](#), eles descobriram que as células produziam cerca de 100 vezes mais calor do que o que esperaríamos se tomássemos em conta apenas a reação química! Eles interpretaram esse excesso de calor como [evidência](#) para a fusão. Entusiasmados com a possibilidade de que poderiam ter encontrado uma maneira barata de aproveitar a fusão para produção de energia, Pons e Fleischmann estavam ansiosos para testar a sua ideia de forma mais aprofundada. No entanto, mais experiências exigiam mais dinheiro ...



## Colega ou rival?

Com resultados preliminares promissores a apoiar a sua [hipótese](#) de fusão a frio, Pons e Fleischmann pediram um subsídio do governo para obter fundos para novas [experiências](#). Como parte do processo de concessão, a proposta de Pons e Fleischmann teve que passar por um processo de [revisão por pares](#). Um dos revisores era Steven Jones, um físico nuclear da Universidade Brigham Young, a apenas 50 quilómetros de distância. Acontece que Jones e um grupo de colaboradores estavam a trabalhar numa experiência semelhante, mas estavam a estudar uma [linha de evidência](#) diferente. Enquanto Pons e Fleischmann se concentravam em detetar o calor que seria produzido por fusão, o grupo de Jones estava à procura de outro sinal da fusão — neutrões.



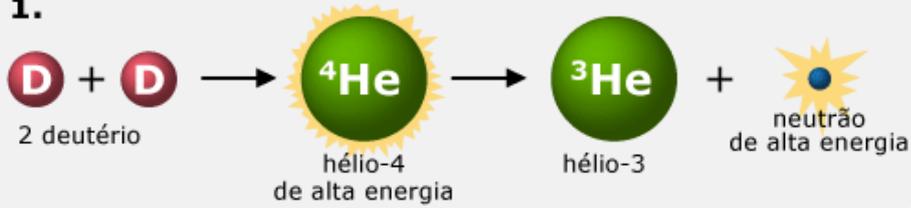
Professor aposentado Steven E. Jones, Brigham Young University.

A [teoria](#) nuclear - a teoria de como os prótons e os neutrões interagem - explica como funciona a fusão e gera muitas [expectativas](#) sobre o que devemos [observar](#) quando a fusão realmente acontece. De acordo com a teoria nuclear, os átomos de deutério fundem-se e libertam energia num processo em duas etapas:

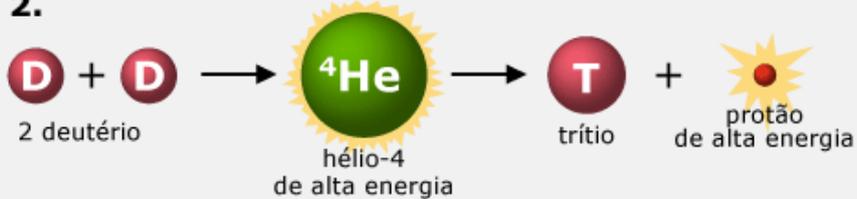
1. Os dois átomos de deutério unem-se para formar um único átomo de hélio-4 (hélio, com dois prótons e dois neutrões).
2. Este átomo de hélio-4 tem uma grande quantidade de energia — tanta energia que é instável. O átomo instável rapidamente liberta algumas desta energia em uma de três maneiras: libertando um neutrão, um próton, ou raios gama (um tipo de radiação eletromagnética).

### Três reações de fusão de deutério:

1.



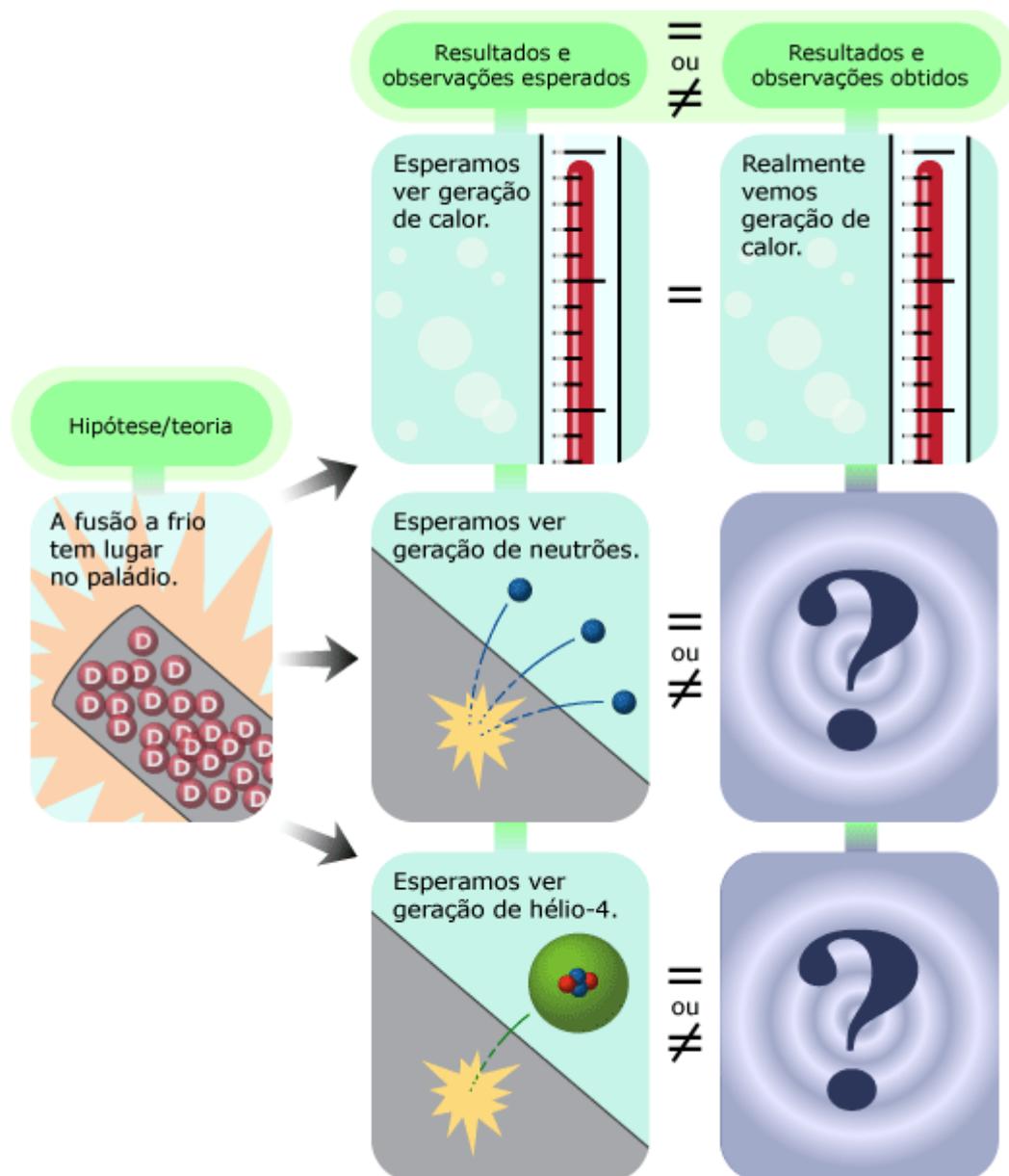
2.



3.



O processo de fusão — a formação de hélio-4 e a subsequente liberação de energia — deve gerar uma grande quantidade de calor. Além disso, a teoria nuclear diz-nos que quantidade de cada produto da fusão devemos esperar observar: para uma dada quantidade de deutério que sofre fusão, devemos ver a produção de número aproximadamente igual de prótons e neutrões, e um número muito menor de raios gama. O calor, neutrões, e hélio-4 poderiam ter sido detetados pelo equipamento disponível na altura. Isso fez com que houvesse pelo menos três linhas de evidência disponíveis para lançar luz sobre se a fusão estava a ocorrer ou não. Detetar esses três produtos na quantidade adequada teria sido uma forte [evidência](#) em favor da ocorrência da fusão a frio.



Usando um novíssimo detetor de neutrões topo de gama de última geração, a equipa de Jones tinha encontrado evidência de um pequeno número de neutrões provenientes da sua célula de fusão. Jones interpretou isso como evidência para a fusão. Apesar deste acordo conceptual que a fusão a frio é possível, os detalhes dos resultados de Jones não batiam certo com as descobertas de Pons e Fleischmann. A quantidade de fusão que Jones pensou que estava a detetar era tão diminuta que não tinha qualquer aplicação prática — enquanto que os resultados de Pons e Fleischmann indicavam que as células de fusão poderiam ser no futuro usadas como fonte de energia, alimentando centrais elétricas inteiras.



Professor Steven Jones e colegas físicos da Universidade Brigham Young com o seu equipamento de deteção de neutrões. A partir da esquerda estão Jones, J. Bart Czirr, Gary L. Jensen, Daniel L. Decker, e E. Paul Palmer.

Uma vez que eles estavam a procurar diferentes linhas de evidência para o mesmo fenómeno, Jones pediu à agência de financiamento, o Departamento de Energia dos Estados Unidos, para informar Pons e Fleischmann sobre sua investigação — e sugerir uma colaboração. Cientificamente falando, colaborar era uma boa ideia. Os cientistas devem compreender a teoria e pesquisa atual nas suas áreas, a fim de garantir que o seu trabalho está atualizado e tem em conta avanços recentes. Apesar de Pons e Fleischmann terem extensa formação em química, nenhum deles tinha estudado física nuclear, que era a área de especialização de Jones. Conhecimentos de física adicional teriam sido especialmente úteis neste caso, porque a hipótese de fusão ocorrer em paládio era deveras pouco convencional. Contrariava todo um conjunto de teorias físicas bem apoiadas — que sugeriam que os átomos de deutério dentro do paládio não iriam aproximar-se o suficiente para se fundirem. Ambos os grupos tinham conhecimento relevante que o outro não tinha. Ao colaborar, eles teriam ampliado a sua compreensão do problema, técnicas e evidência — e estariam em posição de julgar com maior rigor se a fusão estava a ocorrer ou não.

Infelizmente, os benefícios da colaboração não foram suficientes para convencer Pons e Fleischmann a trabalhar com o grupo de Jones. Pons e Fleischmann estavam convencidos de que Jones tinha usado dados recolhidos a partir da candidatura deles para conseguir realizar a sua própria experiência. Eles recusaram-se a colaborar — e ao fazê-lo, perderam uma oportunidade para expandir o conhecimento da sua equipa.

Como é que Pons, Fleischmann e os seus colegas violaram cada uma das diretrizes de bom comportamento científico?

### Código de conduta de um cientista:

1. Prestar atenção ao que outras pessoas já fizeram.

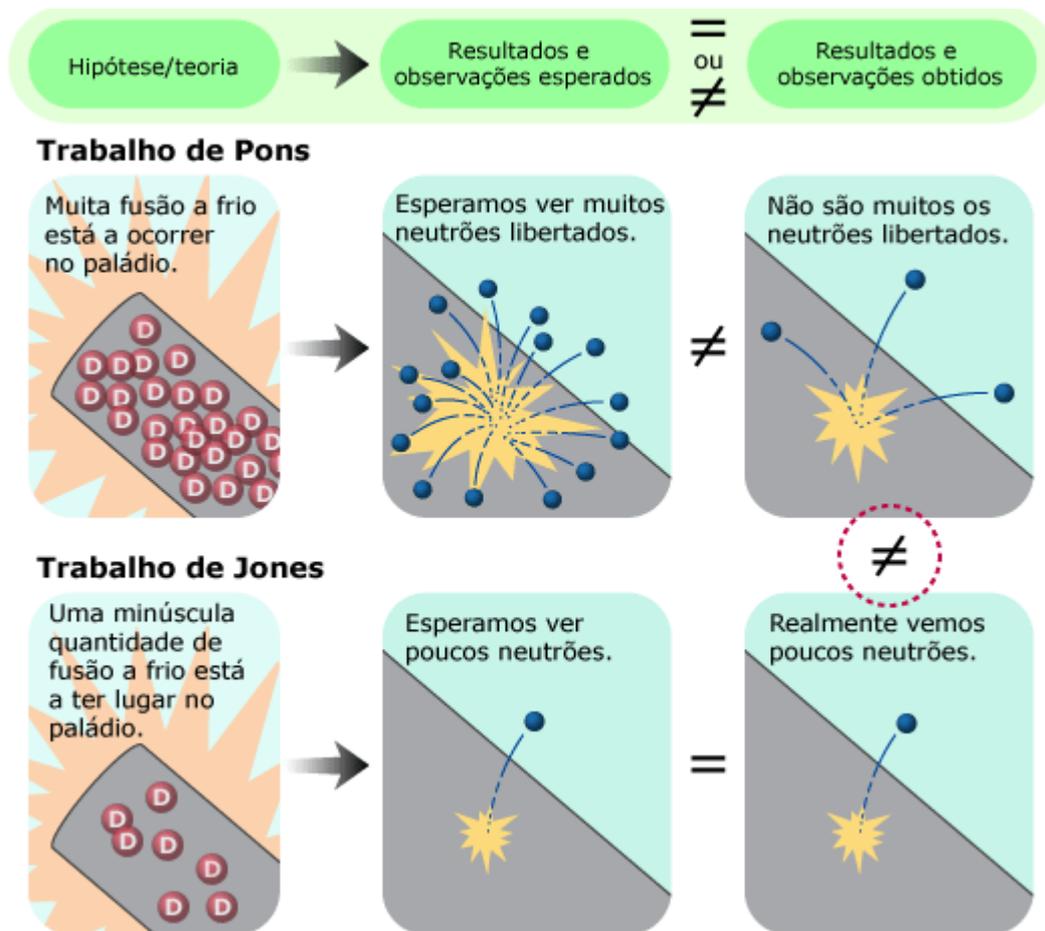


*A falta de conhecimento de Pons e Fleischmann sobre física nuclear (e a recusa a colaborar com outros especialistas) impediu o estudo da fusão a frio.*

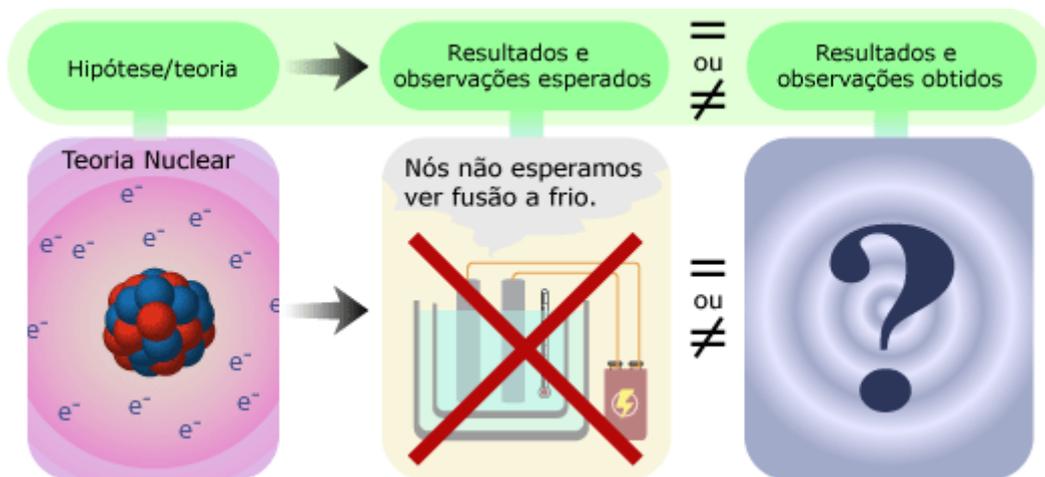
2. Expor as suas ideias a testes.
3. Assimilar a evidência.
4. Comunicar abertamente ideias e resultados.
5. Jogar limpo: Agir com rigor científico.

## Neutrões anómalos

Preocupado com a ideia que Jones os iria ultrapassar, Pons realizou à pressa as suas próprias [experiências](#) de neutrões, mas a sua busca por neutrões não começou bem. Ele foi inicialmente incapaz de detetar qualquer sinal de neutrões libertados a partir da sua célula de fusão a frio, apesar de que o grande número de neutrões produzidos pela fusão devesse ter sido relativamente fácil de detetar. Pons tentou então uma segunda técnica para a deteção de neutrões. Desta vez ele encontrou neutrões — mas uma centena de milhões de vezes *menos* do que o número que ele [esperava](#) detetar! No entanto, isso ainda era muitas vezes mais neutrões do que o número que Jones tinha encontrado. Nada parecia estar a combinar — os resultados de neutrões de Pons não concordavam com as suas medidas de calor, com os resultados de neutrões de Jones, nem com a [teoria](#) nuclear estabelecida, o que sugeria que a fusão não devia, de todo, estar a ocorrer!



Apesar dos seus resultados serem confusos, Pons, Fleischmann, e Jones estavam numa posição excitante. Os seus resultados estavam em conflito com a teoria estabelecida — e tais resultados [anómalos](#), por vezes, levam a grandes avanços científicos. A própria teoria nuclear surgiu desta forma, quando Ernest Rutherford e os seus colegas descobriram que as suas descobertas experimentais não se encaixavam com o modelo estabelecido do átomo. Poderiam os resultados surpreendentes da fusão a frio indicar que a teoria nuclear também precisava de ser repensada? Talvez, mas Pons, Fleischmann, e Jones iriam precisar de evidência forte para apoiar esta conclusão. Tais revoluções teóricas são exceções, não a regra. Os cinquenta anos de trabalho científico e toda a evidência da teoria nuclear indicavam que eles tinham cometido um erro; a fusão não podia estar a ocorrer.



Como cientistas, a linha correta de ação era clara. A conduta científica envolve ceticismo, equilíbrio e mente aberta. Era esperado que os cientistas da fusão a frio mantivessem tanto os novos resultados como a velha teoria em mente, fazendo o seu melhor para recolher mais evidência. Com resultados tão surpreendentes, eles tinham uma responsabilidade ainda maior de realizar [testes](#) completos e cuidadosos para apoiar os seus resultados e eliminar a possibilidade de [erro](#) experimental.

Embora Jones, Pons e Fleischmann soubessem das suas responsabilidades científicas, havia uma nova pressão para publicar rapidamente, pois os dois grupos estavam a competir um com o outro. Em [ciência](#), não é incomum que dois ou mais grupos investiguem o mesmo problema ao mesmo tempo, e assim a ciência tem uma regra para a atribuição de crédito. O primeiro grupo a publicar recebe o crédito por uma nova descoberta. Assim, se Jones ou a equipa Pons/Fleischmann passassem muito tempo a fazer testes adicionais antes de publicar, eles corriam o risco de não receber o devido crédito científico. Além disso, os resultados da Pons e Fleischmann sugeriam a possibilidade de aplicações lucrativas para a geração de energia — e assim eles também estavam preocupados com os direitos de patentes. As normas para a conduta científica (e do tempo necessário para efetuar testes meticulosos) estavam em conflito com o clima de urgência instigado por outros interesses.

Apenas dois meses após Pons e Fleischmann terem tido conhecimento que tinham competição, Jones informou-os que estava preparado para publicar. Jones generosamente propôs que ambos os grupos apresentassem os seus trabalhos à mesma [revista](#), ao mesmo tempo, de modo que o crédito pudesse ser compartilhado. A data de apresentação proposta era apenas 18 dias depois, mas Pons e Fleischmann precisavam de mais 18 meses para concluir os testes. Apesar de este facto reduzir severamente o seu tempo para recolher [dados](#), Pons e Fleischmann sentiram que não tinham escolha e concordaram com a submissão do trabalho conjunto. Eles voltaram para o laboratório, determinados a recolher o máximo de evidência possível nos restantes dias.



Pons (esquerda) e Fleischmann no seu laboratório.

# A pressa de publicar

Embora tivessem acabado de concordar com uma apresentação conjunta daí a 18 dias, e apesar do facto de que eles originalmente tinham estimado necessitar de 18 meses para concluir as suas [experiências](#), Pons e Fleischmann passaram à frente de Jones e submeteram um artigo a uma [revista](#) apenas cinco dias depois. Essa ação rompeu com os padrões de comportamento científico em dois níveis. Primeiro, eles não respeitaram os padrões éticos estabelecidos pela comunidade científica, quebrando o espírito (se não a letra) do seu acordo com Jones. Em segundo lugar, eles não expuseram as suas ideias a um número suficiente de [testes](#). Na pressa de publicar, eles não conseguiram realizar algumas experiências simples e óbvias, cujos resultados teriam fornecido [evidência](#)-chave sobre a validade da [hipótese](#) de fusão a frio. Por exemplo, eles poderiam ter:

*Como é que Pons, Fleischmann e os seus colegas violaram cada uma das diretrizes de bom comportamento científico?*

## Código de conduta de um cientista:

~~1. Prestar atenção ao que outras pessoas já fizeram.~~

2. Expor as suas ideias a testes.

 *Pons e Fleischmann não testaram bem a sua ideia, embora fosse fácil fazê-lo.*

3. Assimilar a evidência.

4. Comunicar abertamente ideias e resultados.

5. Jogar limpo: Agir com rigor científico.

 *Pons e Fleischmann quebraram o seu acordo com Jones.*

- Usado água normal no lugar de água pesada rica em deutério na sua célula de fusão. Na [ciência](#), isto é conhecido como [controle](#). Se a experiência gerasse um excesso de calor — mesmo quando faltava o ingrediente chave, deutério — isso seria uma forte evidência *contra* a ideia de que a fusão é a causa do calor.
- Utilizado um outro metal no lugar de paládio. A sua hipótese baseou-se na grande quantidade de deutério que o paládio poderia absorver. Se outro metal com menor capacidade de absorção pudesse produzir resultados semelhantes, então isso também seria uma forte evidência contra a fusão. Este é outro exemplo de um controle.
- Usado uma técnica mais avançada de medição de calor. Pons e Fleischmann utilizaram uma técnica na qual os gases escapavam da célula de fusão e, em seguida, a quantidade de calor transportado por esses gases era estimada. Se eles tivessem usado uma técnica diferente, em que os gases não escapassem, eles teriam obtido resultados mais precisos.
- Procurado conselhos de especialistas em deteção de neutrões e outros produtos nucleares. Detetar essas partículas não é fácil, e Pons não tinha nenhuma

experiência anterior nesta área. Ainda por cima, o equipamento utilizado por Pons não era muito sensível. Equipamentos mais sensíveis e mais experiência operacional teriam dado mais credibilidade às suas reivindicações.

Pons e Fleischmann submeteram o seu artigo ao *Journal of Electroanalytical Chemistry*, cujo editor sentiu que o peso da potencial descoberta de Pons e Fleischmann merecia um tratamento especial. O editor tratou o artigo através de uma forma abreviada de [revisão por pares](#) — o sistema que a ciência tem para se certificar que os artigos publicados em revistas científicas cumprem bons padrões científicos. A revisão por pares pode apontar uma variedade de deficiências em artigos antes que eles sejam publicados. Por exemplo, os revisores normalmente percebem quando a evidência é insuficiente para sustentar as alegações dos autores (como no caso de Pons e Fleischmann) e sugerem que seja recolhida evidência adicional antes da publicação. Os revisores também consideram falhas potenciais no raciocínio e conceção experimental. Uma avaliação adequada pelos pares poderia ter apontado uma falha grave na lógica de Pons e Fleischmann — eles tinham calculado incorretamente a magnitude das forças que atuam sobre o deutério quando no interior do paládio. O cálculo correto revelou forças muito, muito pequenas — demasiado pequenas para fazer átomos de deutério aproximarem-se o suficiente para ocorrer fusão. No entanto, esta e outras deficiências no artigo de Pons e Fleischmann não foram notadas na revisão apressada. Os revisores tiveram apenas uma semana para examinar o artigo (quando são geralmente permitidas várias semanas) e não lhes foi dada oportunidade de analisar as alterações que os autores fizeram na segunda revisão.<sup>1</sup> Com este período de avaliação tão curto, algumas das verificações normais no processo da ciência não foram feitas, acabando por contribuir para uma confusão desnecessária, assim como para desperdício de tempo, energia e dinheiro.



Não é inteiramente claro por que razão Pons e Fleischmann optaram por publicar muito mais cedo do que tinham inicialmente previsto, mas o impacto no seu estudo é evidente. Muitos cientistas mais tarde criticaram a falta de rigor, bem como a qualidade do seu trabalho. Pons e Fleischmann não tinham realizado as experiências ou a análise com muito cuidado, e um mês após o artigo aparecer, eles tiveram que publicar uma lista de correções de duas páginas, que incluiu modificações importantes nos seus [dados](#). No entanto, antes que a comunidade científica tivesse a possibilidade de avaliar as ideias de Pons e Fleischmann sobre a fusão a frio, os dois trouxeram as suas reivindicações ao conhecimento do público em geral.

# Publicação em conferência de imprensa

Em vez de esperar que a comunidade científica tivesse uma palavra a dizer sobre as reivindicações radicais de Pons e Fleischmann — ou mesmo sobre o artigo a ser publicado — a Universidade de Utah realizou uma conferência de imprensa a anunciar o sucesso da fusão a frio ao mundo. Muito pouca informação concreta foi dada, mas os dois cientistas e funcionários da universidade repetidamente realçaram a quantidade de energia que Pons e Fleischmann pensavam que as suas células de fusão poderiam produzir, no futuro, se fizessem as células maiores e melhores. Isso deu ao público uma visão muito otimista da fusão a frio e despertou muito entusiasmo sobre as possibilidades que se abriam, tudo antes de a comunidade científica ter sequer tido a oportunidade de determinar se a fusão a frio era real.



Pons (direita) e Fleischmann a 23 de março de 1989, na conferência de imprensa da Universidade de Utah. Este vídeo é tirado de um [vídeo da conferência de imprensa](#), visível em Google videos.

## Obstáculo à reprodutibilidade

Divulgar descobertas emocionantes é normal, mas publicidade antecipada, em combinação com reduzida [revisão pelos pares](#), causou alguns problemas neste caso. A comunidade científica estava em alvoroço após a conferência de imprensa. Pons e Fleischmann tinham feito afirmações extraordinárias, mas porque o artigo ainda não estava disponível, a comunidade científica não tinha meio de avaliar o trabalho apresentado no artigo — muito menos tentar [replicar](#) o trabalho.

*Como é que Pons, Fleischmann e os seus colegas violaram cada uma das diretrizes de bom comportamento científico?*

### Código de conduta de um cientista:

- ~~⊗ Prestar atenção ao que outras pessoas já fizeram~~
- ~~⊗ Expor as suas ideias a testes.~~
- 3. Assimilar a evidência.
- 4. Comunicar abertamente ideias e resultados.
- ⊗ Pons e Fleischmann recusaram revelar os detalhes do seu teste a outros cientistas.**
- ~~⊗ Jogar limpo: Agir com rigor científico.~~

Embora o processo da [ciência](#) não exija que cada [experiência](#) seja replicada, com resultados tão surpreendentes como os de Pons e Fleischmann — resultados que contradiziam uma [teoria](#) bem fundamentada — isso é obrigatório. Afinal, a ciência tem como objetivo descobrir as regras inalteráveis pelas quais o universo opera. Isto significa que um fenómeno deve funcionar da mesma maneira, independentemente de quem está a fazer o [teste](#) e onde. A teoria nuclear tinha passado neste teste, mas ainda era preciso ver se a fusão a frio também iria passar.

O trabalho de Pons e Fleischmann estava ainda a várias semanas da publicação, mas isso não deteve os cientistas. Cópias não autorizadas do artigo começaram a circular dentro da comunidade científica por fax — mas quando outros cientistas tentaram recriar a mesma experiência, eles descobriram que o artigo não descrevia todos os detalhes relevantes. Isso não é muito incomum na ciência atual. Muitos procedimentos são complexos e descrevê-los totalmente levaria muitas páginas. Em tais circunstâncias, é esperado que os autores forneçam os pormenores relevantes, mediante pedido. No entanto, Pons e Fleischmann recusaram-se a fornecer essas informações quando solicitados. Funcionários da Universidade de Utah revelaram mais tarde que haviam instruído Pons e Fleischmann para não dar muitos detalhes antes de terem obtido uma patente. A retenção de informações como estas obstrui o processo científico, protegendo as ideias de serem testadas. Mas também este obstáculo seria insuficiente para fazer parar a comunidade científica ...

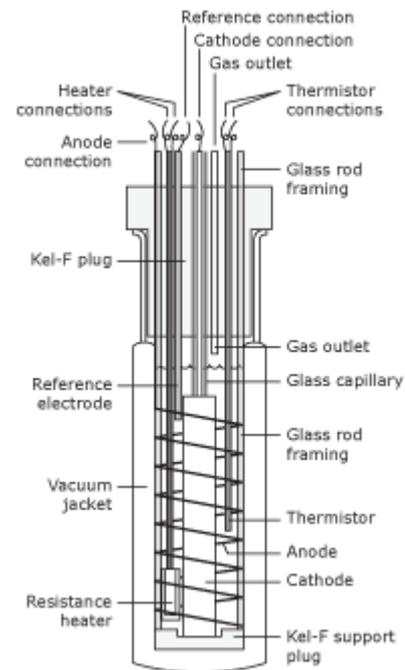


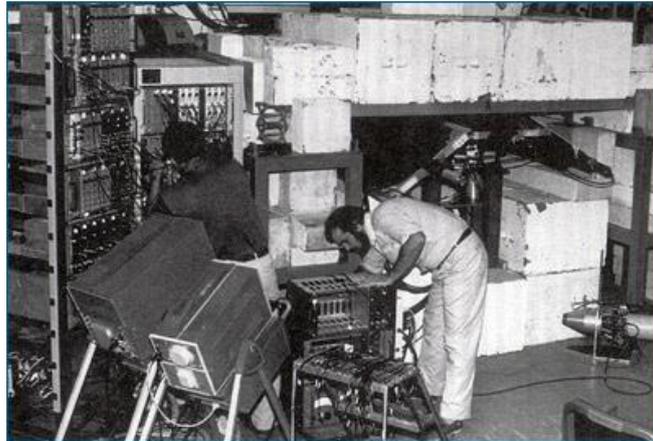
Diagrama detalhado das células de fusão a frio de Pons e Fleischmann, de um de seus artigos publicados.

## Análise criteriosa

Além de tentar [replicar](#) a [experiência](#) de Pons e Fleischmann — tentativas que haviam sido frustradas por falta de informação — os cientistas também tentaram verificar o trabalho de outras formas, examinando o artigo da fusão a frio para tentar identificar potenciais fontes de [erros](#). Muitos dos problemas que encontraram provavelmente teriam sido detetados numa [revisão por pares](#) completa, e alguns erros eram surpreendentemente simples. Por exemplo, os cientistas observaram que Pons e Fleischmann não tinham agitado a água pesada dentro das suas células de fusão. Assim como não mexer uma panela de sopa no fogão provavelmente leva a ter algumas partes frias e outras quentes, não agitar a água numa célula de fusão leva a distribuição de calor desigual e medições de temperatura imprecisas.

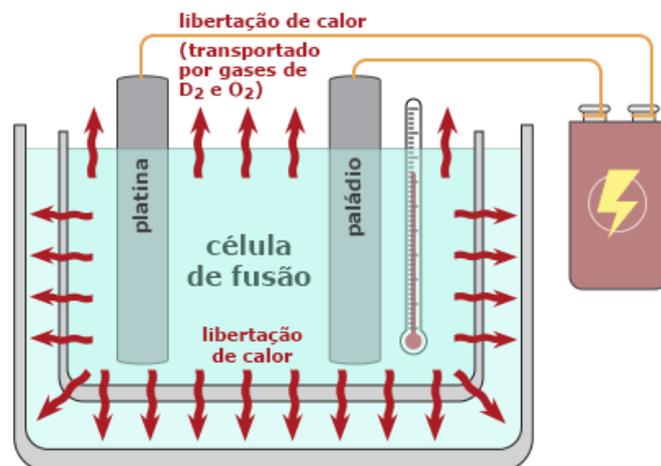
Outros continuaram a tentar replicar os resultados experimentando várias combinações experimentais diferentes, na esperança de acertar na usada por Pons e Fleischmann. Os resultados iniciais foram inconclusivos. Enquanto a maioria dos grupos de investigação relataram não ter visto [evidência](#) de fusão, alguns grupos reivindicaram ter observado o excesso de calor e/ou neutrões provenientes das suas células de fusão. No entanto, estes grupos estavam em conflito uns com os outros sobre as condições necessárias para a

fusão. Por exemplo, alguns descobriram que foram necessários meses para as reações nucleares começarem, outros notaram resultados ao fim de algumas horas. E, muitas vezes, esses grupos não conseguiam replicar os seus próprios resultados.



Uma equipa de cientistas da Yale University, Brookhaven National Laboratory e da Brigham Young University foi um dos grupos que tentou replicar os resultados de Pons e Fleischmann. Aqui, membros da equipa ajustam os componentes eletrónicos da sua configuração experimental.

Como foi possível obter resultados tão variados em experiências tão semelhantes? Alguns dos resultados foram simplesmente erros. Várias das confirmações dos resultados de Pons e Fleischmann tiveram que ser retratadas devido a erros — por exemplo, quando alguém se esqueceu de conectar uma ligação fundamental na montagem experimental. Outras discrepâncias foram devidas a diferenças na análise de [dados](#). Os cientistas recolhem dados "brutos" — que devem ser analisados e interpretados antes que possam dizer algo significativo sobre o [teste](#). Por exemplo, muitos dos cientistas de fusão a frio, incluindo Pons e Fleischmann, tentaram avaliar se a fusão estava a acontecer através da medição do calor produzido pela célula. Isto parece ser simples — bastaria medir a temperatura da célula — mas, na verdade, não é. A célula dissipa o calor no meio envolvente, e um pouco desse calor é levado por gases que se escapam. O impacto destes fatores tem de ser cuidadosamente estimado e tido em conta na análise de dados. Se dois grupos lidarem com estes ajustes de forma diferente nas suas análises, eles podem chegar a conclusões diferentes sobre os resultados experimentais.



Para realmente saber quanto calor está a ser produzido pela célula de fusão, é necessário estimar a quantidade de calor que escapa dela.

Os cientistas também podem fazer interpretações diferentes dos mesmos dados analisados. Um grupo foi capaz de mostrar que Pons e Fleischmann tinham interpretado mal os dados da sua pesquisa de neutrões. À primeira vista, os dados parecem mostrar evidência clara de neutrões — mas se os neutrões realmente estivessem lá, levariam a uma série de reações com a água ao redor da célula — e nos dados de Pons e Fleischmann não havia qualquer evidência do último elo nessa cadeia de reações. Investigações posteriores revelaram problemas com o equipamento utilizado para recolher os dados de neutrões. Assim, parece que os dados de Pons e Fleischmann teriam sido mais razoavelmente interpretados como evidência de erros do equipamento, e não como evidência em favor da [hipótese](#) da fusão a frio.

## A pressão dos colegas

Ao longo dos meses seguintes, os cientistas realizaram [experiências](#) mais sofisticadas e sensíveis relevantes para as questões levantadas pela fusão a frio, mas foram incapazes de encontrar qualquer [evidência](#) que lhe desse apoio. As coisas não estavam a correr bem para a fusão a frio. No entanto, ainda havia a possibilidade de que não se conseguisse [replicar](#) os resultados — não por causa de fusão a frio não estar a acontecer — mas porque os outros cientistas não estavam a reproduzir exatamente as condições da experiência original. Era possível que Pons e Fleischmann tivessem feito algo especial na sua experiência que eles não tinham revelado, ou do qual não tivessem consciência, e que fosse esse "algo especial" que estava a levar à fusão a frio. A melhor maneira de [testar](#) isso seria permitir que especialistas independentes procurassem produtos de fusão nuclear nas células de fusão de Pons e Fleischmann. Muitos cientistas ofereceram-se para colaborar, mas as suas ofertas foram recusadas. Pons e Fleischmann estavam ativamente a impedir a realização de testes que poderiam lançar luz sobre se a sua [hipótese](#) estava correta ou não.

*Como é que Pons, Fleischmann e os seus colegas violaram cada uma das diretrizes de bom comportamento científico?*

### Código de conduta de um cientista:

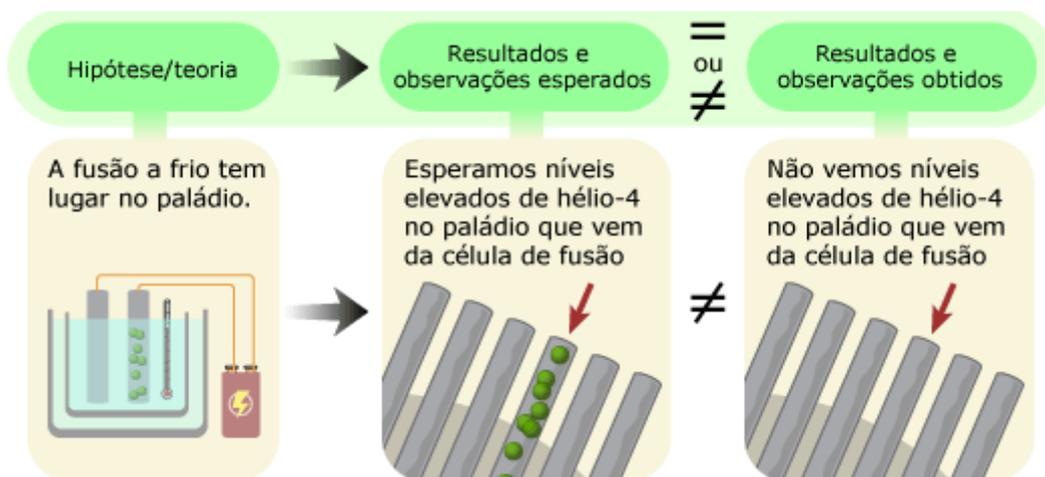
- ~~1. Prestar atenção ao que outras pessoas já fizeram.~~
- 2. Expor as suas ideias a testes.
  - 1. Pons e Fleischmann recusaram que outros cientistas procurassem por produtos de fusão nas suas células.**
- 3. Assimilar a evidência.
  - ~~1. Comunicar abertamente ideias e resultados.~~
  - ~~2. Jogar limpo. Agir com rigor científico.~~

Depois de meses sem resolução quanto a saber se a fusão a frio era real, a comunidade científica começou a insistir que esses testes fossem feitos. Não há um governo da ciência que pudesse forçar Pons e Fleischmann a realizar os testes, no entanto, a comunidade científica *pode* aplicar pressão para manter os padrões de boa ciência, retendo consideração e respeito, financiamento, ou postos de trabalho, e sendo

particularmente cética em relação a investigação realizada com padrões baixos. Só depois de uma pressão significativa por parte da comunidade científica é que Pons e Fleischmann concordaram finalmente em realizar os testes.

Um estudo complementar envolveu busca de hélio-4, um dos produtos da reação de fusão. Foi considerado possível que as pesquisas de neutrões tivessem falhado porque o hélio ficava retido nas varas de paládio e não libertava o seu excesso de energia na forma de neutrões, mas de outra maneira. Pons e um grupo de outros cientistas decidiram testar o hélio em cinco varas de paládio, dos quais apenas uma tinha sido utilizada na célula de fusão de Pons e Fleischmann. Se a fusão tivesse de facto ocorrido, então apenas a vara de fusão deveria ter níveis elevados de hélio. Para reduzir a possibilidade de ideias preconcebidas afetarem os resultados, eles decidiram fazer um "[estudo em dupla ocultação](#)". Pons daria as varas a um intermediário, que iria distribuir segmentos de todas as cinco varas a seis laboratórios diferentes. Nem o intermediário, nem os laboratórios que iam realizar os testes saberiam qual vara era qual, e Pons não seria capaz de inadvertidamente influenciar os laboratórios quando lhes desse as varas.

Os seis laboratórios testaram cada um dos segmentos da vara para verificar a presença de hélio, e entregaram os seus resultados ao intermediário, que se encontrou com Pons para trocar os resultados e a informação sobre as varas. Pons tinha inicialmente concordado em revelar qual vara tinha sido utilizada numa célula de fusão neste momento, mas mudou de ideias e manteve os detalhes para si mesmo. Ele analisou os [dados](#) de hélio e viu que a vara de fusão não tinha níveis elevados de hélio. O estudo não apoiou a fusão a frio.



Embora estes resultados possam parecer claros e definitivos, Pons colocou dúvidas sobre eles quando foram finalmente divulgadas. Ele explicou que a vara de fusão particular que ele tinha enviado para análise não tinha produzido tanto calor como ele tinha dito em conferências científicas recentes. Isto foi problemático em vários níveis. Se não tinha acontecido muita fusão naquela vara, então isso explicaria por que é que ela não tinha níveis elevados de hélio. Mas então por que é que Pons tinha sabotado o estudo de hélio, fornecendo uma vara inadequada? E por que é que ele tinha relatado níveis tão elevados de calor para a sua experiência de fusão original? Estaria Pons a manipular os dados?

# Ainda sem neutrões

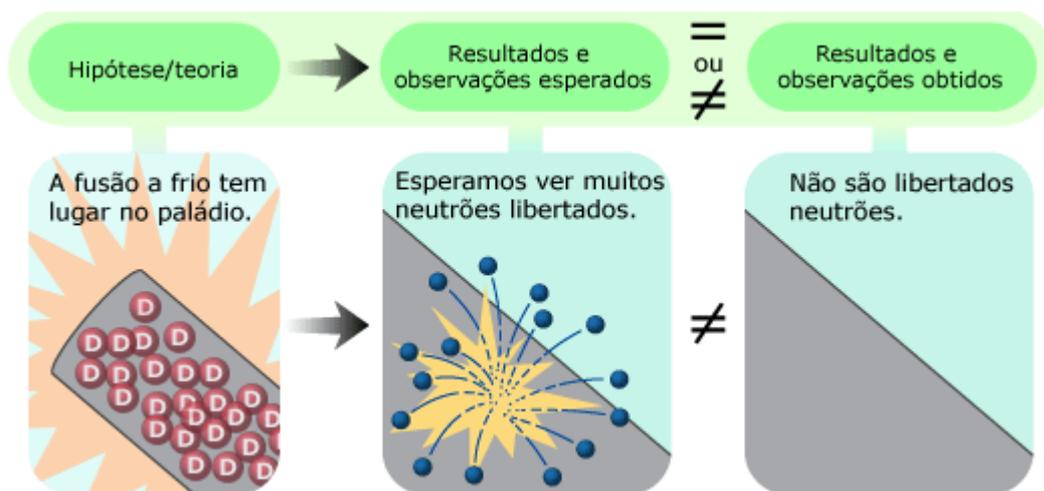
Num último esforço para validar os resultados da fusão a frio, O colega e professor da Universidade de Utah Michael Salamon foi autorizado a entrar no laboratório de Pons para realizar [experiências](#) para procurar neutrões provenientes das células de fusão usadas por Pons e Fleischmann. Se *alguma* experiência poderia, de certeza, [replicar](#) as condições do estudo original, seria esta. Durante um longo [teste](#) de cinco semanas, Salamon foi incapaz de detetar neutrões.



Michael Salamon, agora na NASA, em 2009.

Pons tentou lançar dúvidas sobre estes resultados, alegando que as células não estavam a produzir o excesso de calor (e, portanto, que a fusão não estava a acontecer) durante essas cinco semanas, exceto durante um período de duas horas que coincidiu com um corte de energia. No entanto, um dos instrumentos de Salamon ainda era capaz de recolher [dados](#) sobre neutrões durante a interrupção. Não surpreendentemente, não foi observado aumento nos níveis de neutrões. Pons chegou a tentar censurar os dados de Salamon, ameaçando tomar medidas legais se Salamon não retirasse voluntariamente o seu relatório. Tais tentativas de controlo de informação são uma grave violação da ética científica e apresentam um obstáculo ao progresso científico.

Apesar de toda a [evidência](#) contra eles — conflito com a [teoria](#) estabelecida, os problemas com as experiências originais, várias tentativas de replicação falhadas, e até mesmo os testes que sugeriam que as experiências originais não tinham produzido fusão — Pons e Fleischmann recusaram-se a ajustar a sua [hipótese](#) sobre a fusão em paládio e, desta forma, romperam com os padrões de bom comportamento científico. Embora os cientistas devam ter a mente aberta sobre novas ideias, quando várias [linhas de evidência](#) se acumulam contra elas, até mesmo as hipóteses mais intrigantes devem ser abandonadas.



Como é que Pons, Fleischmann e os seus colegas violaram cada uma das diretrizes de bom comportamento científico?

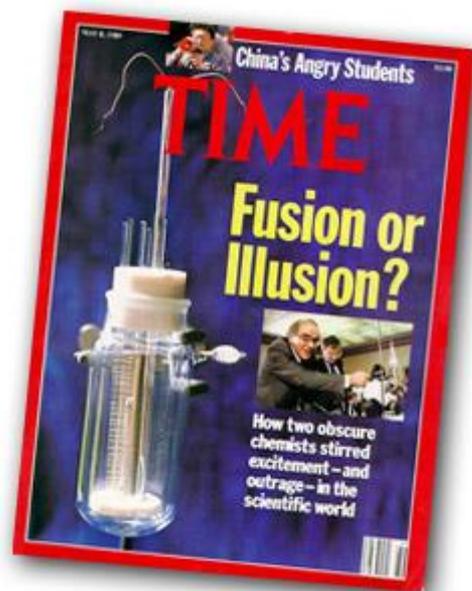
### Código de conduta de um cientista:

- ~~⊗ Prestar atenção ao que outras pessoas já fizeram.~~
- ~~⊗ Expor as suas ideias a testes.~~
- 3. Assimilar a evidência.
  - ~~⊗ Apesar da evidência contra eles, Pons e Fleischmann recusaram-se a desistir da ideia de que eles tinham produzido fusão a frio.~~
- ~~⊗ Comunicar abertamente ideias e resultados.~~
- ~~⊗ Jogar limpo: Agir com rigor científico.~~

## O nevoeiro dissipa-se

Um ano após a conferência de imprensa que tinha atraído tanta atenção para Pons e Fleischmann, o processo científico finalmente tinha sido capaz de organizar e analisar a [evidência](#) respeitante à fusão a frio. Poucos grupos tinham encontrado apoio para a [hipótese](#), e esses poucos tiveram resultados inconsistentes e não conseguiam reproduzir com fiabilidade as suas conclusões. A falta de evidência [replicável](#) foi um grande golpe para fusão a frio. As [leis](#) da natureza não têm favoritos. Se a fusão a frio funciona num laboratório sob um determinado conjunto de condições, seria de [esperar](#) que funcionasse outra vez noutros laboratórios nas mesmas condições. Assim, a falta de reprodutibilidade é um problema sério para qualquer descoberta científica, lançando dúvidas sobre a validade do resultado original e sugerindo que houve uma má interpretação do que se passava. No caso de Pons e Fleischmann, a falta de reprodutibilidade indicou que o que quer que fosse que tivessem inicialmente detetado, provavelmente não era fusão a frio. Esta interpretação também é apoiada pelo facto de que cientistas independentes não encontrarem qualquer evidência de que as próprias células de Pons e Fleischmann tivessem realmente produzido fusão. À luz de todas estas evidências, a maioria dos cientistas consideraram os resultados de Pons e Fleischmann como um [erro](#) experimental.

Um erro como este, normalmente, é detetado antes de causar um alvoroço tão grande na comunidade científica. No entanto, no caso da fusão a frio, as verificações inerentes ao processo da [ciência](#) foram enfraquecidas quando Pons, Fleischmann, e outros, apanhados na excitação, romperam com as normas de boa conduta científica. Embora o processo da ciência seja resistente a um único, ou mesmo alguns, desvios das boas práticas, a convergência de várias infrações pode dificultar o processo. O editor da [revista](#), que permitiu que o artigo original fosse publicado com uma [revisão por pares](#) mínima, não seguiu as normas que a ciência estabelece para essas publicações. Pons e Fleischmann retiveram detalhes experimentais da comunidade e tentaram evitar que as suas ideias fossem [testadas](#). Eles e os outros cientistas que "reproduziram" a fusão a frio, para depois retirar os seus resultados, não conseguiram realizar testes adequados para avaliar as suas ideias. E, claro, o comportamento de Pons durante a experiência de hélio, assim como o acordo de publicação quebrado com Jones, roçou a desonestidade. É importante notar que, mesmo com esse tipo de comportamentos não-científicos, o processo da ciência ainda *funcionou*. No espaço de um ano, a comunidade científica tinha investigado as alegações de Pons e Fleischmann e chegado ao consenso de que o que tinha sido [observado](#) não era fusão a frio. Mesmo assim, ainda houve um preço a pagar por esta conduta: tempo, energia, e dinheiros públicos ultrapassando os 100 milhões de dólares foram desperdiçados na fusão a frio.



### **Código de conduta de um cientista:**

- ~~⊗ Prestar atenção ao que outras pessoas já fizeram.~~
- ~~⊗ Expor as suas ideias a testes.~~
- ~~⊗ Assimilar a evidência.~~
- ~~⊗ Comunicar abertamente ideias e resultados.~~
- ~~⊗ Jogar limpo: Agir com rigor científico.~~

Pons e Fleischmann causaram alguns danos difíceis de quantificar. Talvez o mais preocupante é o efeito que este desastre teve sobre a perceção pública da ciência. As declarações pouco claras de Pons e Fleischmann na conferência de imprensa, que enfatizavam apenas os benefícios futuros da fusão a frio, e não a fase inicial de investigação, contribuíram para a mediatização nos meios de comunicação social, e aumentaram as expetativas da sociedade, de forma injustificada. Essas expetativas não satisfeitas, juntamente com acusações de fraude e desonestidade, fragilizam a confiança do público na ciência. Porque a ciência está tão profundamente interligada com a comunidade em geral, a [má conduta científica](#) tem implicações muito além do grupo de físicos e químicos que estudam a fusão a frio.

Apesar de tudo isso, alguns cientistas continuam a investigar a possibilidade de fusão a frio. A ciência não desiste de ideias que têm mérito, mesmo quando sofrem recuos. Todo o conhecimento científico é, afinal, tentativo. Assim, embora não haja qualquer razão para pensar que o que Pons e Fleischmann observaram era a fusão a frio, alguns cientistas (embora uma pequena minoria da comunidade da física) continuam a investigar se a fusão a frio é possível ou não. Mas para convencer o resto da comunidade física, eles precisam encontrar muitas [linhas de evidência](#) sólidas para apoiar os seus pontos de vista.

#### QUER SABER MAIS? VERIFIQUE ESTAS REFERÊNCIAS (em inglês)

##### Relatos populares e históricos:

- Huizenga, J. 1993. *Cold Fusion: The Scientific Fiasco of the Century*. New York: University of Rochester Press.
- Taubes, G. 1993. *Bad Science: The Short Life and Weird Times of Cold Fusion*. New York: Random House.

##### Alguns trabalhos científicos:

- Fleischmann, M., and S. Pons. 1989. Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 261:301-308.
- Jones, S.E., E.P. Palmer, J.B. Czirr, D.L. Decker, G.L. Jensen, J.M. Thorne, S.F. Taylor, and J. Rafelski. 1989. Observation of cold nuclear fusion in condensed matter. *Nature* 388:737-740.