

# EFEITO MPEMBA: DESAFIOS PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA A PARTIR DE PROBLEMAS ABERTOS

Gildo Giroto Júnior

*Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas – SP, Brasil.*

*ggirotto@gmail.com*

Fernando Domingos, Alexandre Bagdonas

*Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, Brasil*

**RESUMO:** Analisamos resistências à inovação didática no estudo do Efeito Mpemba, um problema aberto, abordado de forma investigativa com o objetivo de ensinar Termodinâmica na formação inicial de professores de Física. O problema foi redescoberto em 1963 por Erasto Mpemba e desde então cientistas buscam responder porque, sob certas condições, líquidos quentes congelam mais rápido que uma mesma quantidade de líquido frio. Em sala de aula, apesar da valorização das discussões desse problema no Ensino Superior, muitos alunos se mostraram relutantes em levá-lo para suas aulas no Ensino Médio, enquanto professores. A partir de entrevistas e análise de materiais escritos, buscamos caracterizar algumas das resistências à inovações didáticas observadas.

**PALAVRAS CHAVES:** Efeito Mpemba; Resistência Didática; Ensino de Ciências; Termodinâmica; Problema Aberto.

**OBJETIVOS:** Caracterizar e discutir resistências à inovações didáticas observadas durante a abordagem do Efeito Mpemba como metodologia de ensino de conceitos de Termodinâmica.

## MARCO TEÓRICO

Em 1963, Erasto Mpemba, então estudante secundarista, percebeu que leite quente congela mais rápido do leite morno quando colocado no refrigerador. Inicialmente seu professor de Física não acreditou na “descoberta”, a qual parece contrariar a Termodinâmica ensinada no Ensino Médio. Posteriormente, com a ajuda de Denis Osborne, Mpemba percebeu que seu professor de Física estava enganado e fez estudos mais detalhados do tempo de congelamento de líquidos em diferentes temperaturas iniciais (Mpemba & Osborne, 1969). Mpemba redescobriu um fenômeno antigo, que já havia sido estudado e comentado por estudiosos de diferentes épocas como Aristóteles e René Descartes, mas que havia sido esquecido e deixado de ser discutido a partir do desenvolvimento da teoria moderna do calor (Jeng, 2006). Os estudos de Mpemba chamaram a atenção da comunidade científica para este problema, e em 2012 a Royal Society of Chemistry (RSC) ofereceu um prêmio ao cientista (ou grupo) que apresentasse a resposta mais criativa e cientificamente correta para o fenômeno.

O Efeito Mpemba ocorre quando, sob certas condições, uma dada quantidade de líquido em alta temperatura pode congelar mais rapidamente do que a mesma quantidade de líquido em temperatura

menor. Trata-se um problema aberto e complexo, uma vez que vários fatores podem influenciar na sua ocorrência.

Nikola Bregović, vencedor do concurso da RSC atribuiu as causas do fenômeno a quatro fatores: a evaporação da água, gases dissolvidos, convecção induzida por gradiente de calor e supercongelamento (Bregović, 2013). Entretanto, não existe ainda um esclarecimento unânime sobre as causas do fenômeno.

Além de permitir o ensino de conceitos de Termodinâmica a partir de uma proposta investigativa, o Efeito Mpemba é um problema interessante, com uma rica história, que contraria o senso comum e permite discussões sobre a natureza da ciência, tais como: o ceticismo dos cientistas em relação a propostas feitas por leigos, a dificuldade de teste e refutação de teorias com base em testes experimentais, a importância de se selecionar variáveis definidas e bem controladas para abordar um problema complexo, etc. Este trabalho dá continuidade a investigações das potencialidades de se discutir o Efeito Mpemba na formação inicial de professores (Domingos, Zupa & Bagdonas, 2017). Graduandos do 2º semestre do curso de Licenciatura em Física estudaram o Efeito Mpemba durante a disciplina de Introdução à Licenciatura em Física B, um curso que busca fomentar o aprendizado conceitual de Física, além de ilustrar estratégias de ensino diferenciadas.

Os estudantes foram apresentados à questão: o que congela mais rápido, água quente ou água fria? Como tarefa para casa, foi proposto que os alunos fizessem o experimento e trouxessem para a sala de aula fotos e outros dados experimentais com explicações para o que observaram. As explicações dos grupos foram discutidas na forma de um “*Physics Fight*” (IYPT Brasil, 2016). Esta proposta foi inspirada no IYPT (Torneio Internacional de Jovens Físicos), em que grupos de alunos assumem três papéis na solução de problemas de Física: o Apresentador, que propõe uma solução, o Opositor, que critica a solução proposta pelo Apresentador, e o Avaliador, que comenta os pontos negativos e positivos das falas dos demais grupos. A dinâmica lúdica tem 3 rodadas, e os papéis de cada grupo se alternam. São dadas notas para a participação de cada grupo em cada etapa, sendo o vencedor escolhido a partir de pesos diferentes para as notas em cada papel (Domingos et al, 2017).

## METODOLOGIA

Os alunos escreveram uma redação sobre as causas do Efeito Mpemba e realizaram uma autoavaliação, refletindo sobre seu aprendizado individual e sobre como melhorar o aprendizado coletivo nas aulas da disciplina.

Com base na leitura destas produções, constatamos que a maioria dos alunos mostrou domínio razoável de conceitos envolvidos na transferência de calor, e alguns também produziram reflexões interessantes sobre formas alternativas de ensinar Termodinâmica na educação básica. Contudo, como esperado, houve também certa resistência à inovação didática. Alguns alunos se mostraram particularmente receosos de levar este tipo de atividade para aulas na educação básica. Neste trabalho, buscamos caracterizar estas resistências com maior profundidade, investigando as visões de alunos que se engajaram nas atividades e estudos sobre o Efeito Mpemba, mas que mostraram maior relutância em discuti-lo em suas futuras aulas, como professores do Ensino Médio.

Os dados investigados foram as produções orais e escritas realizadas pelos alunos durante o curso, entre elas: argumentos formulados para as causas do Efeito Mpemba, relatos das experiências realizadas em casa, uma redação individual sobre causas do Efeito Mpemba e autoavaliações realizadas ao final das aulas de Termodinâmica.

Após as aulas presenciais e no *Campus Virtual*, uma plataforma para ensino à distância e de apoio ao ensino presencial que faz uso do *Moodle*, os alunos expuseram, na forma de fóruns, suas explicações sobre o Efeito Mpemba, suas principais dificuldades enfrentadas no estudo do problema, suas prin-

cipais objeções ao estudo deste tópico no Ensino Médio, além de discutirem as teorias expostas pelos demais colegas e apresentarem uma proposta de aula sobre o fenômeno.

Após a análise das produções escritas, selecionamos 6 alunos para realizarem entrevistas para aprofundar a investigação sobre resistências didáticas. Eles foram selecionados por terem se mostrado particularmente críticos à proposta ou por terem considerado a proposta especialmente adequada para sua formação como professores. As entrevistas foram realizadas individualmente e os entrevistados tiveram ciência dos objetivos da pesquisa. Eles foram convidados a responder três perguntas:

1. Você entende o efeito Mpemba como uma boa estratégia ou metodologia para o estudo de conceitos de Termodinâmica?
2. Sob seu ponto de vista, a abordagem dada pelo professor nas aulas de Introdução à Licenciatura em Física B foi adequada? Quais eventuais mudanças você faria na abordagem dada pelo seu professor?
3. Você, na função de professor de Física do ensino básico, levaria o Efeito Mpemba para as suas turmas? Em caso afirmativo, descreva de qual maneira o abordaria. Em caso negativo, explique as razões pelas quais não abordaria.

## RESULTADOS

Muitas das resistências à inovação encontradas são bem conhecidas na pesquisa em ensino de ciências. Sabe-se que os alunos do ensino médio e os estudantes dos anos iniciais das licenciaturas em Física, principalmente antes de cursarem disciplinas pedagógicas, valorizam o ensino tradicional, acreditando que para ser bom professor basta saber conteúdos de Física (Carvalho & Gil Perez, 1992). Assim uma fração razoável dos alunos, incluindo alguns selecionados para a entrevista, disseram preferir estratégias tradicionais de ensino, como listas de exercícios, aulas expositivas e experimentação. Implicitamente, assumem que se esses métodos funcionaram para seu próprio aprendizado, então funcionariam também para seus futuros alunos, fatos que ficam evidentes nas falas dos próprios alunos, apresentadas abaixo:

*“O professor, com esses métodos alternativos de ensinar, de que a gente tem que construir o conhecimento, não funcionou comigo.”*

*“Como eu não tive nenhum problema com o método tradicional de ensino, não vejo porque de mudar.”*

No caso do Efeito Mpemba, as principais resistências foram:

1. Trata-se de um problema sem solução. Acredita-se que problemas abertos não deveriam ser utilizados no ensino, pois para que algo possa ser ensinado é necessário que o meio científico já tenha explicado, por completo, o problema.

*“É impossível planejar e dar uma aula sobre um assunto que não se sabe explicar a verdadeira causa, o porquê aquilo acontece...”*

*“Não é um tópico interessante de se trabalhar no Ensino Médio, uma vez que apenas supomos as causas do fenômeno e não temos uma resposta que afirme o que realmente acontece.”*

Implicitamente se assume a visão de que o ensino tem como objetivo chegar a respostas corretas, desprezando o processo de construção do conhecimento.

*“[...] pode-se pesquisar o que quiser e fazer brotar as mais diversas razões para o efeito, que vai estar errado”. Não interessa como explique, está errado. E isso às vezes desmotiva.”*

2. Tratar-se de uma problema muito complexo para a educação básica.

*“Eu mesmo, na graduação, não consigo entender. Imagina no Ensino Médio...”*

*“Eu levaria o Efeito Mpemba para a sala de aula! O que eu mudaria é que previamente faria mais aulas teóricas sobre Termodinâmica para que os alunos tivessem maior ferramental teórico para argumentar. O caminho que tomaria seria conhecimento teórico de Termodinâmica e depois fazer com que os alunos aplicassem tal conhecimento...”*

Observa-se que mesmo aqueles alunos que valorizam a proposta do Efeito Mpemba entendem que ele é um bom complemento para o ensino tradicional: aprende-se primeiro os conceitos e depois estes seriam aplicados para entender fenômenos. Poucos acreditam que o fenômeno possa ser usado como motivador inicial para o aprendizado de Termodinâmica.

3. O experimento nem sempre ocorre como esperado.

Muitos alunos perceberam fazendo o experimento, que se trata de um fenômeno complexo influenciado por muitos fatores diversos e por isso nem sempre é fácil observar, experimentalmente, o Efeito Mpemba. Às vezes, a água quente congela mais rápido, mas em outras ocasiões não. A temperatura inicial das amostras, a quantidade de gases dissolvidos, a composição da água e muitos outros fatores podem influenciar no congelamento. Isso levou muitos alunos a perder o interesse pelo problema, ou mesmo, a pensar em pedir a seus futuros alunos que não se desmotivassem caso o experimento não ocorresse conforme planejado.

*“Já para explicar esse efeito para uma turma, de ensino fundamental e médio iria pedir para fazer tal experiência em grupo para depois explicar o fenômeno. Falaria assim: Vocês podem realizar uma experiência muito simples em casa, utilizando apenas água, copos e um recipiente para aquecer a água em um fogão. (...) Mas não se preocupa se a experiência não funcionar. Porque nunca se sabe se vai dar certo sobre condições que varia na hora do experimento. (...)”*

Essa postura, manifestada por muitos alunos durante o curso, mostra uma valorização da experimentação tradicional, que costuma ser utilizada para verificar teorias. Assume-se que o experimento adequado deve “dar certo” se há bom acordo entre dados e teoria. Contudo, acreditamos que seja importante problematizar esse tipo de postura, que mostra visões ingênuas sobre a natureza da ciência. Experiências não são realizadas somente para testar e verificar teorias, há uma relação dialética entre experimento e teoria na construção do conhecimento. Por isso, defendemos que o laboratório tradicional seja complementado por mais atividades investigativas para promover visões mais ricas sobre a natureza da ciência (Borges, 2002).

4. É muito difícil avaliar uma atividade com problemas abertos.

Na dinâmica inspirada no IYPT, alguns dos alunos atuaram como jurados, deveriam avaliar as apresentações dos grupos, tanto apresentando soluções, quanto criticando e avaliando as soluções dos demais grupos. Um dos alunos do Júri elaborou inicialmente uma planilha de avaliação, com critérios objetivos bem estabelecidos e claros para avaliar os grupos. Posteriormente, apesar do empenho prévio na preparação, o aluno constatou na autoavaliação que os critérios quantitativos não foram adequados pra avaliar a complexidade dos argumentos envolvidos na aula.

*O processo de ser avaliador foi mais complexo e difícil que o imaginado. De certa forma fui muito controlador no grupo, coloquei minhas ideias e não abri muito espaço para a fala dos outros; tanto na elaboração da planilha quanto no dia da atividade. No dia da atividade me*

*políciiei melhor, um avanço. A planilha elaborada foi muito inflexível e este é um ponto bem negativo. Não abrimos espaço para anotações e o ponto de vista mais “subjetivo” foi anulado. A preocupação com notas quantitativas nos bloqueou para uma melhor observação qualitativa. Porém conseguimos flexibilizar tal procedimento através de algumas anotações, conversas e comparação entre as notas.”*

Consideramos positiva a mudança de postura do aluno, que foi percebendo que ensinar não é uma tarefa simples e problematizou sua concepção prévia de avaliação. Por nossos resultados, nota-se que além das resistências a metodologias de ensino que rompem com o ensino tradicional, encontramos também aspectos específicos do problema do Efeito Mpemba, um problema aberto e complexo que pode promover uma série de desafios e reflexões tanto no Ensino Médio quanto na formação inicial de professores de física.

## CONCLUSÃO

Apesar dos desafios encontrados, caracterizados a partir das entrevistas com alunos que se mostraram particularmente relutantes em ensinar o Efeito Mpemba, consideramos este um problema especialmente interessante para ensinar Termodinâmica a partir de uma abordagem investigativa. Alguns desses alunos inclusive levaram, posteriormente, o Efeito Mpemba para aulas do Ensino Médio durante atividades como bolsistas do PIBID e estágio docência. Porém neste trabalho, enfatizamos os desafios encontrados durante as aulas no ensino superior, caracterizando as principais dificuldades no ensino deste problema para futuros professores de Física. As resistências encontradas reforçam a necessidade de se discutir estratégias de ensino diferenciadas na formação de professores desde o início do curso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES, A. M. (2002). Novos Rumos para o Laboratório Escolar. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(3), 291-313.
- BREGOVIĆ, N. (2013). *Royal Society of Chemistry*. Acesso em 13 de Janeiro de 2017. Disponível em: [http://www.rsc.org/images/nikola-bregovic-entry\\_tcm18-225169.pdf](http://www.rsc.org/images/nikola-bregovic-entry_tcm18-225169.pdf).
- CARVALHO, A. M. P., & GIL PÉREZ, D. (1992). As Pesquisas em Ensino Influenciando a Formação de Professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 14(4), 247-252.
- DOMINGOS, F., ZUPA, C., & BAGDONAS, A. (2017). O Efeito Mpemba em Sala de Aula: o relato de uma experiência. *Atas XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Universidade de São Paulo. I.Y.P.T.* (2016). IYPT Brasil – Regulamento Oficial . Acesso em 20 de Agosto, 2016. Disponível em [http://www.iypt.com.br/uploads/2/5/5/7/25574839/iypt\\_regulamento\\_final\\_2016.pdf](http://www.iypt.com.br/uploads/2/5/5/7/25574839/iypt_regulamento_final_2016.pdf).
- JENG, M. (2006). Hot water can freeze faster than cold!?. *American Journal of Physics*, 74(6), 514 - 522.
- MPEMBA, E., & OSBORNE, D. (1969). Cool?. *Physics Education*, 4(3), 172-175.

