

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE FÍSICA-IFGW

1º SEMESTRE DE 2010

PROJETO MPEMBA

DISCIPLINA F609 -INSTRUMENTAÇÃO PARA ENSINO



Aluno: Danilo Borges da Cunha¹

Orientador: Prof. Dr. Richard Landers²

Coordenador: Prof. Dr. José J. Lunazzi³

1 – dnlcunha @ yahoo .com .br

2 – landers @ ifi .unicamp .br

3 – lunazzi @ ifi .unicamp .br

Junho/2010

Água quente às vezes congela mais rápido (Efeito Mpemba)

SUMÁRIO

RESUMO	Página 03
INTRODUÇÃO	Página 03
OBJETIVO	Página 04
MATERIAIS E MÉTODO	Página 05
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	Página 10
CONCLUSÃO	Página 13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	Página 13
APÊNDICES	Página 14
COMENTÁRIO DO ORIENTADOR	Página 18

RESUMO

Neste projeto iremos estudar o Efeito Mpemba que consiste em observar o congelamento de duas massas de água em temperaturas diferentes, uma maior e outra menor e constatar que a massa de água em maior temperatura congela mais rápido que a de menor temperatura.

INTRODUÇÃO

Em 1969, na Tanzânia (África), um aluno de nome Erasto Mpemba e um colega dedicavam-se à fabricação de sorvete, como projeto de escola. Na fabricação de sorvete, a mistura deve ser aquecida (ferve-se o leite), depois de resfriado é então levado ao congelador. Como estavam com pressa, Mpemba levou sua mistura direto ao congelador após fervê-la e seu amigo nem sequer a ferveu. Após um tempo, retiraram suas misturas do congelador e observaram que algo muito estranho havia ocorrido, a mistura de Mpemba havia congelado e a de seu amigo não.

Querendo saber o que motivava o efeito, Mpemba questionou seu professor, mas esse não soube responder as perguntas e, juntamente com os outros alunos, passou a debochar de Mpemba. No entanto, esse brilhante aluno passou a sistematizar e a observar o fenômeno, repetindo-o com água e leite.

Posteriormente, um outro professor, Dr. Osbourne, de uma universidade próxima, visitou a escola e Mpemba o questionou sobre o fato ocorrido. A falta de respostas levou Mpemba e o Dr. Osbourne a sistematizarem as observações e a reproduzir esse fenômeno, observado a mais de dois mil anos, de modo científico.

Sendo assim, junto com o Dr. Osbourne, Mpemba realizou estudos em relação ao tema e mais tarde publicaram um artigo, batizando o fenômeno como “Efeito Mpemba”.

Aristóteles (350 a.C.) já havia percebido esse fenômeno ao observar que os pescadores, para fixarem suas varas no gelo, utilizavam água quente porque esta congelava mais rápido. Ele explicava o fenômeno, de modo não científico, pela Antiperistasis, corrente filosófica onde se acredita que a qualidade de um fenômeno é intensificado pela ação do seu oposto, isto é, nesse caso, o calor da água aumentaria sua capacidade de se resfriar.

Ainda antes da Revolução Científica, no século XII, Roger Bacon também observou o fenômeno.

Na Idade Média, por volta de 1461, Giovanni Marliani realizou estudos empíricos e também observou que a água quente congela mais rápido que a água fria.

Mais a frente, no século XVII, Francis Bacon e Descartes, enquanto discutiam e escreviam extensos trabalhos sobre o método científico, também se dedicavam ao efeito Mpemba.

Após a Revolução Científica, alguns cientistas se dedicaram a explorar esse fenômeno em laboratório e observaram que o mesmo pode ser reproduzido com quaisquer parâmetros de temperatura, entre 99,9999°C e 0,0001°C.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é reproduzir experimentalmente o efeito Mpemba e verificar as possibilidades de reproduzi-lo como projeto de escola no ensino médio.

MATERIAIS E MÉTODO

Para a realização do experimento foram utilizados os seguinte materiais:

- Geladeira duplex
- Computador
- Web cam
- Multímetro
- Fio de cobre e de constantan
- Tesoura
- Becker graduado em mL
- Tubos de ensaio
- Canudo plástico
- Fita adesiva
- Corantes
- Estante para tubos de ensaio
- Caneca para ferver a água
- Seringa
- Água destilada
- Gelo de água destilada
- Gelo comum
- Garrafa térmica
- Rolha de isopor para a garrafa

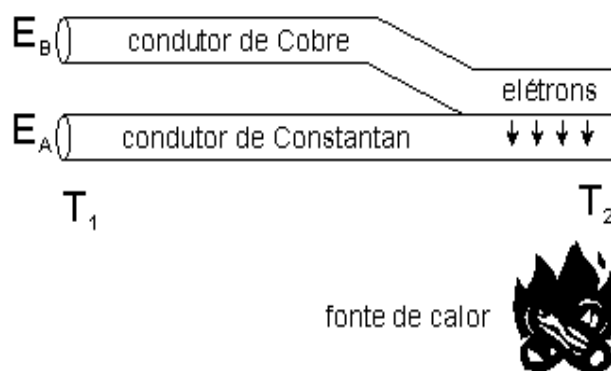
- Agulha
- Software livre para capturar imagens de vídeo (Free Studio Maneger)
- Solda de ponto

Com os materiais acima citados procedeu-se da seguinte forma:

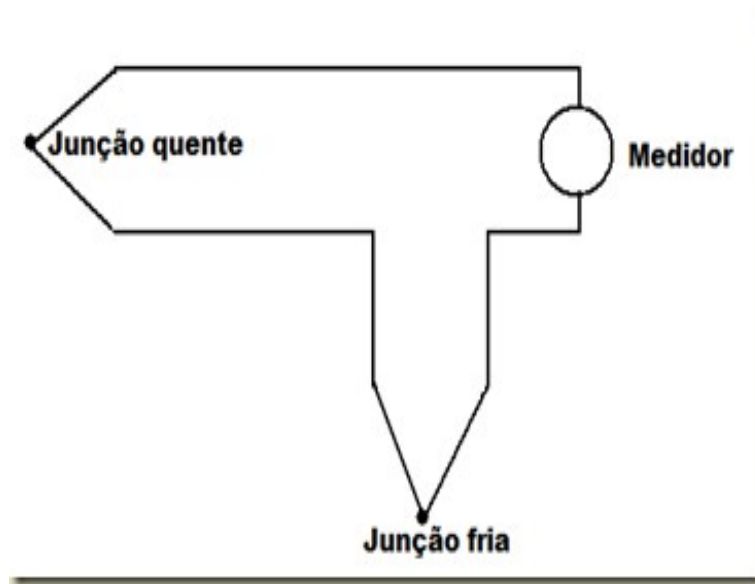
Primeiramente, montamos o Termopar de cobre-constantan. Para isso, soldamos os fios de cobre com o de constantan utilizando a solda de ponto.

O Termopar, descoberto por Thomas Seebeck (1822) permite converter tensão em temperatura devido ao Efeito Seebeck, que consiste na diferença de potencial entre as junções dos condutores (de matérias diferentes, cobre-constantan) quando estão a diferentes temperaturas. Podem ser feitos de diversos materiais, nosso caso, escolhemos o de cobre e constantan (liga de 55%Cu e 45% Ni) que funciona numa faixa de -270°C a 400°C de temperatura e de $-6,258\text{mV}$ a $20,872\text{mV}$ de tensão.

Quando as junções são submetidas a diferentes temperaturas, os elétrons de um metal tendem a migrar para o outro, gerando uma diferença de potencial, semelhante a uma pilha eletroquímica (Efeito Seebeck).



Efeito Seebeck



Esquema Termopar

Estando prontos os pontos de junção, conectamos as outras duas partes de cobre no multímetro. Para o funcionamento colocamos cada junção em corpos de temperaturas diferentes e verificamos as variações de tensão e em corpos com temperaturas iguais (0°C e 0°C) a variação de tensão é zero.

O termopar foi posicionado próximo a geladeira e ao computador, de modo que a webcam possa capturar a imagem da tensão marcada no multímetro.

Uma ponta da junção do Termopar foi colocada numa fonte de temperatura constante de referência à 0°C (mistura de água e gelo) enquanto outra ficou disponível para ser introduzida em um tubo de ensaio contendo água a temperatura diferente.

A fonte de referência à 0°C consta de uma garrafa térmica com uma mistura de água e gelo comuns, isolada com isopor na abertura.

Na abertura do tubo de ensaio é fixado com fita adesiva um pedaço de canudo de plástico para servir de suporte para a ponta de junção do termopar. Para introduzir essa ponta é feito um furo, no ponto médio do canudo, com o auxílio da agulha.

São utilizados dois tubos de ensaio, onde são depositados 10mL de água em cada um à temperaturas diferentes.

O tubo é então colocado na estante e, então, introduzido no congelador. Os fios do termopar devem ser posicionados de modo que as junções não se rompam ao fechar a porta do congelador.

A webcam posicionada diante do multímetro fica registrando a variação de tensão.

O primeiro tubo de ensaio é preenchido com 10 mL de água destilada à 20°C. Para se obter essa temperatura, misturamos 50 mL de água destilada à 100°C e 200mL de água destilada à 0°C.

O segundo tubo de ensaio é preenchido com 10 mL de água destilada à 50°C, misturando 50 mL à 100°C com 50 mL à 0°C.

A medição foi feita com o becker graduado, e os tubos são preenchidos utilizando-se uma seringa. Para obter água à 20°C e 50°C utilizamos os seguintes conceitos:

- Q cedido = Q recebido

- $Q = mc\Delta\theta$, $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$

- $d = m/V$, $V = m/d$, $d = 1\text{g/mL}$

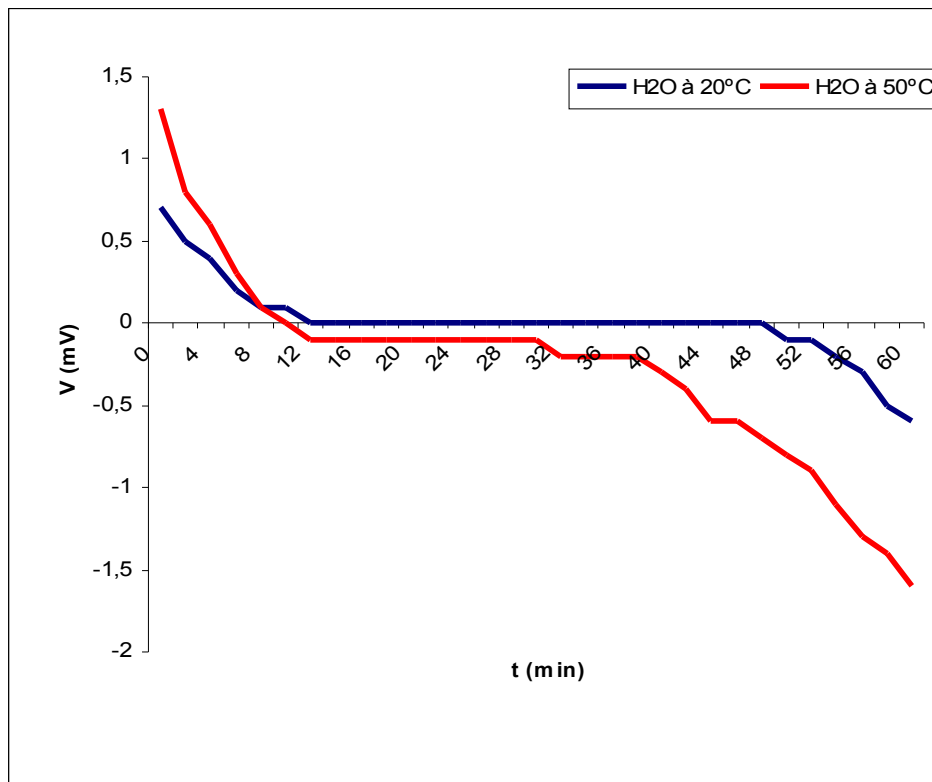
De tempos em tempos observamos a leitura do multímetro. De acordo com o Termopar, uma leitura negativa significa uma temperatura menor que a da fonte a 0°C, logo, a amostra de água nos tubos de ensaio estará congelando .

Verificando leitura negativa, bastou observar os tubos de ensaio e constatar que a água havia congelado em seu interior.

Passamos então a assistir ao vídeo e a coletar as leituras do multímetro em função do tempo, e então construímos a seguinte tabela de V (mV) x t (min):

Tabela 1		Tabela 2	
Água a 20°C		Água a 50°C	
V (mV)	t (min)	V (mV)	t (min)
0,7	0	1,3	0
0,5	2	0,8	2
0,4	4	0,6	4
0,2	6	0,3	6
0,1	8	0,1	8
0,1	10	0	10
0	12	-0,1	12
0	14	-0,1	14
0	16	-0,1	16
0	18	-0,1	18
0	20	-0,1	20
0	22	-0,1	22
0	24	-0,1	24
0	26	-0,1	26
0	28	-0,1	28
0	30	-0,1	30
0	32	-0,2	32
0	34	-0,2	34
0	36	-0,2	36
0	38	-0,2	38
0	40	-0,3	40
0	42	-0,4	42
0	44	-0,6	44
0	46	-0,6	46
0	48	-0,7	48
-0,1	50	-0,8	50
-0,1	52	-0,9	52
-0,2	54	-1,1	54
-0,3	56	-1,3	56
-0,5	58	-1,4	58
-0,6	60	-1,6	60

A partir da tabela, montamos o seguinte gráfico:



DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diante de um questionamento sobre o efeito Mpemba, num primeiro momento, somos levados a acreditar que é impossível, pois não faz sentido uma massa de água com temperatura superior a outra, alcançar primeiro o ponto de congelamento e se solidificar. Mas diante dos resultados obtidos ficamos fascinados com essa estranheza.

A literatura existente sugere um conjunto de explicações especulativas, no entanto, coerentes, tais como:

- Boa condução e bom contato:

A camada fina de gelo na superfície do recipiente pode atrasar o resfriamento.

Colocando água quente, em um recipiente pequeno e bom condutor térmico, a fina

camada de gelo que se forma na superfície acaba derretendo. Quando ocorre o recongelamento, forma-se uma excelente conexão entre a base e a superfície do recipiente para a condução do calor.

- Convecção e superfície isolante:

Quando colocamos um copo com água no congelador primeiramente forma-se uma fina camada de gelo na superfície do líquido. Essa camada dificulta a transferência de calor entre os meios externo e interno, retardando o processo de congelamento, pois esse funciona como um isolante.

No caso da água aquecida, não se forma a camada de gelo, não sofrendo isolamento em relação ao meio externo. Isso permite a formação de correntes de convecção que promovem a homogeneidade da temperatura no interior do recipiente.

- Evaporação:

Mesmo em escala muito pequena, uma pequena evaporação reduz a quantidade de água a ser congelada, e esse fato também pode ser considerado.

- Má condução:

Se o recipiente usado for um mau condutor térmico, como madeira, o congelamento mais rápido da água se deve principalmente pela evaporação do que pela condução.

Mpemba, ao observar o fenômeno utilizou cumbucas de madeira para preparar sorvetes.

- Gases dissolvidos:

Na água, mesmo destilada, estão dissolvidos gases como oxigênio e dióxido de carbono, cujo efeito é baixar o ponto de congelamento. Com o aquecimento, parte desses gases se desprende da água, pois a solubilidade dos gases na água diminui com o

aumento da temperatura, isto é, aumenta o ponto de solidificação e faz a água quente congelar primeiro.

Com toda essa explicação sugerida pela literatura, fica fácil compreender e aceitar que esse fenômeno estranho acontece realmente, e de acordo com os dados obtidos podemos observar que o congelamento da água não ocorre de forma linear. No entanto, um aproximação linear é satisfatória.

Os dados coletados não traduzem as temperaturas pontuais de cada amostra, uma vez que não há a necessidade de saber em que temperatura estão, ou em que temperatura congelam. A leitura do multímetro permite saber que a amostra está em 0°C quando o aparelho retorna um valor igual a 0.0 mV e que está abaixo de zero quando retorna um valor qualquer negativo. Assim, interpretamos que a amostra que alcançou tensões negativas mais rapidamente, congelou primeiro. Outro modo de avaliar qual resfriou e congelou mais rápido é aproximar os pontos de uma reta e avaliar o grau de inclinação de cada curva. Como vemos, a reta azul tem menor grau de inclinação, a água demorou mais para chegar a mesma temperatura da nossa fonte de 0°C .

A curva vermelha apresenta uma acentuada inclinação, isto é, a amostra teve sua temperatura resfriada e congelada rapidamente. O fato dessa curva permanecer por aproximadamente 30 minutos em $-0,1\text{mV}$ se deve ao fato da amostra ter se transformado em gelo, e como gelo é mau condutor térmico, isso impediu a contínua troca de calor que estava ocorrendo. O mesmo ocorre com a curva azul, a qual permanece em $-0,1\text{mV}$ por um período de aproximadamente 2 minutos.

Após as amostras terem congelado, podemos observar que a curva azul (a partir de 53 min) e da vermelha (a partir de 39 min) passam a ter o mesmo grau de inclinação, isso se deve ao fato de utilizamos a mesma massa de água destilada nas amostras. Além disso, quando cada uma congela, congela na mesma temperatura que a outra, a partir desse ponto, a taxa de abaixamento de temperatura pelo tempo só depende do

congelador, o qual foi mantido em nas mesmas condições para cada amostra.

CONCLUSÃO

Esse quebra cabeça de mais de dois mil anos é, de fato, muito interessante de ser estudado porque permite aplicarmos diversos conceitos termodinâmicos e eletrônicos na busca por explicações. Além disso, tal paradoxo pode se tornar uma ferramenta útil para despertar a curiosidade científica de muitos jovens estudantes.

Desse modo, podemos concluir que a reprodução do Efeito Mpemba, em condições controladas e de modo científico, estimula a investigação e enriquece o espírito científico. A montagem experimental, permitiu coletar dados satisfatórios, os quais nos permitem concluir que as explicações encontradas na literatura são coerentes e aceitáveis.

Avaliando a lista de materiais e o método empregado, podemos concluir que a reprodução do mesmo pode se dar em ambiente escolar, realizado por estudantes, sob a orientação do professor, como um projeto de escola ou de feira de ciências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. http://cfq.absolutamente.net/c_1.html - Destaca o assunto como algo inusitado e aponta algumas explicações relevantes para o fenômeno. Apresenta resumo da descoberta de Erasto Mpemba.
2. <http://fisicomaluco.com/wordpress/2008/03/17/como-fazer-gelo-rapidamente-curiosidades-da-termodinamica-e-efeito-mpemba/> - Aponta as principais explicações para o fenômeno. Não apresenta resumo da descoberta de Erasto Mpemba.
3. <http://stoa.usp.br/fep1132008/files/-1/3445/Mpemba.pdf> - Aponta o fenômeno como relevante para a aplicação do método científico. Não apresenta resumo da descoberta de Erasto Mpemba, porém cita que o Efeito fora observado antes de Mpemba.

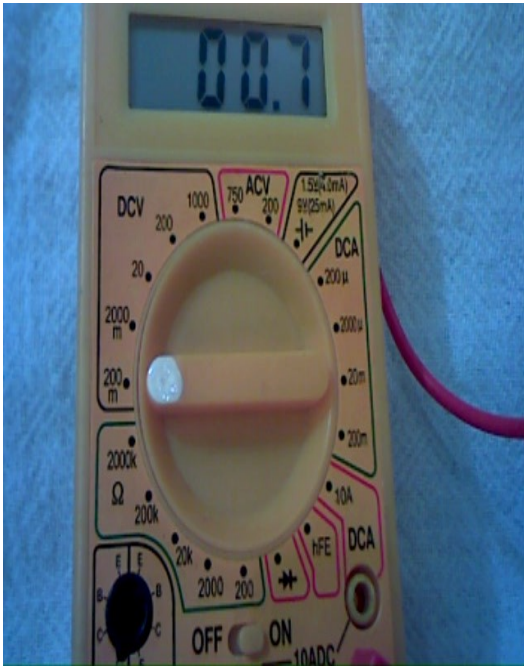
4. <http://www.school-for-champions.com/science/mpemba.htm> - Além de apontar algumas explicações sobre o efeito, também apresenta alguns conceitos termodinâmicos fundamentais para o entendimento. Apresenta breve resumo da descoberta de Erasto Mpemba. (versão em Inglês)
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Mpemba_effect - Apresenta um pouco mais de detalhes sobre a descoberta feita por Erasto Mpemba, além de dar as possíveis explicações. Apresenta, também, uma repleta lista de referências bibliográficas.
6. http://www.sciencebuddies.org/mentoring/project_ideas/Phys_p032.shtml - Mais bem elaborado, apresenta um resumo histórico da descoberta de Eras Mpemba, relata ponto a ponto as possíveis explicações e além disso apresenta um gráfico, da temperatura pelo tempo, confirmando que o fenômeno ocorre experimentalmente. Além disso, apresenta uma considerável bibliografia. (versão em Inglês)
7. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/freezhot.html#c1> - Apresenta apenas um esquema de montagem e algumas referências bibliográficas.
8. J. Walker, "The Amateur Scientist: Hot water freezes faster than cold water. Why does it do so?," Sci. Am. 237 (3), 246-257 (1977). - O artigo tem dados de experimentos reais e inclui detalhes sobre os métodos experimentais usados.
9. Monwhea Jeng, "The Mpemba effect: When can hot water freeze faster than cold?" American Journal of Physics, volume 74, number 6, page 514 (2006). - Artigo fundamental para a elaboração desse projeto. Foi gentilmente indicado pelo coordenador da disciplina. Nele, o autor faz um interessante levantamento de relatos sobre o fenômeno desde os gregos até os dias atuais. Além disso, apresenta dados reais e aponta os principais argumentos que explicam tal efeito.
10. <http://www.youtube.com/watch?v=ywh5TQ5B4Es&feature=related>- Vídeo demonstrando congelamento mais rápido de amostra de água quente.

APÊNDICES

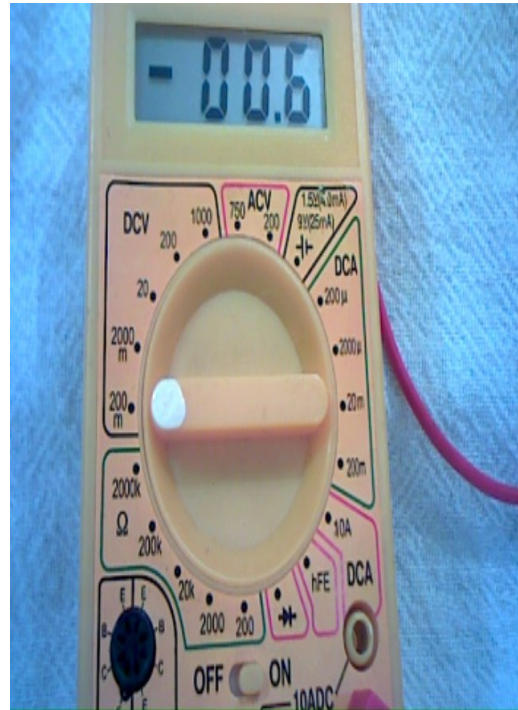
Fotos do Experimento:



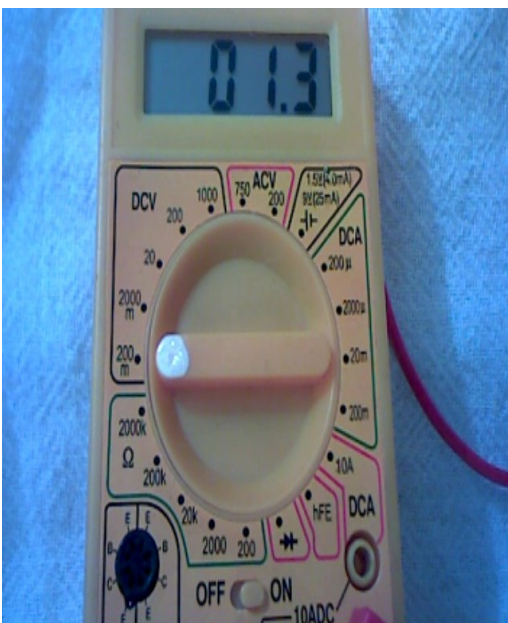




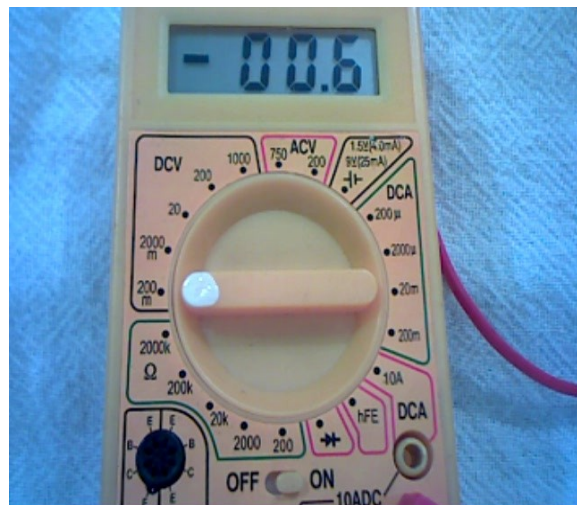
registro da tensão em $t=0$, água destilada a 20°C



registro da tensão em $t=60\text{min}$, água destilada a 20°C



registro da tensão em $t=0$, água destilada a 50°C



registro da tensão em $t=45\text{min}$, água destilada a 50°C

COMENTÁRIO DO ORIENTADOR

O aluno apresentou um problema intrigante, mostrando de maneira simples, mas contundente, um fenômeno que contraria o senso comum. Este tipo de demonstração é muito importante para despertar a curiosidade científica de alunos, inclusive dos níveis mais fundamentais.