

Efeito Mpemba e o ensino de física: tradução do artigo “Cool?”



.....
E.B. Mpemba¹, D.G. Osborne²

¹College of African Wildlife Management, Moshi, Tanzania.

²University College Dar es Salaam, Dar es Salaam, Tanzania.
.....

Palavras-chave

efeito Mpemba
ensino de física
calorimetria
termodinâmica

Resumo

Este é um trabalho de tradução do artigo original em inglês intitulado “Cool”, de 1969, que descreveu pela primeira vez o que viria ser conhecido como Efeito Mpemba.

1. A questão

Meu nome é Erasto B Mpemba, e vou lhe contar sobre minha descoberta, que ocorreu devido ao mau uso de uma geladeira. Todos vocês sabem que é aconselhável não colocar coisas quentes em uma geladeira, pois de alguma forma isso a danifica e ela não irá durar muito tempo.

Em 1963, quando eu estava no terceiro ano na Escola Secundária¹ Magamba, na Tanzânia, costumava fazer sorvete. Os meninos da escola faziam isso fervendo leite, misturando-o com açúcar e colocando-o na câmara de congelamento da geladeira, após primeiro ter esfriado quase à temperatura ambiente. Muitos meninos o faziam e havia uma corrida para conseguir espaço na geladeira.

Eu perguntei ao meu professor de física por que isso aconteceu, com o leite quente congelando primeiro, e a resposta que ele me deu foi: Você estava confuso, isso não pode acontecer

Um dia, após comprar leite das mulheres locais, comecei a fervê-lo. Outro garoto, que havia comprado leite para fazer sorvete, correu para a geladeira quando me viu fervendo o leite e misturou rapidamente o leite com açúcar e o despejou na forma de gelo sem ferver, para que ele não perdesse sua oportunidade [de produzir picolés]. Sabendo que se esperasse o leite fervido esfriar antes de colocá-lo na geladeira eu perderia a última forma de gelo disponível, decidi arriscar estragar a geladeira naquele dia, colocando leite quente nela. O outro garoto e eu voltamos uma hora e meia depois e descobrimos que minha forma de leite tinha congelado em sorvete, enquanto a dele ainda estava apenas um líquido espesso, ainda não congelado.

Tradução/adaptação de André Luís Miranda de Barcellos Coelho - Universidade de Brasília, Brasil. E-mail: andre.coelho@unb.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Eu perguntei ao meu professor de física por que isso aconteceu, com o leite quente congelando primeiro, e a resposta que ele me deu foi: “Você estava confuso, isso não pode acontecer”. Então, eu acreditei na resposta dele.

Nas minhas próximas férias, encontrei um amigo meu que trabalha como cozinheiro na cidade de Tanga². Ele costumava fazer e vender sorvetes, já que faz muito calor em Tanga. (Ele me disse que às vezes conseguia um lucro de vinte xelins³ por dia apenas vendendo sorvetes.) Perguntei a ele quanto tempo levava para prepará-los, e ele respondeu: “Eu apenas fervero o leite com açúcar e depois adiciono suco de abacaxi e coloco a mistura na geladeira enquanto está quente, e os sorvetes estão prontos em pouco tempo”. “Quem lhe deu a ideia de colocar líquidos quentes na geladeira?” perguntei a ele. “Meu irmão, que tem feito sorvetes nos últimos cinco anos, me disse que funciona mais rápido dessa maneira”. Então, lembrei-me daquele incidente que aconteceu quando eu estava fazendo sorvetes. De outro jovem que também vende sorvetes em Tanga, obtive a mesma resposta, a de que se você usar leite quente seus sorvetes congelarão mais rapidamente.

No entanto, eu não me incomodei em tentar repetir a fabricação de sorvete usando leite quente e frio.

Após passar no meu exame de nível 0, fui escolhido para ir para a Escola Secundária Mkwawa em Iringa⁴. Os primeiros tópicos com os quais lidamos foram sobre o calor. Um dia, enquanto nosso professor nos ensinava sobre a lei do resfriamento de Newton, fiz a pergunta: “Por favor, senhor, por que, quando você coloca leite quente e leite frio na geladeira ao mesmo tempo, o leite quente congela primeiro?” O professor respondeu: “Eu não acho que seja assim, Mpemba”. Continuei: “É verdade, senhor, eu mesmo fiz isso”, e ele disse: “A resposta que posso dar é que você estava confuso”. Continuei argumentando, e a resposta final que ele me deu foi: “Bem, tudo o que posso dizer é que isso é a física de Mpemba e não a física universal”. A partir de então, se eu cometesse um erro em um problema ao consultar os logaritmos, esse professor costumava dizer: “Isso é a matemática de Mpemba”.

E a turma inteira adotou isso, e toda vez que eu fazia algo errado, eles costumavam me dizer “Isso é o ... ‘de Mpemba’”, qualquer que fosse a coisa.

Então, uma tarde, encontrei o laboratório de biologia aberto e não havia professor. Peguei dois béqueres de 50 cm³ [ou 50 mL], enchi um de água fria da torneira e o outro de água quente de um aquecedor e os coloquei

rapidamente na câmara de congelamento da geladeira do laboratório. Após uma hora, voltei para verificar e descobri que nem toda a água havia se transformado em gelo, mas que havia mais gelo no béquer que continha água quente do que no que continha água fria. Isso não era realmente conclusivo. Portanto, planejei tentar novamente quando tivesse a chance.

Quando o Dr. Osborne visitou nossa escola, tivemos permissão para fazer algumas perguntas a ele, principalmente sobre física. Perguntei: “Se você pegar dois recipientes semelhantes com volumes iguais de água, um a 35 °C e o outro a 100 °C, e colocá-los em uma geladeira, o que começou a 100 °C congela primeiro. Por quê?”. Primeiro, ele sorriu e pediu para eu repetir a pergunta. Depois de repeti-la, ele disse: “Isso é verdade? Você fez isso?”. Eu disse: “Sim”. Então ele disse: “Eu não sei, mas prometo tentar esse experimento quando estiver de volta à [Universidade de] Dar es Salaam”.

No dia seguinte, meus colegas de classe do sexto ano estavam dizendo que eu os envergonhei ao fazer essa pergunta e que meu objetivo era fazer uma pergunta que o Dr. Osborne não conseguiria responder. Alguns me disseram: “Mas Mpemba, você entendeu o capítulo sobre a lei do resfriamento de Newton?”. Eu disse a eles: “A teoria difere da prática”. Alguns disseram: “Não nos surpreendemos, afinal, essa foi a física de Mpemba”.

Pedi à chefe da equipe da cozinha da escola para me permitir usar uma geladeira para esse experimento. Ela me cedeu o uso de uma geladeira inteira por uma semana. Primeiro, fiz o experimento sozinho, porque tinha medo de que, se falhasse, alguém mais contasse para toda a escola que eu estava apenas sendo tolo naquele dia em que fiz a pergunta. Mas meus resultados foram os mesmos. No dia seguinte, levei três meninos comigo, entre aqueles que tinham desprezado minha pergunta, e realizamos o experimento. Descobrimos que o gelo começou a se formar primeiro no leite quente.

Esses três meninos riram muito e começaram a contar para os outros que eu estava certo, mas que mal conseguiam acreditar. Alguns disseram que era impossível. Eu disse ao chefe do departamento de física da minha escola que o experimento havia funcionado, e ele disse: “Não deveria, vou tentar isso à tarde”. No entanto, mais tarde, ele obteve o mesmo resultado.

2. A resposta?⁵

O diretor da Escola Secundária Mkwawa me convidou para falar com os alunos sobre física e desenvol-

Por favor, senhor, por que, quando você coloca leite quente e leite frio na geladeira ao mesmo tempo, o leite quente congela primeiro? O professor respondeu: Eu não acho que seja assim, Mpemba

Parecia um acontecimento improvável, mas o estudante insistiu que tinha certeza dos fatos. Confesso que pensei que ele estava enganado, mas felizmente lembrei da necessidade de incentivar os alunos a desenvolver atitudes questionadoras e críticas. Nenhuma pergunta deve ser ridicularizada

vimento nacional. Falei por meia hora, mas as perguntas duraram mais uma hora. Houve perguntas de interesse pessoal sobre entrar na universidade, perguntas “pesadas” sobre a remota possibilidade de relacionar partes do currículo escolar com o desenvolvimento nacional e perguntas que mostraram um amplo conhecimento, incluindo uma sobre o colapso gravitacional. Um aluno fez seus colegas rirem com uma pergunta de que me lembro assim: “Se você pegar dois béqueres com volumes iguais de água, um a 35 °C e o outro a 100 °C, e colocá-los em uma geladeira, o que começou a 100 °C congela primeiro. Por quê?”.

Parecia um acontecimento improvável, mas o estudante insistiu que tinha certeza dos fatos. Confesso que pensei que ele estava enganado, mas felizmente lembrei da necessidade de incentivar os alunos a desenvolver atitudes questionadoras e críticas. Nenhuma pergunta deve ser ridicularizada. Nesse caso, havia uma razão adicional para a cautela, pois os eventos do dia a dia raramente são tão simples quanto parecem, e é perigoso fazer um julgamento superficial sobre o que pode ou não ser. Eu disse que os fatos conforme apresentados me surpreenderam porque pareciam contradizer a física que conheço. No entanto, acrescentei que era possível que a taxa de resfriamento pudesse ser afetada por algum fator que eu não tinha considerado. Prometi que colocaria a afirmação à prova por meio de experimentos e encorajei meu questionador a repetir o experimento por conta própria.

Na University College em Dar es Salaam, pedi a um jovem técnico para testar os fatos. O técnico relatou que a água que começou quente realmente congelou primeiro e acrescentou em um momento de entusiasmo não científico: “Mas vamos continuar repetindo o experimento até obtermos o resultado correto”. Testes posteriores confirmaram a afirmação do estudante, e acreditamos que eles indicam o caminho para uma explicação.

Os fatos descritos por esse estudante tanzaniano podem ser familiares para muitos, embora eu não tenha ouvido falar deles antes e até agora não tenha encontrado nenhuma referência a eles. Ele visitou a University College em Dar es Salaam algumas semanas depois de me fazer a pergunta e escreveu um relato de como ele encontrou o problema. Seu relato inicia este artigo, escrito com suas próprias palavras, com algumas omissões. Ele aponta para o perigo de uma física autoritária e é registrado na esperança de que seja de interesse e encorajamento para outros que ensinam física.

Mas e quanto ao problema em si? Devido ao elemento surpresa nessa observação simples, baseamos um projeto para estudantes do segundo ano da universidade. Em uma série de experimentos, sistemas de teste de 70 cm³ de água em béqueres de pirex de 100 cm³, com aproximadamente 4,5 cm de diâmetro, foram congelados na caixa de gelo de uma geladeira doméstica. Os béqueres foram apoiados em uma folha

de espuma de poliestireno, proporcionando isolamento térmico. Foi observado que:

- i. Se dois sistemas são resfriados, a água que começa mais quente pode congelar primeiro.
- ii. O gráfico do ‘tempo para iniciar o congelamento’ em relação à temperatura inicial tem a forma aproximada desenhada na Fig. 1.
- iii. Uma película de óleo na superfície da água atrasou o congelamento em várias horas, mostrando que, sem essa película, a maior parte do calor perdido escapa da superfície superior.
- iv. Mudanças pequenas no volume ocorrem devido à evaporação; o calor latente de vaporização não pode explicar mais do que 30% do resfriamento e não pode ser o único responsável pelo congelamento rápido de sistemas com altas temperaturas iniciais.
- v. É estabelecido um gradiente de temperatura no líquido.

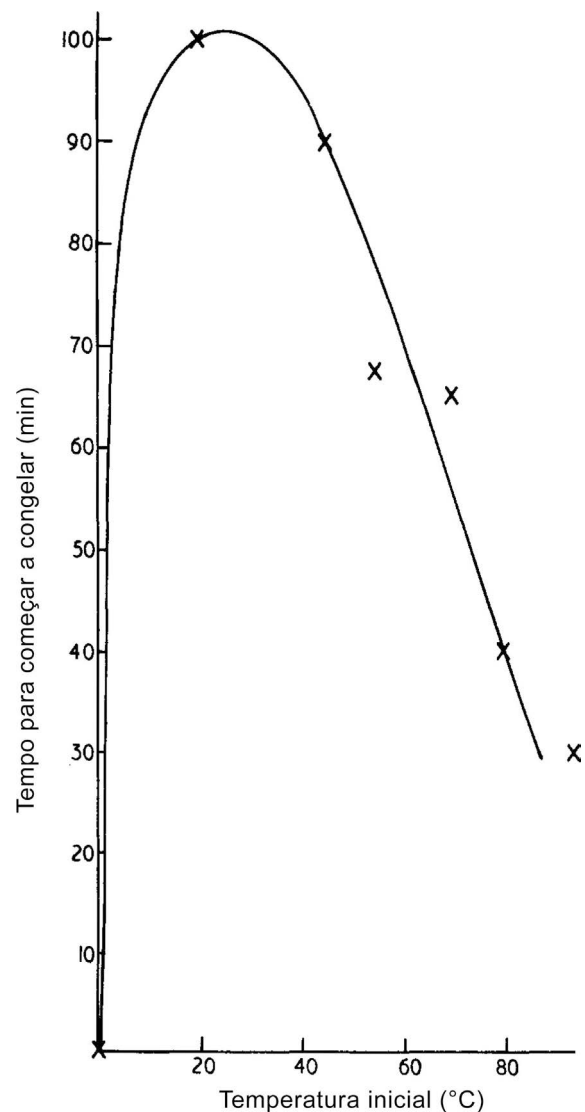


Figura 1 - Gráfico do tempo para a água começar a congelar em relação à temperatura inicial da água.

vi. O ar dissolvido foi eliminado como um fator, utilizando água recentemente fervida para os ensaios a partir de todas as temperaturas.

As curvas de temperatura em relação ao tempo para o resfriamento a partir de 93 °C são mostradas na Fig. 2, com a curva S mostrando a temperatura perto da superfície superior do líquido e a curva B mostrando a temperatura perto do fundo. Para uma temperatura inicial mais baixa, a separação entre as curvas é menor. A Fig. 3 mostra a diferença de temperatura entre posições próximas à parte superior e inferior das amostras de água, plotada em relação ao tempo, para resfriamento inicial a partir de temperaturas de 70 e 47 °C. Os tempos para iniciar o congelamento mostrados nas Figs. 1-3 não são comparáveis, pois as condições na geladeira eram diferentes nos três casos. Na prática, o resfriamento relativamente rápido de um sis-

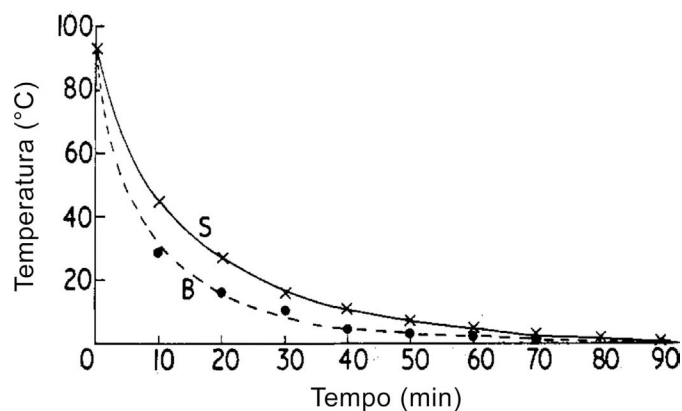


Figura 2 - É mostrada a taxa de resfriamento da água a partir de uma temperatura inicial de 93 °C. A curva S indica a temperatura perto da superfície e a curva B indica a temperatura perto do fundo.

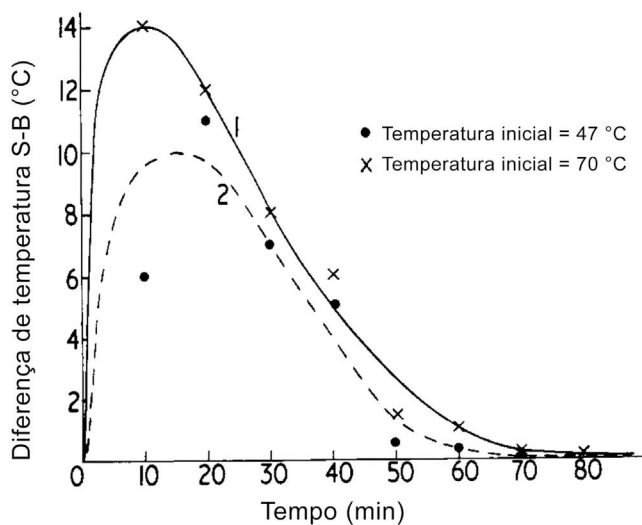


Figura 3 - Diferenças entre as temperaturas próximas à superfície e ao fundo das amostras, plotadas em relação ao tempo.

tema que começa quente pode ser acelerado se ele estabelecer um melhor contato térmico com o gabinete do freezer ao derreter a camada de gelo e geada na qual repousa. Esse fator foi eliminado de nossos testes ao apoiar os béqueres de resfriamento em um bom isolante térmico.

O resfriamento ocorre principalmente a partir da superfície superior. A taxa de resfriamento depende da temperatura da superfície do líquido e não da sua temperatura média. A convecção dentro do líquido mantém um 'topo quente' (presumivelmente acima de 4 °C) e a taxa de perda de calor para um sistema inicialmente quente pode ser maior do que para um sistema inicialmente mais frio, mesmo quando ambos esfriaram para a mesma temperatura média do corpo. Um físico treinado pode ficar surpreso com o congelamento mais rápido do líquido mais quente relatado, porque ele tem que passar por temperaturas intermediárias antes de congelar. No entanto, os sistemas não são adequadamente descritos por uma única temperatura, pois têm gradientes de temperatura que dependem de sua história anterior.

A explicação sugerida em termos de convecção, estabelecendo um gradiente de temperatura e mantendo uma perda de calor rápida da superfície superior, deve ser considerada como uma explicação provisória. Os experimentos realizados foram relativamente rudimentares, e vários fatores podem influenciar as taxas de resfriamento. São necessários experimentos mais sofisticados para fornecer uma resposta mais precisa à questão.

Discussões informais sobre essa observação provocaram relatos de um fenômeno semelhante em que a explicação do resfriamento da superfície superior é difícil de aplicar. De acordo com esses relatos, tubulações de água quente congelam mais rapidamente do que tubulações de água fria durante o clima gelado. Não é apropriado testar a validade dessa afirmação na Tanzânia.

Agradecimentos

Somos gratos ao diretor e à equipe da Escola Secundária Mkwawa por gerar essa investigação e aos alunos e à equipe do Departamento de Física do University College Dar es Salaam, por encorajamento e conselhos. Ficáramos felizes em receber qualquer informação sobre referências a esse problema na literatura científica e técnica.

This is translated into Portuguese by André Luís Miranda de Barcellos Coelho, from an article originally published in English in the journal *Physics Education* [MPEMBA, Erasto B.; OSBORNE, Denis G. Cool?. *Physics Education*, v. 4, n. 3, p. 172, 1969.], © IOP Publishing Ltd. Reproduced with permission. All rights reserved. The translation has not been verified by IOP Publishing.

Recebido em: 8 de Novembro de 2023

Aceito em: 8 de Março de 2024

Contexto e motivação da tradução

Ao longo dos anos em que atuei como professor de física da educação básica, contei aos(às) meus(minhas) alunos(as) diversas vezes a fascinante história do jovem estudante de Ensino Médio Erasto B. Mpemba da Escola Secundária de Magamba, na Tanzânia, e sua descoberta, hoje conhecida como efeito Mpemba. Trata-se de um curioso fenômeno concernente ao congelamento da água notado por muitos ao longo da história, porém mais notoriamente descrito no trabalho de Mpemba em colaboração com o professor doutor D.G. Osborne da University College Dar es Salaam, na Tanzânia. Eles descreveram e analisaram o congelamento de amostras de água similares de mesma massa, mas com temperaturas iniciais diferentes, e notaram que a amostra de água de maior temperatura inicial congelava mais rapidamente que a amostra de menor temperatura. O efeito Mpemba até hoje rende investigações e ainda não é completamente compreendido.

O contexto da descoberta de Mpemba, entretanto, é o que mais me atraía como professor da educação básica. Ela envolve a curiosidade de um jovem picolezeiro da Tanzânia e sua determinação de encontrar uma explicação para um fato relativamente bem conhecido. Sua história servia-me, como professor, não apenas para contextualizar conceitos importantes de calorimetria e termodinâmica, mas também como elemento articulador para diversos aspectos da natureza das ciências para o ensino de física [1].

O artigo original, intitulado “Cool?” de 1969, publicado na revista *Physics Education*, é composto por um relato narrativo detalhado de Mpemba sobre sua descoberta e experiência de partilha em sua escola, além de experimentação e análise do fenômeno pelo professor doutor Osborne. Possui grande potencial para ser utilizado em salas de aula de Ensino Fundamental e Médio no contexto da disciplina de física, como pude atestar ao longo de minha carreira como professor da escola básica. Acontece que esse artigo encontra-se apenas em inglês e não se dispõe de muitos materiais em língua portuguesa sobre o efeito Mpemba com a mesma qualidade e acessibilidade que o trabalho original. Por essa razão, principalmente, faço a tradução desse trabalho com a esperança de torná-lo mais acessível para professores e estudantes, principalmente do Ensino Fundamental e Médio de nosso país.

Mantive os gráficos originais, traduzindo as identificações de eixos e demais legendas. Fiz algumas inserções no texto com a finalidade de tornar a tradução mais significativa para um leitor falante apenas de língua portuguesa. Essas inserções estão representadas entre colchetes.

André Luís Miranda de Barcellos Coelho[#]

Referências

- [1] A.F.P. Martins, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **32**, 703 (2015).
- [2] E.B. Mpemba, D.G. Osborne, *Physics Education* **4**, 172 (1969).

Notas

¹O sistema educacional da Tanzânia opera no sistema 7-4-2-3: 7 anos de ensino fundamental, seguidos por 4 anos de ensino secundário (Nível Ordinário), seguido por 2 anos de Nível Avançado. Após o 13º ano de ensino secundário, os estudantes podem fazer o exame do Certificado Avançado e frequentar a faculdade por 3 a 4 anos. Informações do site www.asantesanaforeducation.com. Acessado em 21/10/2023.

²Cidade cerca de 175 km distante de Magamba.

³Para se ter uma ideia, hoje 1 real equivale a cerca de 500 Xelins Tanzanianos.

⁴Cidade distante, aproximadamente 680 km de Magamba.

⁵A partir dessa seção, a redação do texto é de autoria do professor doutor Osborne.