

F 609 C - Tópicos de Ensino de Física I **Relatório Parcial**

Influência de alguns fatores nas trocas térmicas

Aluno: Vinício Merçon Poltronieri RA72594
Curso: 04 - Licenciatura em Física
Coordenador: Prof. José J. Lunazzi
Orientador: Prof. Ennio Peres da Silva

vinciomercon x hotmail.com

lunazzi x ifi.unicamp.br

lh2 ennio x ifi.unicamp.br



Campinas, 06 de junho de 2011

1 – Introdução:

1.1 - Resumo:

A Física é uma ciência que tem grande capacidade de surpreender a todos. Muitas vezes, uma idéia intuitiva que se tem é desbancada pelos fenômenos naturais. Neste experimento, pretende-se mostrar que as pessoas podem se enganar ao tentar conservar uma garrafa com água gelada pelo maior tempo possível.

Será considerado o exemplo de duas pessoas que resolvem congelar uma garrafa de água cada, para beber água gelada durante algumas horas em um dia quente, pois sabem que não terão geladeira próxima por um bom tempo. Uma delas tem medo de que sua água acabe logo e fique com sede ou tenha que beber água quente, e então resolve aguentar a sede por um bom tempo antes de começar a beber. A outra não se preocupa com isso e bebe a água de tempos em tempos, conforme o gelo vai derretendo.

É surpreendente para muitos, mas a pessoa que está economizando terá seu gelo derretido mais rapidamente que a outra!

1.2 - Resultados obtidos:

Duas garrafas PET idênticas com gelo são postas ao ar ambiente para “derreter” o gelo. A cada 20 ou 30 minutos é retirada toda a parte líquida de uma delas, enquanto a outra permanece como está.

Embora a maioria dos observadores acreditem que retirar a água líquida faz o gelo derreter mais rápido, claramente o efeito é o contrário, devido à baixa condutividade térmica do ar que envolve o gelo.

Esse é um dos princípios básicos da fabricação de algumas garrafas térmicas, que tem uma parede com ar ou vácuo para reduzir a perda ou o ganho de calor do ambiente pelo líquido em seu interior.

2 – Descrição do experimento:

2.1 - Três versões do experimento foram testadas:

Na primeira, sempre comparando duas garrafas PET de 500ml com gelo, deixadas trocando calor com o ambiente. De uma delas retira-se a água líquida que se forma de tempos em tempos (aproximadamente 20 a 30 min), enquanto a outra é deixada com a água formada pela fusão do gelo.

Esta versão foi testada exaustivamente, de modo que 100% das vezes o resultado final foi o mesmo, quanto a qual dos dois gelos se derretem primeiro, sempre sobrando cerca de 1/3 do gelo inicial na garrafa de onde se retirou o líquido em relação à outra.

A temperatura ambiente, no entanto, foi sempre um fator de grande influência, pois em dias mais quentes (acima dos 30°C) o gelo se fundiu totalmente em uma das garrafas em cerca de 2 horas, enquanto em um dia mais frio ou em locais com ar-condicionado (20-23°C) foram necessárias até 4 horas para que a primeira garrafa tivesse todo seu gelo fundido.

Na segunda, o experimento foi parecido, mas com um sistema de aquecimento (um recipiente de metal e água, com um ebulidor elétrico).

Esta versão apresentou um resultado muito melhor em termos de tempo (20 a 30 minutos até o fim do processo) e também de quantidade de gelo derretido. Quando uma garrafa já não tinha mais gelo, a outra ainda permanecia com mais da metade do gelo inicial, sempre derretendo primeiro a garrafa de onde não se retira a parte líquida.

Na terceira, foi feito um aparato para automatizar o processo realizado ao ar ambiente, com um suporte para as garrafas e furos com tubos na parte de baixo de uma delas, para que a água escorra.

Devido a dificuldades em relação à resistência das peças, falta de uma cola adequada, não escoamento da água pelo tubo e problemas com dilatação/contração da água quando muda de fase, esta versão foi deixada para ser realizada caso as outras tivessem sucesso, o que aconteceu. Isso, porém, fez com que pouquíssimos testes práticos fossem realizados, necessitando de freqüentes ajustes.

A intenção dessa montagem é permitir que alunos possam observar em sala de aula o que acontece, pois o experimento se finaliza em menos tempo do que as aulas de um período. Deve ser automático para que não seja necessário a presença constante de uma pessoa retirando o líquido do recipiente.

2.2 - Fotos do Experimento:



Versão 1: Duas garrafas de gelo começando a fundir, num dia a aproximadamente 21 a 23°C



Versão 1: Após 30 min a garrafa da direita tem seu líquido retirado. Praticamente nada de novo é observado



Versão 1: Após 1:00h a garrafa da direita pode ser melhor vista, pois a da esquerda está embaçada



Versão 1: Após 1:30h ainda não se observam grandes novidades



Versão 1: Após 2:00h já é clara a diferença entre as quantidades de gelo



Versão 1: Após 2:30h falta pouco para o gelo da direita terminar de derreter completamente



Versão 1: Após 3:00h o experimento já está praticamente finalizado.



Versão 1: Não é mais retirado líquido do recipiente da esquerda, e ambos são deixados atingir o equilíbrio térmico com o ambiente para mostrar a quantidade de gelo restante nele.



Versão 2: Como resultado final, a quantidade de gelo que ainda não derreteu na garrafa da direita é bem maior. O sistema de aquecimento potencializa o efeito da baixa condutividade térmica do ar.



Versão 3: semelhante à versão 1, porém com furos para que a água líquida escorra para fora de uma das garrafas sem que seja necessário uma pessoa retirar manualmente o líquido da garrafa.



Versão 1 Aplicada e demonstrada para alunos de nível Médio

2.3 – Aplicabilidade do experimento:

Para uma exposição curta, a segunda versão do experimento, com sistema de aquecimento, é a mais adequada, pois dura relativamente pouco tempo e tem ótimos resultados, muito visíveis e sensíveis.

Já a terceira versão se mostra adequada à aplicação em sala de aula, que pode durar três ou quatro aulas até o desfecho. O professor de Física ou de Ciências pode planejar uma visita à sala logo depois do fim do processo, para explicar mais detalhes aos alunos.

A primeira versão foi aplicada de fato para alunos de um cursinho Pré-Vestibular, em uma sala de estudos, o que resultou em uma grande aquisição de dados por meio de perguntas e discussões dos alunos interessados no experimento, vide Anexos I, II e III.

3 – Dificuldades encontradas:

As maiores dificuldades certamente estão relacionadas ao fator tempo. Primeiramente é necessário que as garrafas com água congelem toda vez que um teste for realizado, sendo indispensável que haja um planejamento de pelo menos um dia de antecedência, dependendo da eficiência do congelador. Também é preciso um pouco de paciência enquanto o experimento acontece, pois a fusão do gelo é um processo lento, mesmo com aquecimento.

Também foi difícil ajustar a terceira versão, pois a cola dos tubos nos furos não foi tão simples como se imaginava, falhando muitas vezes, precisando ser refeita. Para verificar se a vedação estava adequada era preciso molhar o aparato, tendo que ser secado com secador de cabelos para colar, demandando mais tempo na montagem.

Foi um pouco difícil, ainda, conseguir autorização para aplicar o experimento no cursinho Pré-Vestibular, que demandou certa burocracia e alguma formalidade junto aos diretores do local.

Não parece possível quantificar a água que condensa na parte exterior dos recipientes, como se imaginava que seria possível, dada a pequena quantidade de água acumulada, principalmente em dias muito secos, ficando apenas um efeito qualitativo muito facilmente notado por observação.

4 – Pesquisas realizadas:

Palavras chaves:

- Condutividade térmica (do vidro, do ar, do plástico, do polietileno tereftalato (PET))
- Garrafa térmica
- Isolamento térmico

Os seguintes sites foram observados as partes utilizadas estão descritas no Anexo IV:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Condutividade_térmica

<http://www.cm-seixal.pt/ameseixal/municepe/utilizacaoRacionalEnergia/Documentos/IsolamentoTermicoVidrosJanelas.pdf>

<http://www.vidrado.com/informacoes-tecnicas-sobre-isolamento-termico-com-vidro/>

<http://casa.hsw.uol.com.br/garrafas-termicas2.htm>

5 – Descrição do Trabalho:

Para se reproduzir, então, a situação descrita, deve-se congelar duas garrafas com água e comparar seus tempos de derretimento. Uma delas será deixada com seu conteúdo e a outra terá toda a água líquida removida de seu interior, conforme o gelo derrete.

Como os recipientes são idênticos, a única diferença funcional entre os dois será o material que envolve o gelo. Em uma se terá água líquida e na outra ar. Nesse caso, tem-se muitos fatores físicos influenciando no que será observado. Alguns desses fatores são relativamente simples de se compreender, sendo o principal deles a condutividade dos materiais.

Considere uma área A de um certo material, com espessura e . Se esta espessura está sujeita a uma diferença de temperaturas ($T_{quente}-T_{fria}$), então uma quantidade de calor (energia térmica) Q irá atravessar esse material a cada intervalo de tempo Δt , seguindo a relação:

$(Q/\Delta t)=K.A.(T_{quente}-T_{fria})/e$, onde K é uma constante chamada condutividade do material, e é determinada experimentalmente para cada material diferente.

Dessa forma, quanto maior o valor de K , mais calor esse material conduz da parte quente para a parte fria.

Observando-se as condutividades da água e do ar seco, que valem respectivamente $0,6J/(s.m.K)$ e $0,026J/(s.m.K)$, espera-se que uma camada de água conduza cerca de 23 vezes mais calor do que uma camada idêntica de ar, pois $0,6/0,026=23,1$.

De fato, no experimento a camada de água é capaz de permitir o derretimento do gelo bem mais rápido, mas a relação entre os tempos é de cerca de duas vezes mais rápido um do que o outro (muito longe dos 23). Isso acontece porque a condutividade térmica explica adequadamente a troca de calor por um material sólido, onde suas moléculas não se movimentam. Mas tanto a água líquida quanto ar tem suas partículas em um movimento chamado de convecção, com partículas de diferentes temperaturas se deslocando no meio, acelerando o processo de trocas térmicas do gelo com o ar ambiente.

Sabe-se que o ar ambiente possui umidade natural e, portanto, moléculas de água na fase gasosa. Quando algumas dessas moléculas perdem certa quantidade de calor, elas podem passar à fase líquida, num processo chamado de condensação. Quanto maior a quantidade de calor perdida por água gasosa, mais moléculas se condensarão. Por isso uma garrafa com água gelada fica com um “suor” envolta. Na verdade a água que está na parte externa da garrafa veio do ar e ali se condensou.

6 – Declaração do Orientador:

“Meu orientador, o Prof. Ennio Peres da Silva ainda não se manifestou sobre o expressado neste relatório final e deu as seguinte opinião:

6.1 – Opinião sobre o Relatório Parcial:

O aluno procurou demonstrar, através de um exemplo simples, um fenômeno físico de grande importância técnica, que é a condutividade térmica dos materiais. Foi importante sua busca por um processo de motivação dos alunos, de forma a obter uma maior fixação dos conceitos e melhor aprendizagem. Deve-se

destacar também sua iniciativa de aplicar o experimento a uma turma de alunos do Ensino Médio, de forma a aferir o impacto de sua proposta.

6.2 – Opinião sobre este Relatório Final (versão 1):

Anexo I – Aplicação do experimento em uma instituição de ensino:

Este experimento (primeira versão) foi realizado sob supervisão do coordenador de plantões de dúvidas, Marcelo Monetti Pavani, e demonstrado para alunos da seguinte instituição de ensino:

Elite Pré-Vestibular Campinas
Fone: (19) 3251-1012
www.elitecampinas.com.br
Rua Antonio Lapa, 78, Cambuí
13025-240 - Campinas, SP

Em uma sala de estudos e plantão de dúvidas, foi exposta a montagem e conforme aquilo despertava a curiosidade nos alunos, que vinham fazer perguntas, um folheto foi distribuído com uma breve explicação do fenômeno que estava sendo observado ali. O conteúdo do folheto segue no Anexo II.

Também muitos professores vieram fazer perguntas e se mostraram interessados, não só professores de Física, mas também de outras matérias, como Biologia, Química e Matemática.

Alguns alunos se ofereceram a responder pessoalmente ou por escrito o que achavam, o que foi surpreendente, pois não foi pedido a eles que respondessem nada a princípio. Um resumo dessas respostas segue no Anexo II.

Anexo II – Folheto distribuído aos alunos que se interessaram pelo experimento:

EXPERIMENTO DE TERMOLOGIA

Antônio, irmão mais velho de **Benedito**, resolve acampar com seu irmão num belo domingo, quando a meteorologia prevê sol e muito calor.

Como decidiram acampar de última hora, não tiveram tempo de comprar uma caixa de isopor ou uma bolsa térmica.

Para matarem a sede e se refrescarem, resolvem congelar duas garrafas Pet de água (uma para cada irmão) e levar ao acampamento.

Benedito, sempre impaciente, não segue os conselhos do irmão e já começa a beber a água logo que os dois chegam ao local do acampamento.

Antônio, sempre precavido, diz:

“Moleque, você está bebendo toda a sua água agora, este gelo vai derreter e você vai querer beber a minha água gelada depois”.

A idéia de **Antônio** é só beber água quando estiver com muita sede, de modo que seu gelo não derreta logo.

Algumas perguntas:

01. Seria possível estimar quanto tempo dura uma garrafa com água gelada na situação descrita?
02. Se Benedito escutasse os conselhos do irmão, quanto tempo a mais eles poderiam ficar acampando sem que o irmão mais novo começasse a reclamar que sua água gelada acabou?
03. Garrafas com líquidos colocadas no congelador costumam quebrar ou até estourar. Como Antônio e Benedito podem resolver esse problema?

Buscando responde-las, propomos a seguinte montagem:

- Congelamos duas garrafas de plástico com água.
- De tempos em tempos (uns 15 a 20 minutos), retiramos toda a água líquida do interior de uma das garrafas, que seria a de **Benedito**, e deixamos a outra cheia, que seria a de **Antônio**. Fazemos isso até que todo o gelo derreta.
- Anotamos quanto tempo cada garrafa leva para transformar todo o gelo em água líquida.

Sugestões para a observação:

- A aparência externa das garrafas é idêntica?
- O gelo dentro de cada garrafa tem o mesmo tamanho? Qual parece maior?
- Coloque a mão nas duas garrafas. As temperaturas são iguais? Qual parece mais fria? Por quê?

Dados aproximados possivelmente relevantes para observações mais detalhadas:

Densidade da água líquida: $1,0\text{g/cm}^3$

Densidade do gelo: $0,9\text{g/cm}^3$

Calor específico da água: $1,0\text{cal/g}^\circ\text{C}$

Calor específico do gelo: $0,5\text{cal/g}^\circ\text{C}$

Calor latente de fusão do gelo: 80cal/g

Calor latente de condensação do vapor de água: -540cal/g

Condutividade térmica da água: $0,6\text{J}/(\text{s.m.K})$

Condutividade térmica do alumínio: $237\text{J}/(\text{s.m.K})$

Condutividade térmica do vidro: $0,8\text{J}/(\text{s.m.K})$

Condutividade térmica do ar seco: $0,026\text{J}/(\text{s.m.K})$

Condutividade térmica do polietileno tereftalato (PET): $0,024\text{J}/(\text{s.m.K})$

Anexo III – Algumas respostas e reações de alunos e professores que observaram o experimento:

Todos os que leram o folheto e viram as garrafas e tocaram nela ficaram muito curiosos. Todos eles se convenceram de que a garrafa de “Antônio” ficaria mais tempo com gelo, e se surpreenderam quando chegou ao fim a exposição e o resultado havia sido exatamente o oposto.

Também muitos tentaram adivinhar os resultados pensando como se fosse um exercício a ser resolvido. Alguns dos fatos mais marcantes estão apresentados abaixo:

Sobre a pergunta (01.), apesar de não haverem dados suficientes, a maioria dos alunos tentou fazer algum cálculo para encontrar o tempo de derretimento do gelo. Também não é fácil determinar o efeito de convexão envolvido. Uma aluna chegou surpreendentemente ao valor de 278min, que seria uma aproximação razoável, porém as contas apresentadas mostraram grande confusão de conceitos, como considerar a condutividade térmica da água como sendo a potência do calor absorvido.

A pergunta (02.) obviamente foi feita para mostrar como a intuição sobre certos fatos muitas vezes nos engana. Também não poderia ser respondidas, pois não haviam dados suficientes. Porém nenhum aluno mostrou versatilidade para propor que faltaria alguma medida adicional, ou alguma teoria mais avançada para responder a isso.

Na pergunta (03.) foi os alunos se arriscaram mais a responder, pois eles estudaram dilatação térmica há poucos dias. Muitos propuseram que fosse retirada uma quantidade de líquido calculável, antes de colocar a garrafa no congelador. Mas não atentaram ao fato de a densidade do gelo ser consideravelmente menor do que a da água, enquanto a dilatação térmica é um efeito muito menos sensível.

Os alunos que tocaram o experimento e observaram mais de perto deram opiniões contraditórias sobre a temperatura que sentiam na garrafa. Por conter gelo fundente, alguns deles eram levados a pensar que a sensação térmica de 0°C era sentida em ambas as garrafas, mas a maioria se surpreendeu ao notar que uma parecia mais “gelada” do que a outra.

Por fenômeno de refração, a água dentro de uma das garrafas fazia a aparência do gelo em seu interior ser maior, criando mais uma falsa impressão nos observadores, pois a quantidade de gelo nessa garrafa era menor. A explicação mais detalhada sobre isso não foi mostrada, pois o dióptro esférico não faz parte do conteúdo ensinado para aqueles alunos, mas foram informados resumidamente de como a luz se desvia e cria uma aparência maior para o gelo no interior.

Também observaram que uma das garrafas ficava mais “suada”, com mais água líquida na parte exterior. Todos mostraram entender muito bem que aquilo era efeito de condensação da água do ar, que acontecia mais intensamente em uma das garrafas, que, portanto, trocava mais calor com o ambiente no mesmo intervalo de tempo.

Anexo IV – Referências pesquisadas:

1) Em http://pt.wikipedia.org/wiki/Condutividade_térmica encontramos:

Condutividade térmica de materiais a 27°C

Material	Condutividade térmica [J/s/(m·K)] ou [W/(m.K)]
Prata	426
Cobre	398
Alumínio	237
Tungstênio	178
Ferro	80,3
Vidro	0,72 - 0,86
Água	0,61
Tijolo	0,4 - 0,8
Madeira (pinho)	0,11 - 0,14
Fibra de vidro	0,046
Espuma de poliestireno	0,033
Ar	0,026
Espuma de poliuretano	0,020

2) <http://www.cm-seixal.pt/ameseixal/municipe/utilizacaoRacionalEnergia/Documentos/IsolamentoTermicoVidrosJanelas.pdf>

Este documento não pode ser editado ou copiado. Se trata de um informativo de uma agência portuguesa sobre isolamento térmico em vidros e janelas, com princípios físicos parecidos com os aplicados no experimento.

3) Em <http://www.vidrado.com/informacoes-tecnicas-sobre-isolamento-termico-com-vidro/> temos as seguintes informações:

Transmissão térmica de uma superfície

Coefficiente U

As transferências térmicas através duma superfície por convecção, condução e radiação, exprimem-se através do coeficiente U^* .

Este representa o fluxo de calor que atravessa um m^2 da superfície para uma diferença de temperatura de 1 grau entre o interior e o exterior.

O seu valor convencional é estabelecido a partir dos coeficientes de troca superficial he

e hi anteriormente definidos e calcula-se segundo a norma EN 673.

Pode-se calcular um coeficiente U específico, por recurso a diferentes valores de he, para determinadas velocidades do vento e novas condições de temperatura.

Quanto menor é o coeficiente U, menores serão as perdas térmicas, e melhor será o isolamento da superfície.

*Coeficiente U desde a aplicação das normas europeias, anteriormente coeficiente k

Coeficiente U dos vidros

Uma superfície em vidro pode ser constituída por um vidro simples ou por um vidro duplo que permite um melhor isolamento térmico.

O princípio do vidro duplo consiste em encerrar entre dois vidros uma lâmina de ar seco e imóvel com o objetivo de limitar as transferências térmicas por convecção e de tirar vantagem da baixa condutividade térmica do ar.

Melhoria do coeficiente U dos vidros

Para melhorar o coeficiente U, é necessário reduzir as transferências térmicas por condução, convecção e radiação.

Como não é possível agir sobre os coeficientes de troca superficial, introduz-se essa melhoria através da diminuição das trocas entre os dois componentes do vidro duplo:

- As transferências por radiação podem ser diminuídas utilizando vidros com capas de baixa emissividade.

Para explorar esta possibilidade, a SAINT-GOBAIN GLASS desenvolveu vidros com capas de baixa emissividade que permitem obter um isolamento térmico reforçado:

- vidros com capas “sob vácuo”: gama SGG PLANITHERM, SGG PLANISTAR, gama SGG COOL-LITE K, gama SGG COOL-LITE SK;

* valor U calculado para um enchimento com 90% Árgon.

- As transferências por condução e convecção podem ser diminuídas substituindo o ar que se encontra entre os dois vidros por um gás mais pesado com uma condutividade térmica mais baixa (geralmente Árgon).

4) Em <http://casa.hsw.uol.com.br/garrafas-termicas2.htm>

Funcionamento interno de uma garrafa térmica

Um modo de montar um recipiente semelhante a uma garrafa térmica seria pegar uma jarra e envolvê-la, com um **material isolante**, por exemplo uma espuma de poliestireno (isopor). O isolante funciona de duas maneiras: primeiro, o **plástico** da espuma não é um bom condutor de calor; segundo, o **ar** aprisionado nas cavidades da espuma é um condutor pior ainda. Assim, ao envolver o recipiente com o isolante reduzimos a condução. Além disso, com o ar separado em pequenas bolhas, outra coisa que o isolante faz é praticamente eliminar a convecção no seu interior. Por essa razão, a transferência de calor desse material é bem pequena.

Existe porém um isolante melhor que a espuma: o **vácuo**. O vácuo é a ausência de átomos. Um vácuo perfeito não contém átomo nenhum. É quase impossível criar um vácuo perfeito, mas pode-se chegar bem próximo disso. Sem os átomos, a condução e a convecção são completamente eliminadas.

O elemento principal de uma garrafa térmica é uma **ampola de vidro** de parede dupla, com o espaço entre as paredes evacuado. A ampola de vidro é frágil, e por isso ela é envolvida por um invólucro externo de plástico ou metal. Na maioria das garrafas, a ampola pode ser desatarrachada e removida.

Além do vácuo entre as paredes, é comum que o vidro da ampola seja **prateado** (como um espelho) para reduzir a radiação infravermelha. A combinação do vácuo e do prateamento reduz significativamente a transferência de calor por convecção, condução e radiação.

Então, por que líquidos quentes numa garrafa *ainda assim* resfriam? Por que não existem isolantes perfeitos. Sempre há alguma perda de calor através da **tampa**, por melhor que seja o isolante térmico utilizado.

Além disso, o próprio vidro transfere um pouco de calor por condução na parte superior da ampola, onde as duas paredes se encontram. Por isso, assim que colocamos o líquido quente no interior da garrafa, ele vai se esfriando, embora muito lentamente.

A garrafa "sabe" se o líquido que está dentro está quente ou frio? Não. O que ela faz é limitar a transferência de calor através das paredes. Isso deixa o líquido dentro da garrafa com temperatura quase constante por um longo tempo (independentemente do líquido estar quente ou frio).

