

## A PROPAGAÇÃO DO CALOR

### **META**

Fazer com que o estudante comece a pensar no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação. Fazer com que os alunos percebam, através de um texto básico complementado com atividades lúdicas, *applets* de ensino, vídeos, que o conceito de propagação do calor pode ser apreendido de forma simples e divertida. Que os estudantes aprendam a ligar a física aprendida na escola à física das coisas.

### **OBJETIVOS**

Ao final desta aula, o aluno deverá:

estar cientes das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral. Estes, também, devem ter compreendido que as ciências naturais estão baseadas na experimentação e que esta é feita de ensaios, experiências e medidas e que estas levam a compreensão e matematização dos conceitos físicos (naturais em geral). Que a terminologia é de fundamental importância na compreensão dos fenômenos naturais, tais como o vento e as correntes marítimas.

### **PRÉ-REQUISITOS**

Os alunos deverão ter cursado psicologia da educação física A e B.

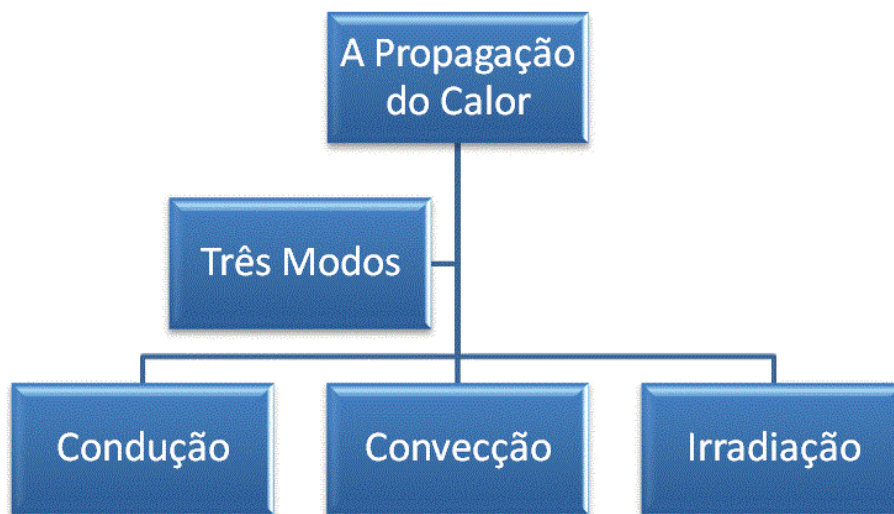
### INTRODUÇÃO

Vamos expor nesta aula os conceitos básicos de propagação do calor e complementá-lo com sugestões de experimentos caseiros (baixo custo) que podem ser realizados em sala de aula. Vamos mostrar vários links de applets e vídeos aulas que podem ser usado em conjunto ou como material complementar às aulas.

No final do capítulo expomos parte de um texto – “*Correntes Oceânicas e Massas de Água*” – para mostrarmos a importância do conceito “formas de propagação do calor” no entendimento de fenômenos naturais e aplicações tecnológicas. Ao longo deste curso daremos grande ênfase a esta abordagem, principalmente chamando a atenção para as aplicações de conceitos físicos em ciência e tecnologia.

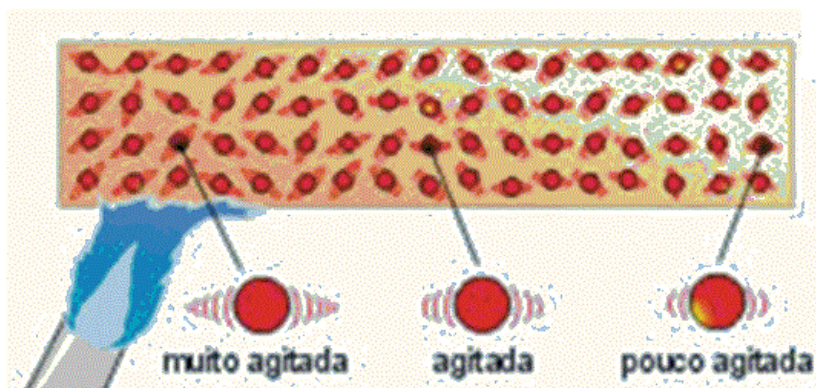
### A PROPAGAÇÃO DO CALOR [BISQUOLOTO]

O calor é uma forma de energia que se propaga do corpo mais quente para o mais frio. Esse processo pode ocorrer por três mecanismos diferentes: a condução, a convecção e a irradiação.

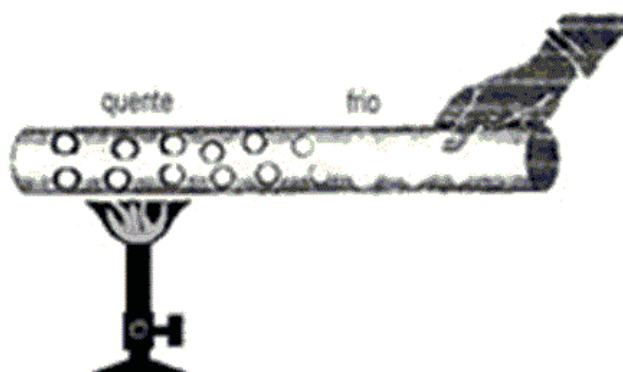


### CONDUÇÃO [FUTURENG]

Condução térmica é um dos processos de transferência de calor, que geralmente ocorre em materiais sólidos. Este ocorre por que os sólidos são formados por moléculas ou átomos ligados rigidamente. Assim, tomemos um bastão com extremidades a temperaturas diferentes. Ver figura da página seguinte por estrutura entre parênteses. Podemos pensar que o calor vai passando de molécula para molécula (ou átomo) até que todo o sólido se encontre a mesma temperatura.



Experimente pegar uma vareta metálica de uns 30 cm e aquecer uma das extremidades na chama de uma vela. Após algum tempo, a extremidade que segura também estará quente. Isso acontece porque o calor se propaga através da vareta e atinge a mão. É a esse processo de propagação do calor através das moléculas dos materiais que chamamos condução. Esse processo mantém-se também através de objectos que estejam fisicamente em contacto um com o outro.



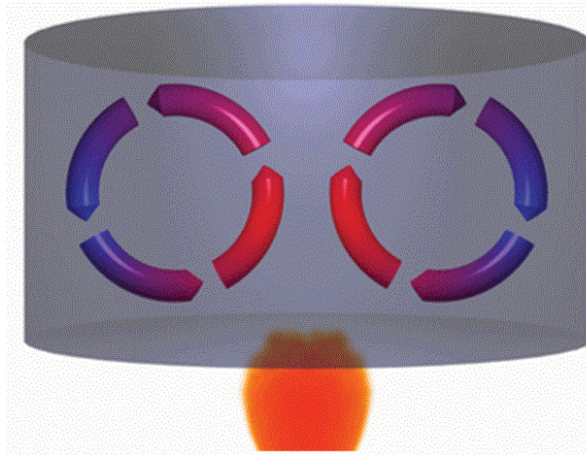
Os materiais em geral apresentam diferentes condutibilidades, ou seja, alguns conduzem mais calor que outros. Os metais costumam ser bons condutores de calor, enquanto a lã de vidro, a borracha, o EPS e a madeira são maus condutores; podemos até dizer que são isolantes térmicos (não conduzem calor).

Em dia frio, é comum usarmos agasalhos grossos para nos proteger das temperaturas baixas. Erroneamente dizemos que a roupa de inverno é quentinha. O que ocorre é que o nosso organismo está a uma temperatura maior que o meio ambiente e por isso estamos propensos a ceder calor. O agasalho não permite que isso aconteça, pois ele é feito de materiais que são isolantes térmicos: couro, poliéster, etc.

Q1. Por que as panelas possuem cabos de madeira ou de plástico?

### CONVECÇÃO [BISQUOLOTO]

A transmissão de calor por convecção ocorre exclusivamente nos elementos fluidicos, ou seja, em líquidos e gases. O processo é estabelecido pela movimentação de massa fluidica como pode ser observado na figura abaixo.



Ao se aquecer o recipiente por baixo, a porção de líquido que se encontra na parte inferior irá se aquecer rapidamente. Esse por sua vez dilata e se tornando menos denso e mais leve (peso) e, por isso, acaba subindo para a parte superior. O líquido que está em cima está mais frio e mais denso (pesado) e, por isso, desce. Assim se estabelece uma corrente pela qual o calor é transmitido. Essa corrente é denominada corrente de convecção.

Um exemplo prático é a instalação dos aparelhos de ar condicionado que deve ser feita na parte superior do ambiente. Quando ele é ligado, emite o ar frio que, por ser mais denso, desce para a porção inferior da sala, criando assim uma corrente de convecção e deixando a temperatura ambiente homogênea mais rapidamente.

**QUESTÃO:** Explique como ocorrem as ventanias quando uma frente fria atinge uma massa de ar quente.

### RADIAÇÃO

O processo de transmissão de calor de um corpo para outro sem que haja intervenção de um meio material é denominado de radiação. Qualquer objeto libera energia radiante, sendo que objetos a uma maior temperatura liberam mais energia radiante que objetos a uma menor temperatura. A transferência de calor por radiação envolve a faixa do espectro eletromagnético conhecida por infravermelho, corpos frios, podendo atingir o espectro da luz visível, corpos quentes.



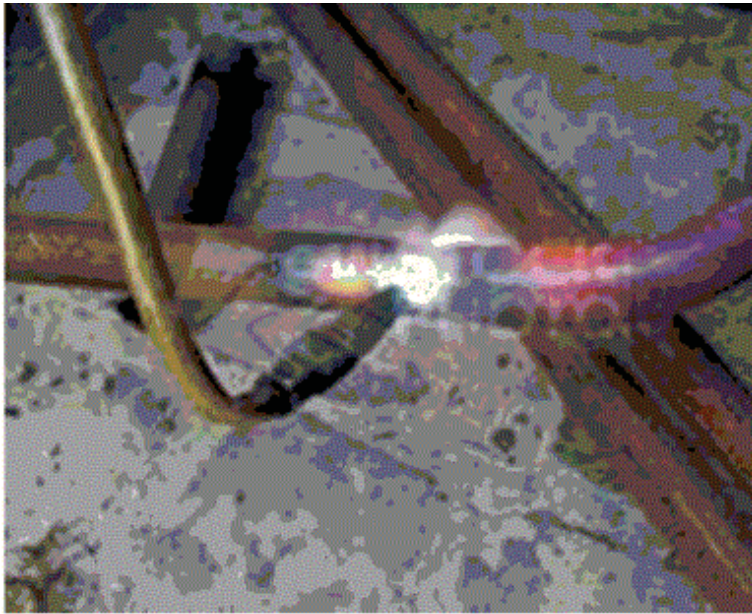


Figura 1 - Metal aquecido. Canstockfoto.com.br

Note na figura acima que no ponto onde a chama atinge o metal sua cor tende ao branco e na parte à direita vai para o vermelho. O nome infravermelho vem do fato que metais aquecidos a temperaturas insuficientes para adquirirem a cor vermelha o calor só pode ser sentido aproximando o corpo dele. Ver figura abaixo.



Figura 2 - Ferro de passar a temperatura na faixa do infravermelho. [portaldoprofessor.mec.br]

Note-se que nas fotografias tiradas com máquinas infravermelhas o espectro de cor está invertido. Ver foto da página que segue..

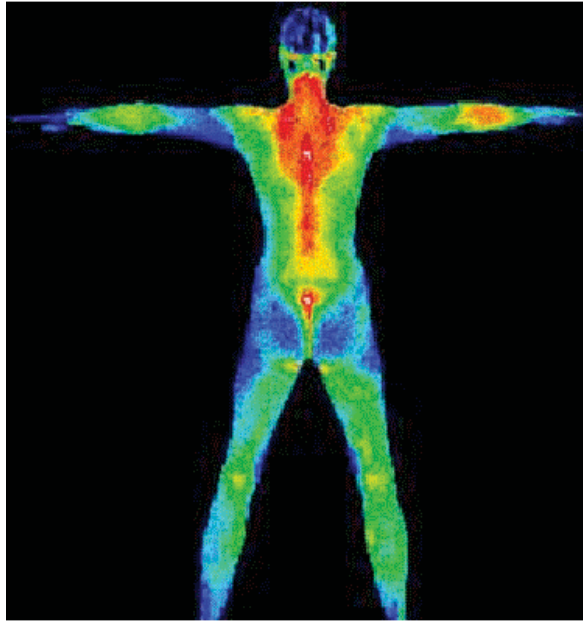


Figura 3 - Foto infravermelha de um homem. [portaldoprofessor.mec.br]

Alguns materiais, como o vidro, são transparentes à radiação visível, mas opacos à radiação infravermelha [2]. Quando deixamos um carro estacionado em um dia ensolarado, o interior se torna muito quente, pois o vidro permite que a luz solar passe. Essas, por sua vez, ao incidir nos objetos que ali estão, são absorvidas por eles se aquecendo o que fará com que os mesmos emitam radiação infravermelha. Como o vidro é opaco a essa radiação, ela ficará presa no interior do veículo, fazendo que a temperatura interna se torne mais alta que a externa. Em outras palavras, o carro funcionará como uma estufa.

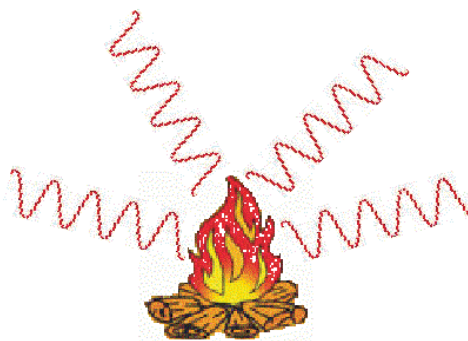


Figura 4 - Animação gráfica do modo de propagação de calor – Radiação. [4]



### ATIVIDADES

1. Pesquisa
  - a) Pesquise o efeito estufa.
  - b) Visite o *site* <http://penta3.ufrgs.br/CESTA/fisica/calor/> e veja como funciona um coletor solar (de energia).

c) Visite o *site* da Prof<sup>a</sup> Berenice H.W. Stensmann abaixo e faça uma análise dele. [http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008\\_02/Berenice/aula3.html](http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Berenice/aula3.html)

d) Visite o *site* abaixo (F.Garcia) e faça uma análise dele.

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/transporte/conduccion/conduccion.htm#Solución%20analítica>

## SIMULAÇÃO EM JAVA

1º *Applet* - No *link* abaixo há uma simulação onde dois gases estão inicialmente com temperaturas diferentes. Se você clicar na faixa vermelha que se encontra entre os dois recipientes, será possível observar as moléculas do recipiente com maior temperatura transferirem energia para as outras que estão no de menor temperatura. Observe também os termômetros que estão ao lado. Você verá o gás mais frio esquentar e o mais quente esfriar.

Universidade de *Oregon* (<http://jersey.uoregon.edu/vlab/Thermodynamics/therm1a.html>)

Tradução

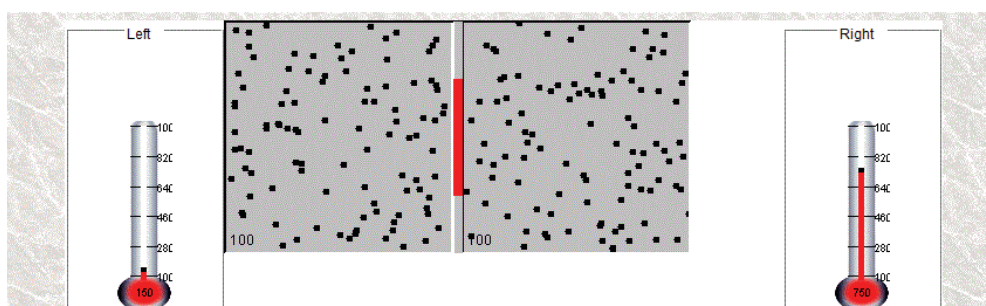
Exercícios para o primeiro experimento

- Escreva abaixo a temperatura de cada cela (recipiente ou janela)
- *Click* uma vez na barra vermelha (e espere!); observe a mistura dos gases
- Qual será a temperatura final dos gases?

Por que há mais partículas do lado frio da câmara que do quente antes de você misturar os gases?

- Quanto tempo demorou para a temperatura atingir o equilíbrio?

Depois do equilíbrio feche (isole) as câmaras e aqueça a da direita até 900 graus. Reabra a câmara e descubra a nova temperatura de equilíbrio.



### Exercises for the First Experiment:

- Write down the initial temperatures for each of the two chambers.
- Click once on the vertical red bar (and WAIT!); observe the mixing of the gases
  - What do you think the final equilibrium temperature will be?
  - Why are there more particles in the cold side than the warm side when you first start mixing the chambers?
  - How long does it take for the temperature to equilibrate?
  - After equilibrium is reached close the chamber door and raise the temperature in the right chamber to 900 degrees. Reopen the chamber to determine the new equilibrium temperature.



### 2° *Applet* (Sala de Física)

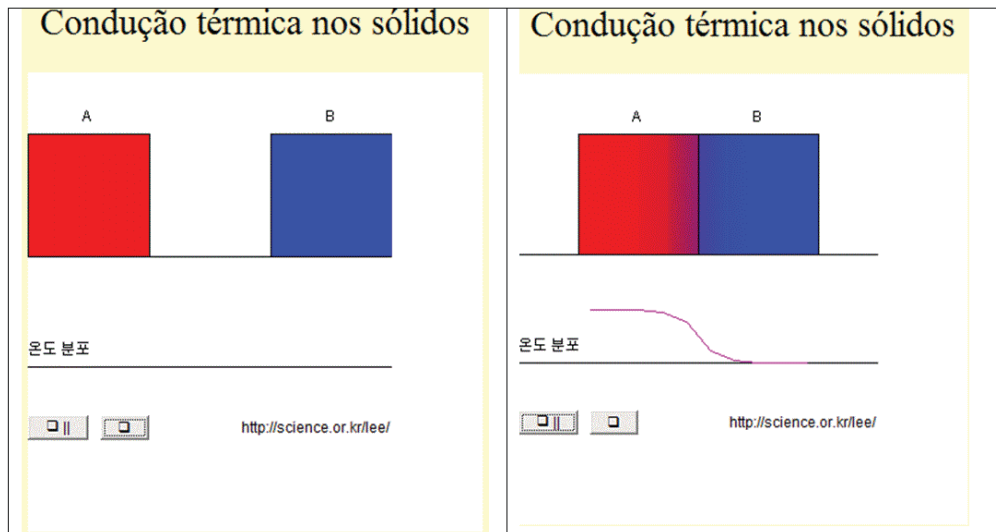


Figura 7 – Applet simulando a situação de dois blocos em dois instantes diferentes. Sem e com contato térmico. (Fonte: <http://br.oocities.com/saladefisica3/laboratorio/conducao/conducao.htm>).

### 3° *Applet* (Sala de Física)

Neste *applet* desenvolvido pelo grupo de ensino da UFRGS temos que ao clicar no botão "Iniciar", podemos observar a animação ilustrando a condução do calor em duas barras metálicas de mesmo comprimento, mesma espessura e com diferentes condutibilidades térmicas, por exemplo, cobre (em amarelo) e alumínio (em cinza). Ilustrativamente, taxas igualmente espaçadas foram fixadas com cera de vela ao longo das mesmas.

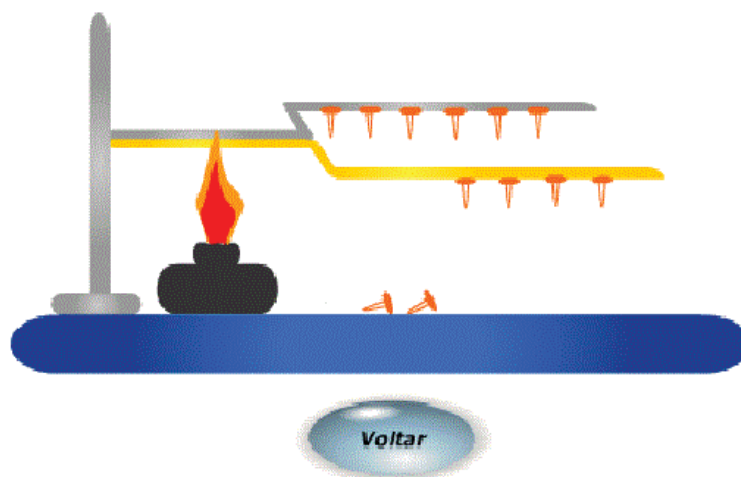
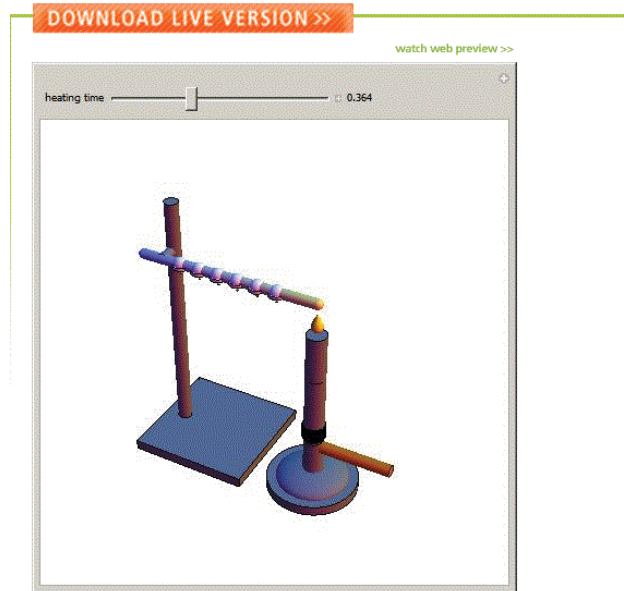


Figura 8 – Applet da UFRGS que demonstra a propagação térmica em dois metais diferentes. (Fonte: <http://penta3.ufrgs.br/CESTA/fisica/calor/condutoresisolantes.html>).



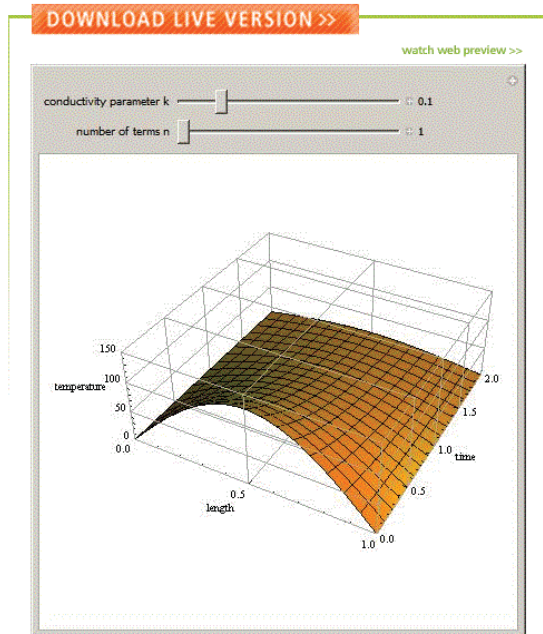
Projeto *Wolfram* - <http://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Physics&start=21&limit=20&sortmethod=recent>

### Experiment on Heat Conduction

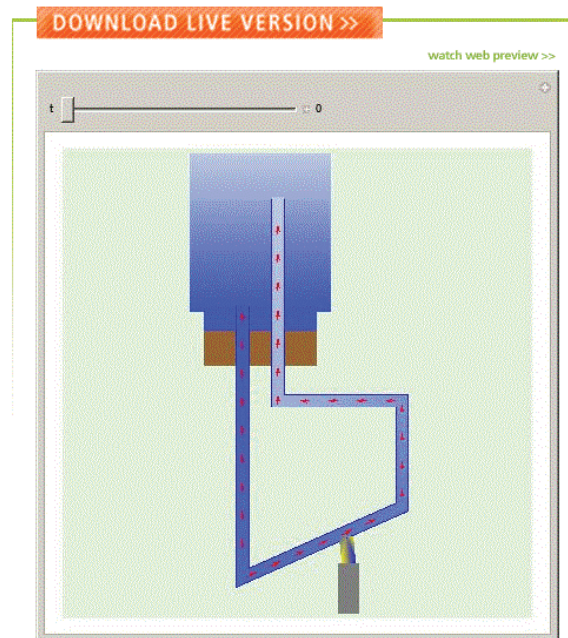


Projeto *Wolfram*

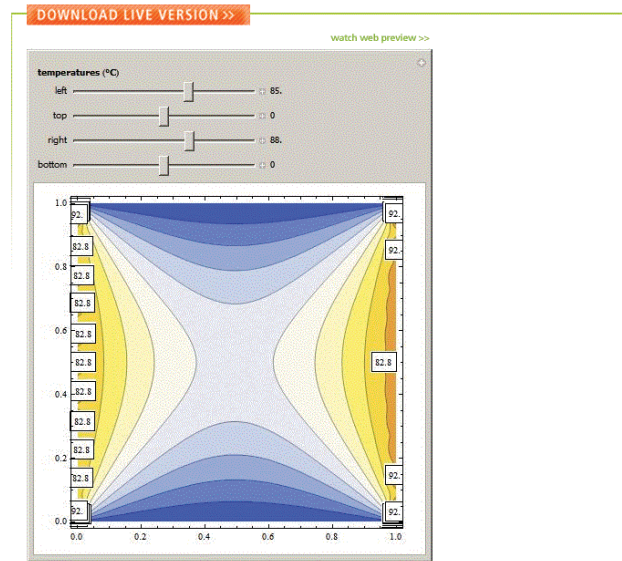
### Heat Transfer along a Rod



### Convection



### Steady-State Temperature Distribution in Conducting Square



Dicas: Ele perguntará se você possui o *software* matemática. Ele abrirá a opção para você instalar uma versão *free*. Você escolhe o matemática e instala. Depois é só abaixar as versões *live* (vivo). Note que se você for para a página inicial (*home*) ele também possui vários *demos* de matemática.



## ATIVIDADES

Condução de Calor (Ponto Ciência)

<http://www.pontociencia.org.br/experimentos-interna.php?experimento=51&CONDUCAO+DE+CALOR>

Objetivos

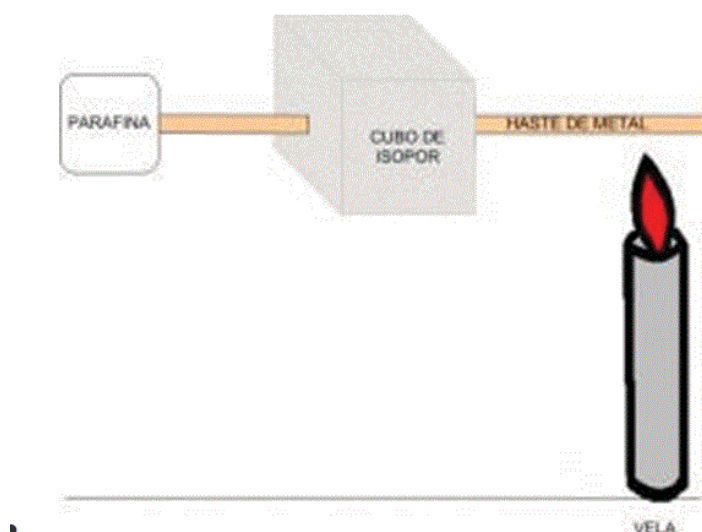
Possibilitar o reconhecimento do calor como forma de energia em transição, bem como os materiais condutores e isolantes.

Conceitos a serem trabalhados:

1. Todos os corpos possuem energia interna.
2. Se existir uma diferença de temperatura entre dois corpos parte desta energia interna irá passar de um para o outro (esta energia passando de um corpo para o outro se chama calor).
3. Um corpo irá perder energia para o outro até que ambos fiquem na mesma temperatura (equilíbrio térmico).
4. Sempre o corpo de maior temperatura perde energia para o de menor temperatura.
5. Quando a temperatura de equilíbrio é atingida, o fluxo de calor para.

## Materiais Necessários

- Hastes de metal (com aproximadamente 20 cm de comprimento);
  - Cubo de isopor (com aproximadamente 3 cm de lado);
  - Parafina (aproximadamente 2 gr.);
  - Vela (pode ser substituída por lamparina ou outra fonte de calor); e
  - Fósforo.
- Montagem do material que será utilizado no experimento, conforme figura anexa. Serão utilizados tantos materiais quantos forem os alunos ou grupos de alunos a critério do Professor.



## CORRENTES DE CONVECÇÃO I (TÉCNICA DA PROJEÇÃO) [NETTO]

## Apresentação

Para evidenciar as correntes de convecção nos líquidos, para uma platéia numerosa, propomos essa montagem.

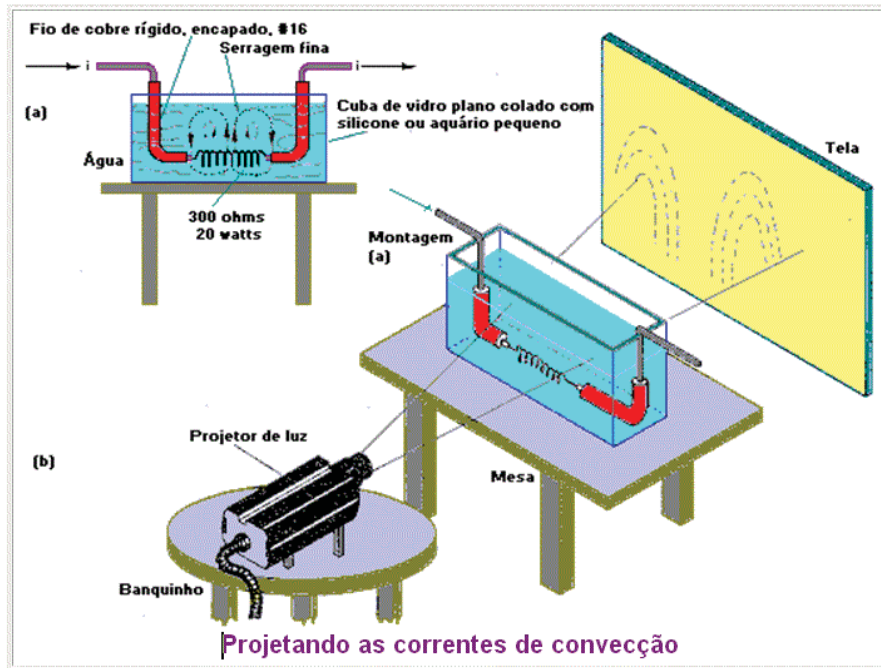
## Montagem

Instale no interior de um pequeno aquário uma fonte de calor, recorrendo ao efeito *Joule*, ou seja, do aquecimento produzido pela passagem de corrente elétrica por um resistor. Esse resistor pode ser obtido 'pronto' no comércio eletroeletrônico sob a denominação de 'ebulidor elétrico'. Outra boa opção é utilizar um resistor de fio de 300 ohms; 20 *watts* de potência é o suficiente. Numa loja de conserto de televisores você poderá consegui-lo a preços módicos, mesmo porque será proveniente de sucata de televisores valvulados.

Para tal resistor, pode-se empregar como fonte de alimentação, a própria rede elétrica. No caso, a Intensidade de corrente elétrica será cerca de 360 *miliampères* e a potência dissipada em torno dos 40 W. Outro recurso é a compra de um elemento aquecedor para ferros de soldar de 50 W (110 V).

Coloque água no aquário, ligue a fonte de luz (pode ser um simples “spot” ou um projetor de *slides*), de modo que a sombra do resistor seja projetada na parte inferior da tela (ou parede).

As correntes de convecção serão vistas como ondulações partindo do resistor quente. A água quente sobe pela região central do aquário e água fria desce pela lateral. Como a água quente tem índice de refração diferente da água fria teremos descontinuidade na luz que atravessa o aquário e isso, na tela, será visto como 'ondulações'.



Nota: Se você dispensar a técnica da projeção, poderá visualizar diretamente tais correntes, no aquário, colocando um pouco de serragem fina na água.

## CORRENTES DE CONVECÇÃO II (VELA, TUBO E DIVISÓRIA) [NETTO]

### Apresentação

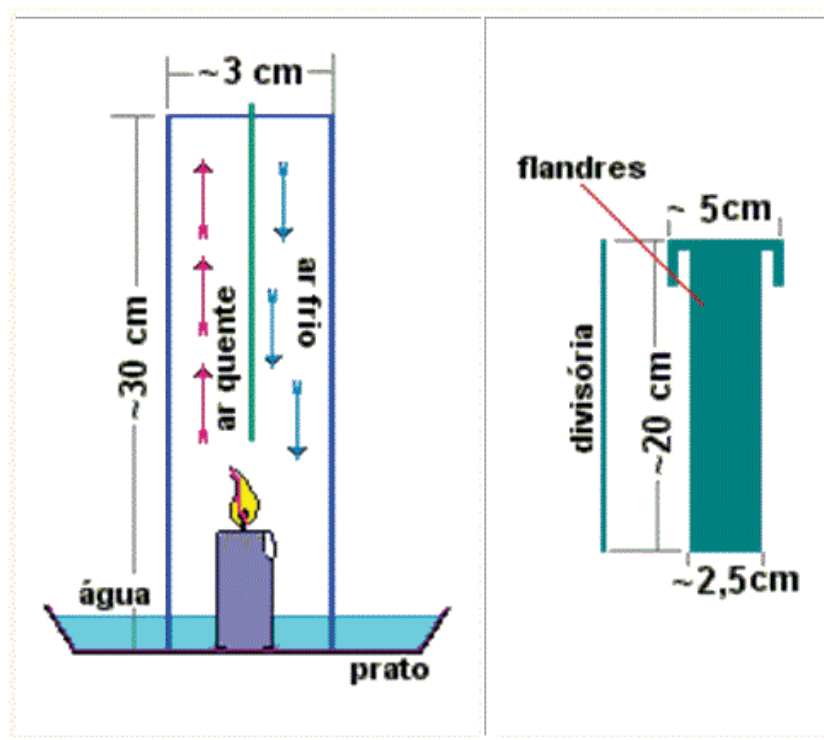
Um dos experimentos mais tradicionais para a visualização da propagação do calor, por correntes de convecção; é o que apresentamos nesse trabalho.

### Material

Prato, água, vela, bastão de incenso, cilindro de vidro ou acrílico de 30 cm de altura e 3 cm de diâmetro e uma folha-de-*flandres* (\*) cortada conforme molde ilustrado abaixo.



## Montagem



## Procedimento

1. Fixe a vela no centro do prato, mediante a velha técnica de derreter e pingar um pouco de estearina (vela derretida) no prato. Coloque cerca de 1cm de altura de água nesse prato; acenda a vela e coloque o tubo de vidro, como se ilustra acima. A finalidade da água no prato é vedar a entrada de ar no tubo pela sua base. A vela permanecerá acesa por pouco tempo; lentamente veremos a chama se extinguir, 'afogada' em seus próprios gases.

A vela apaga porque a reação de combustão combina o oxigênio do ar com o comburente derretido que é a estearina (mistura de ácidos esteárico e palmítico, branca, usada na fabricação de velas), com produção de gás carbônico (e resíduos originários do pavio aceso alimentador da reação e de eventuais impurezas da estearina). Esse gás quente é quem 'afoga' a chama pois impede a entrada de ar novo que traria oxigênio para alimentar a combustão (combustível)

2. Retire o cilindro e acenda a vela novamente; recoloca o tubo sobre ela e encaixe a folha divisória na borda do tubo, como se ilustra. E, desta vez, a chama não se extingue!

Nessa segunda parte da experiência, a folha divisória estabelece dois caminhos para os gases. A subida dos gases aquecidos, por um dos caminhos, possibilita a entrada de ar pelo outro. Com isso, forma-se uma corrente descendente de ar novo (frio) por um lado da divisória e outra ascendente de gases quentes ('ar quente') provenientes da combustão (notadamente, gás carbônico). Assim,

o ar que envolve a chama é continuamente renovado e essa não se extingue.

Para ter um bom visual do que está acontecendo, acenda o bastão de incenso e aproxime a parte fumegante da boca do tubo, em um dos lados da divisória (escolha um dos caminhos). Se você 'chutou' o lado certo da divisória, verá a fumaça descer por esse lado do tubo dividido e subir pelo outro. O caminho 'escolhido' pelos gases quentes para subir é determinado por diferenças na geometria do arranjo todo.

(\*) folha-de-*flandres*: folha de ferro estanhado, usado no fabrico de numerosos utensílios, calhas e tubulações. Também é correto dizer 'flandes'.

### MOTOR PSÍQUICO [NETTO]

#### Apresentação

Há muitas pseudociências em proliferação pelo mundo e, muitas delas, extremamente 'exaltadas' pela mídia. O sucesso disso decorre da falta de cultura 'realmente' científica. É postura correta da Ciência erradicá-las. Na *WEB* há vários sites que colaboram com a divulgação dos fatos que se opõem aos desmandos místicos; entre eles citamos a "*Sociedade da Terra Redonda*" <http://www.strbrasil.com.br>.

A 'rainha' delas é a astrologia, com suas místicas 'influências, forças e energias' advindas dos astros, seguida pelos 'Tarôs, Energias que saem das mãos, Curas místicas e uma grande variedades de 'psicos'. Poderíamos aqui citar inúmeras 'travessuras' de tais 'psico-místicos' e o método científico para derrubar suas falácias; vamos nos contentar, inicialmente, com esse.

Há místicos, com 'forças do além', que aproximam suas 'milagrosas' mãos de um tubo de papelão e esse tubo 'milagrosamente' põe-se a girar. Mostremos que isso não passa de mero efeito térmico da propagação do calor por convecção.

#### Material

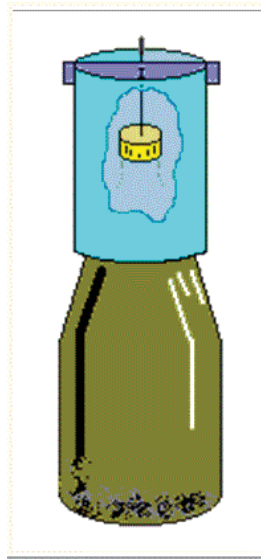
Folha de papel cartão de (18 x 8) cm;

Tira de papel cartão de (1 x 8) cm;

Agulha de coser;

Garrafa plástica com tampa.

## Montagem



Enrole a folha de papel cartão ao longo do maior comprimento, para fazer um tubo, e cole as extremidades (a aba de superposição para a colagem pode ficar ao redor dos 1,5 cm).

Corte duas fendas verticais, em posições diametralmente opostas, sobre a borda superior desse tubo. Essas fendas têm largura de 3 mm e profundidade de 1 cm. No centro da tira de papel cartão espete a agulha de coser de modo que fique perpendicular à tira (faça dois pequenos furos na largura da tira e passe a agulha por esses furos - a agulha deve sobressair dessa tira); coloque essa tira (já com a agulha) nas frestas do tubo de papelão, como se ilustra acima. Finalmente, equilibre essa montagem, apoiando a agulha sobre a tampa plástica da garrafa. Isso vai lembrar algo como nosso 'abajur' já publicado nessa Sala 08.

Aproxime sua mão da garrafa ou do tubo; isso será suficiente para fazer o sistema girar. Alguns cortes no cilindro de papelão e dobrados como aletas (veja o abajur dessa Sala) aumentam a eficiência do processo. Obviamente você já percebeu que o calor transferido de sua mão para o ar próximo ao sistema aqueceu-o; esse ficou menos denso e subiu (correntes de convecção). Esse ar quente ascendente põe o sistema a girar ... sem 'truques' místicos. Teremos oportunidade de publicar mais desses trabalhos que desmoronam as 'travessuras' místicas e 'extraterrestres'.

## Texto de Aplicação

[http://cursos.unisanta.br/oceanografia/correntes\\_marinhas.htm](http://cursos.unisanta.br/oceanografia/correntes_marinhas.htm)

CORRENTES OCEÂNICAS E MASSAS DE ÁGUA

Os oceanos e a atmosfera são ambos fluídos e estão em mútuo contato físico. Assim, além de terem comportamentos semelhantes, ocorre

grande interação entre eles. Os raios solares aquecem a atmosfera, o solo e os oceanos uma e meia a duas vezes mais por unidade de área nas regiões equatoriais do que nas polares (Fig. 1). Embora isso ocorra, o equador não se aquece cada vez mais e nem os pólos se resfriam. Há um balanço energético que transfere o calor (ou a energia) recebido pelo equador para os pólos, através da atmosfera e dos oceanos. Este equilíbrio térmico é fator muito importante na geração dos principais cinturões de vento e das grandes correntes oceânicas no planeta.

Q2. Podemos dizer que o equilíbrio térmico da Terra se dá em grande parte por transporte de energia por convecção?

A atmosfera é a principal via para o transporte de energia das zonas equatoriais para as polares. Nas regiões de baixas latitudes, a evaporação da água dos oceanos é o mecanismo principal para a remoção do calor na superfície terrestre. Esse transporte de calor tão eficiente ocorre graças à propriedade denominada calor latente de vaporização que é muito alto no caso da água. Esta, ao evaporar-se, retira do ambiente grande quantidade de energia, que acaba sendo transportada junto com o vapor de água para regiões mais frias do planeta. Nestas regiões mais frias, a água se resfria, desce e se condensa, liberando a energia que liberou de regiões mais quentes.

Q3. O que é calor latente de evaporação?

Através das correntes marinhas, os oceanos também levam energia do equador para os pólos, contribuindo com 10% a 20% da distribuição de calor no planeta como um todo.

## PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Diferenças de temperatura causam diferenças de pressão atmosférica. A taxa de variação da pressão atmosférica entre duas áreas é denominada de gradiente de pressão atmosférica e causa o movimento horizontal do ar, ou seja, o vento. A direção dos ventos sempre se dá de regiões de alta pressão (também chamados de anticiclones) para as de baixa pressão (cyclones) e sua velocidade está relacionada com a magnitude do gradiente de pressão.

Centros de baixa pressão ocorrem quando o ar se aquece, torna-se mais leve e sobe, enquanto os de alta pressão, ao contrário, ocorrem quando o ar se resfria, torna-se mais denso e desce.

Esse fenômeno explica a alteração diária da brisa em regiões litorâneas (Fig. 2). Durante o dia o solo se aquece mais e mais rapidamente que a água do mar, ocasionando uma área de baixa pressão sobre o continente; a brisa sopra então do mar para ele. À noite, o solo se resfria rapidamente enquanto a água do mar o faz de forma mais lenta. A temperatura, na água, fica maior que a do solo, ocasionando um centro de baixa pressão do mar, que origina uma brisa do continente em sua direção.



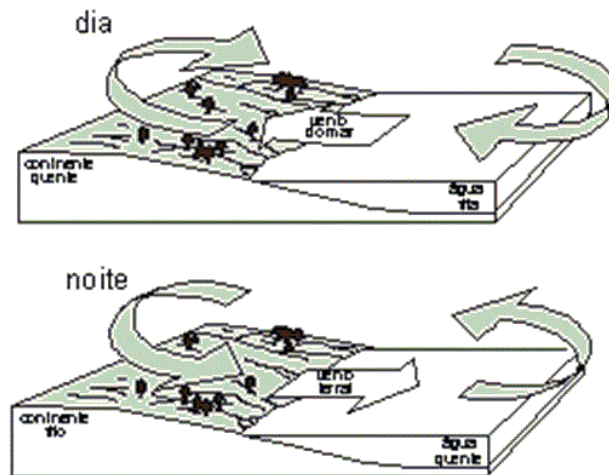


Figura 2 - Produção de brisa em regiões costeiras causadas por diferenças de temperatura entre o dia e a noite.

Q4. Explique o fenômeno das brisas diárias.

## FORÇA DE CORIOLIS

Os ventos não caminham em linha reta ao longo de um gradiente de pressão, mas são defletidos ou desviados em forma de curva (Fig. 3) devido a rotação da Terra.



Figura 3: Devido ao fenômeno de Coriolis, no hemisfério sul os ventos são defletidos para a esquerda quando deixam os centros de alta pressão (a), assim como quando chegam aos centros de baixa pressão (b). No hemisfério norte a deflexão ocorre para a direita.

O desvio de algo que se mova na superfície do planeta é causado pela força de Coriolis, descrito inicialmente em 1835, pelo físico francês Gaspar de Coriolis. Assim, no caso dos ventos, o ar é forçado a se desviar para a esquerda no hemisfério sul e para a direita no hemisfério norte.

Para entender esse fenômeno pode-se utilizar uma analogia entre o planeta e um carrossel, conforme demonstra a Figura 4. A curvatura aparente da bola atirada de dentro do carrossel, vista pelas pessoas que nele se encontram, é chamada de efeito de *Coriolis* (as pessoas que estão fora do carrossel não percebem a curvatura).

Essa força é muito mais comum do que se possa imaginar, já que todas as coisas que se movem sobre a superfície do planeta desviam-se lateralmente de suas trajetórias previstas. O valor da deflexão depende da velocidade do objeto (quanto mais rápido, menor a deflexão) e de sua latitude (zero no equador e máxima nos pólos).

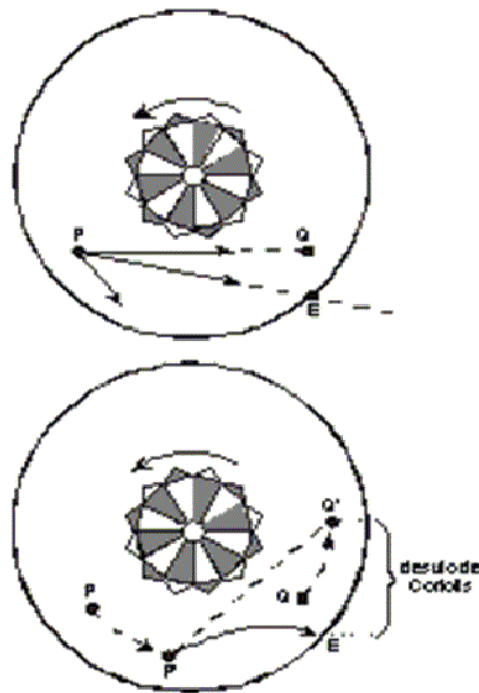


Figura 4: Carrossel demonstrando a Força de *Coriolis*. Olhando-se por cima, o carrossel gira em sentido contrário aos ponteiros do relógio (como se estivesse olhando a Terra de cima do pólo norte). Na figura superior um homem em P tenta lançar uma bola a outro situado em Q. O movimento rotacional do homem em P (flecha pequena) faz com que a bola saia na direção PE. Na figura inferior, o homem se move de P para P' e o que está em Q'

Q5. Explique a força de *Coriolis* na Terra em termos do produto vetorial

### CINTURÕES DE VENTO

Existem na atmosfera feições relativamente permanentes: centros de alta pressão ocorrem sobre os pólos e em latitudes tropicais, já em regiões equatoriais e subpolares ocorrem centros de baixa pressão.

Esses gradientes de pressão geram 3 sistemas gerais de ventos na atmosfera (Fig. 5): ventos alísios, que ocorrem entre  $0^\circ$  e  $30^\circ$  de latitude, soprando do leste para o oeste; ventos do oeste, entre  $30^\circ$  e  $60^\circ$  de latitude e que sopram do oeste para o leste; e, por último, vento do leste nas regiões polares, do leste para o oeste (na meteorologia, os pontos cardeais definem a localização da origem do vento, e não o destino, como geralmente se costuma a usar). Tais sistema de vento são os principais responsáveis pelo equilíbrio de calor no planeta.

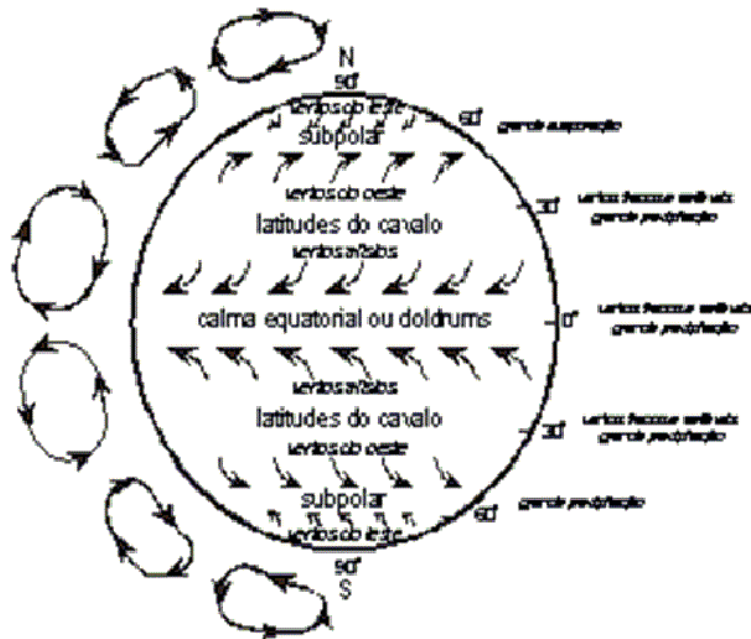


Figura 5: Sistema de ventos para uma Terra hipoteticamente recoberta inteiramente por oceanos, mostrando os maiores cinturões de ventos e regiões de elevação e descida de ar.

Como explicação para a gênese destas três células de ventos, tem-se que no hemisfério sul, o ar quente, ao deixar o equador em direção ao sul, vai se resfriando e desce aos cerca de  $30^\circ$  de latitude. Parte desse ar completa o giro e retorna ao norte, em direção ao equador (ventos alísios); a outra porção continua em direção à Antártida (ventos do oeste). Estes ventos formam novamente outra célula ao elevar-se aos cerca de  $60^\circ$  de latitude. Parte desse ar que sai se elevou, retorna em direção ao equador e parte caminha em direção aos pólos onde novamente forma outra célula. Na região polar, o ar desce, retornando em direção ao equador (ventos do leste). A mesma explicação vale para o hemisfério norte.

Nas regiões de encontro das células geralmente não há ventos ou, se ocorrem, são muito fracos e irregulares (Fig. 5). São as regiões mais temidas pelos velejadores! Próxima ao equador, essa região é chamada de *doldrum* ou calma equatorial. Além da ausência de ventos é comum a ocorrência de chuvas causadas pela grande evaporação. O vapor da água ao elevar-se,

resfria-se e se condensa, havendo então a precipitação pluvial, muito típica dos finais de tarde nessas regiões.

Q6. Que capital de estado brasileiro é famosa pela chuva à tarde?

As regiões próximas aos 30° de latitude, em ambos os hemisférios são conhecidas como latitudes do cavalo. Este nome originou-se do fato de que à época em que só havia embarcações à vela, algumas vezes estas ficavam presas nessas latitudes por meses, devido à ausência de ventos. Assim, devido ao fim das rações, os cavalos que eram transportados nas embarcações morriam, muitos esqueletos desses ruminantes devem realmente descansar no fundo dos oceanos nessas latitudes!

Q7. Que fato da história da descoberta das Américas está relacionado com esse fenômeno?

## CORRENTES SUPERFICIAIS

Como a atmosfera e o oceano estão em contato, os três sistemas de vento descritos geram, por atrito na superfície do mar, as principais correntes superficiais marinhas (Fig. 6). Esses movimentos de larga escala no ambiente marinho estão entre os primeiros fenômenos oceanográficos estudados, devido a sua importância para a navegação comercial. Hoje em dia, praticamente todas as maiores correntes superficiais são bem conhecidas.

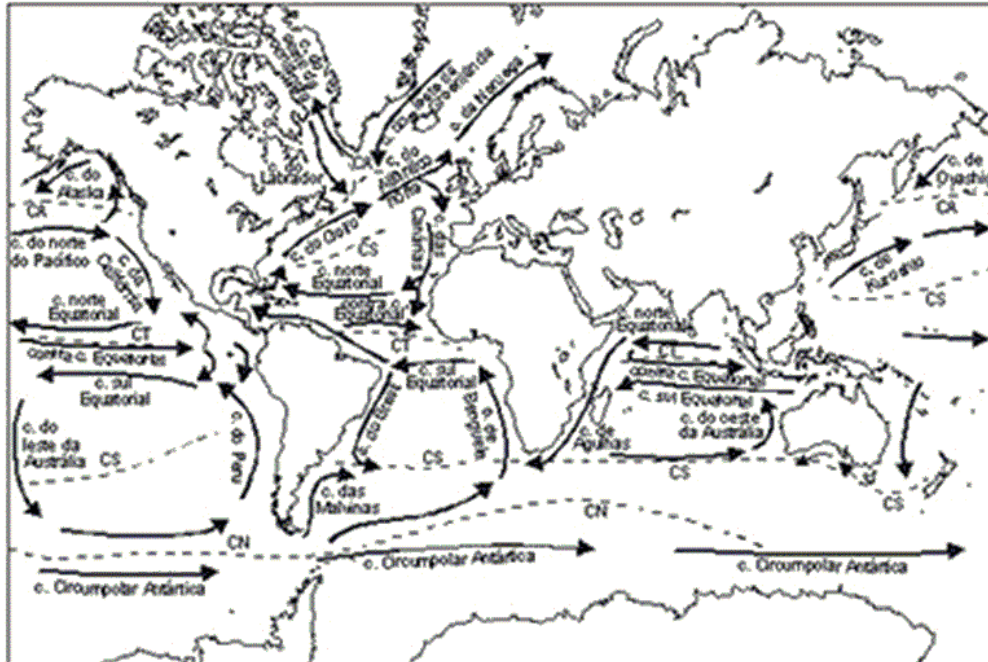


Figura 6: Principais correntes superficiais oceânicas e as maiores regiões de convergência (linha interrompida), onde CA = convergência ártica, CS = convergência subtropical, CT = convergência tropical e CN



Os ventos alísios formam as correntes equatoriais, comuns a todos os oceanos (Fig. 7). Nos oceanos Atlântico e Pacífico, tais correntes são interceptadas pelos continentes e desviadas para o norte e para o sul, deslocando-se daí ao longo das partes oeste dos oceanos, são maiores e mais fortes correntes oceânicas superficiais.

Q8. Que desenho da *Walt Disney* cita uma dessas correntes marinhas? Dica: Um dos personagens é uma tartaruga.

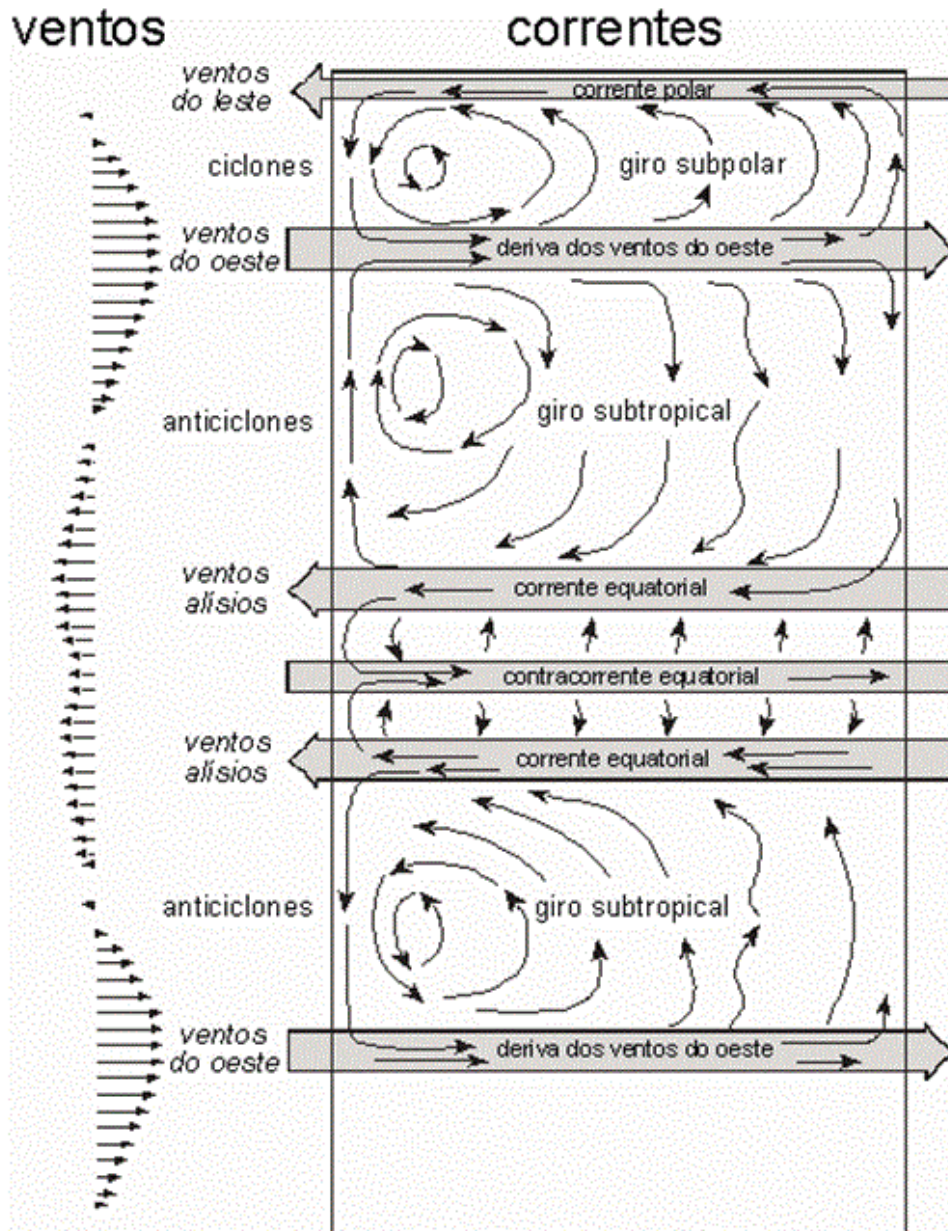


Figura 7: Modelo de circulação de um oceano ideal (flechas pretas), de forma retangular e submetido somente às forças horizontais dos ventos (flechas grossas em cinza). A velocidade e sentido dos ventos superficiais estão representada graficamente de forma aproximada à esquerda (Munk, 1955. *Scientific American*, 193(3):96-104.).

Ao soprar em direção ao oeste, os ventos alísios empurram as águas superficiais em direção ao lado oeste dos oceanos, fazendo com que haja acúmulo de água nessas regiões, com um valor médio de 4 centímetros acima do nível normal para cada 1000 quilômetros. Esse acúmulo de água, devido a força da gravidade quando retorna, fluindo "montanha abaixo", gera as contra-correntes equatoriais, comuns a todos os oceanos (Fig. 6).

Os ventos do oeste formam as correntes que retornam para a região equatorial, completando o giro subtropical (Fig. 7). Estes giros ocorrem no Pacífico e Atlântico norte e sul e Oceano Índico. Nas regiões subpolares, o mesmo não ocorrendo no hemisfério sul, pois não há barreiras de terra para obstruir o fluxo de água e criá-los. Assim, a corrente Circumpolar Antártica flui completamente em volta do planeta (Fig. 6).

Em algumas áreas, as correntes oceânicas podem formar meandros que por sua vez podem originar anéis (Fig. 8). A presença destes meandros e anéis foram primeiro descritos na corrente do Golfo (Atlântico norte), mas logo se percebeu que chegam a ser comuns em diversas correntes superficiais marinhas. As fortes correntes em torno desses anéis isolam suas águas e organismos das águas adjacentes. Podem persistir por um bom tempo, possuindo uma vida média de 4 a 5 meses, embora já se tenha encontrado anéis que durariam por 2 anos ou mais.

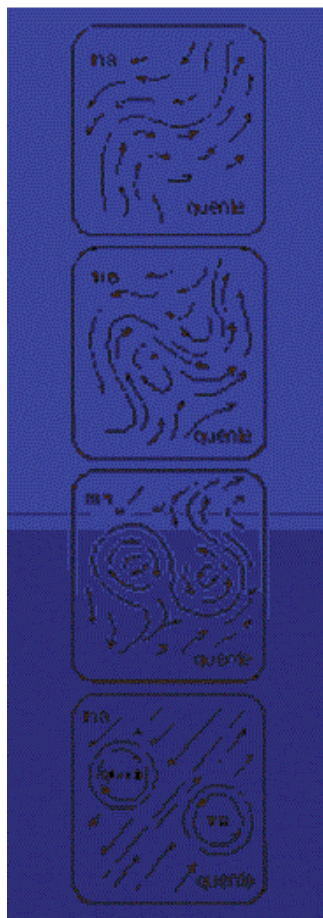


Figura 8: Origem de meandros (três primeiros quadros) e anéis (último quadro), mostrando as suas formações na fronteira de correntes de águas quentes com águas frias.

Os maiores volumes de água transportados pelas correntes oceânicas superficiais ocorrem na corrente do Golfo e na Circumpolar Antártica que transportam cada uma cerca de 100 milhões de metros cúbicos por segundo! A maior parte das outras correntes são bem menores, como a do Brasil, que transporta no máximo 14 milhões de metros cúbicos por segundo(1). Mesmo assim, são volumes bastante significativos se comparados ao volume transportado pelo rio Amazonas, que atinge apenas 225 mil metros cúbicos por segundo.

## CORRENTES BRASILEIRAS

A corrente Sul-Equatorial do oceano Atlântico, que se movimenta no sentido leste-oeste na altura do equador, bifurca-se ao alcançar a costa nordestina brasileira. A corrente que se desvia para o norte, é denominada corrente das Guianas (ou também corrente Norte do Brasil), e a que se volta para o sul, corrente do Brasil (Fig 14).

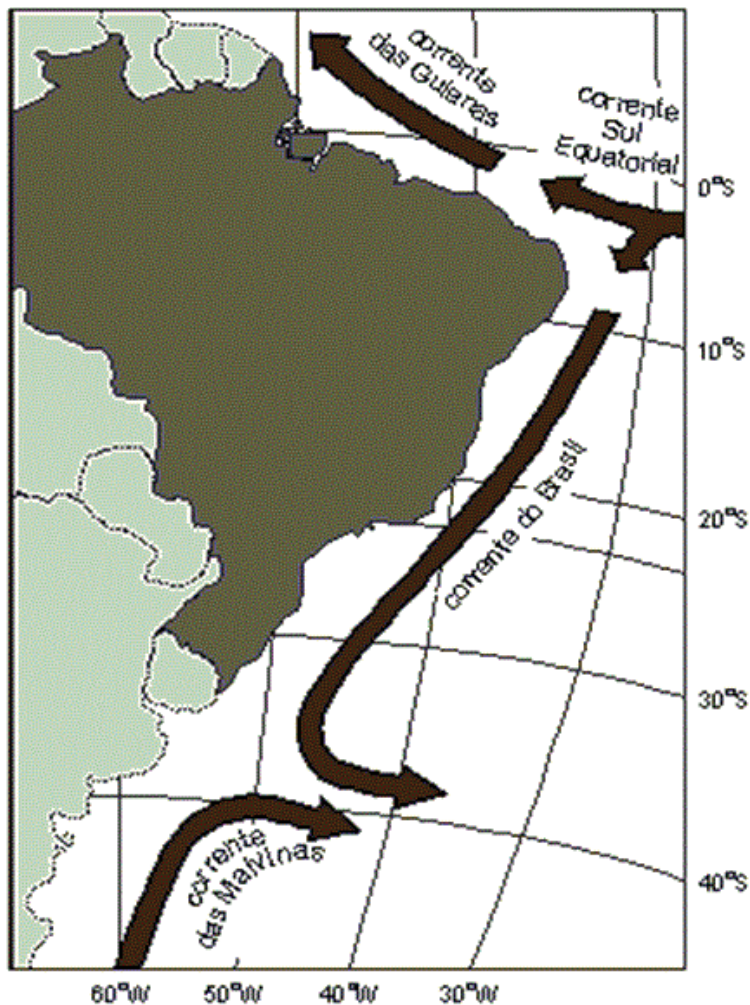


Figura 14: Principais correntes superficiais que banham as costas brasileiras.



A do Brasil, principalmente corrente superficial brasileira, que caminha sobre a plataforma ou próxima sobre a região da borda, é também conhecida como Água Tropical (AT). Esta corrente flui para o sul ao longo da costa leste do continente sul-americano, alcançando em média dos 38° de latitude sul, onde encontra a corrente das Malvinas, conhecida como Água Subantártica (ASA); nessa região que varia conforme a época do ano, as duas correntes afastam-se da costa, fluindo em direção leste (Fig. 14).

O encontro da corrente do Brasil, que traz água tropical pouco densa, com a corrente das Malvinas, mais densa, origina a região denominada Convergência Subtropical do Atlântico Sul. A corrente das Malvinas, que flui sentido norte, é originária de uma ramificação da corrente Circumpolar Antártica, que flui em torno da Antártica.

Na região sudeste, a velocidade da corrente do Brasil na primavera e verão é cerca de 1,4 nós (2,5 quilômetros por hora), ou seja, desloca-se cerca de 1/2 grau de latitude por dia; no outono e inverno, sua velocidade se reduz a metade(1). Esta corrente desempenha, no hemisfério sul, o mesmo papel da corrente do Golfo no hemisfério norte, assemelhando-se muito no aspecto de sua variabilidade tempo-espacial, especialmente na geração de meandros.

Na plataforma continental dos litorais sudeste e sul, onde se conhece melhor a estrutura oceanográfica, encontra-se 3 correntes (Figs. 15 e 16): a Água da Plataforma Continental (APL), que, como o próprio nome diz, localiza-se acima da plataforma; a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), formada na Convergência Subtropical, como resultado da mistura entre a Água Tropical (Corrente do Brasil) e a Água Subantártica (corrente das Malvinas) e que flui em sentido norte sob a Corrente do Brasil e, no verão, também sob a APL; e por último, a Água Costeira (AC), que localiza-se muito próximo à costa.



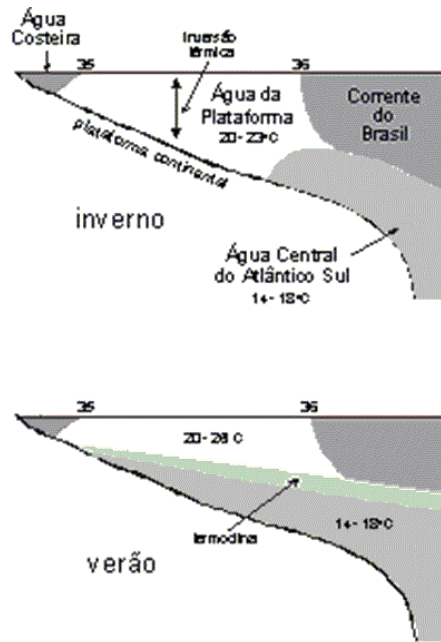


Figura 15: Distribuição vertical das massas de água na região sudeste-sul brasileira, na época de verão (acima) e inverno (abaixo) (Matsuura, Ciência e Cultura, 1986, v.38, n.8, p.1439).

Na época de verão, a ACAS alcança a plataforma continental, podendo aflorar em diversos pontos do litoral brasileiro (alguns autores acreditam que a intrusão da ACAS sobre a plataforma não é um fenômeno sazonal, mas um processo associado a um tipo de ressurgência denominada de quebra-de-plataforma, causada pela movimentação de determinadas massas de águas na costa brasileira (2)).

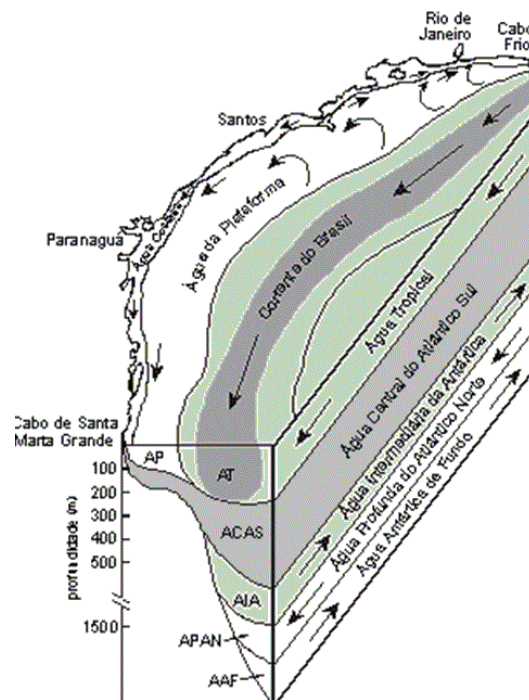


Figura 16: Estrutura oceanográfica na região sudeste-sul brasileira na época de verão (modificado de Matsuura, Ciência e Cultura, 1986, v.38, n.8, p.1439-1450).

Na região oceânica próxima à borda da plataforma, a Água Tropical (corrente do Brasil), aparece ocupando os 200 primeiros metros da coluna d'água, com um fluxo predominante para o sudoeste. Nessa região, a ACAS, abaixo da AT, ocupa uma posição cerca de 750 metros. Abaixo deste nível, a Água Intermediária da Antártida (AiA) ocorre até os 1500 metros de profundidade. Sabe-se que esta massa de água, que se forma em águas superficiais da Antártica, flui para o norte ao longo da costa americana, podendo ser detectada a até 25° de latitude norte. Abaixo da AIA, ocorre a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) que, conforme seu nome, tem sua origem naquele oceano. Ainda abaixo desta massa de água, pode-se detectar a Água Antártica de Fundo (AAF), formada no continente Antártico. Essa estrutura oceanográfica ao longo da costa sul-americana descrita acima, é bem aceita hoje embora possam haver algumas variações, conforme diferentes autores, quanto aos limites de profundidade das diversas massa de água.

### VÍDEOS EDUCATIVOS

Faça uma análise dos vídeos aulas abaixo, dando muita atenção se eles satisfazem a proposta de serem materiais complementares ou se eles podem substituir as aulas presenciais.

1. Vídeo aula do Professor Wanis Rocha - <http://www.youtube.com/watch?v=J9IbPWwlHro>
2. Vídeo aula - <http://www.youtube.com/watch?v=hZNI5uHE1U>
3. Vídeo aula o Mago da Física - [http://www.youtube.com/watch?v=doZO\\_TRLs0w](http://www.youtube.com/watch?v=doZO_TRLs0w)
4. Vídeo aula VídeoFísica (UFFluminense) - <http://www.youtube.com/watch?v=VRtLirHpfDU&feature=related>
5. Novo Telecurso - Ensino Médio - Física - Aula 24 1 e 2. <http://www.youtube.com/watch?v=x8C2SQX0uH0>

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Os alunos e futuros professores devem ter sentido dificuldade em fazer o experimento sugerido pelo professor Luiz Ferraz Neto. Isso é normal já que nem todos nós temos facilidade em manusear ou adquirir alguns dos materiais. Mas devem ter observado pelos experimentos aqui propostos que podemos fazer muita coisa de forma simples e engenhosa. Que não precisamos ficar presos à literatura.

Eles devem ter percebido que existe muito material de apoio na *internet*, principalmente *applets* de ensino. Que o tema propagação do calor pode ser muito bem explorado em sala de aula.

Estes devem, através de vídeo aulas, percebido que mesmo alguns projetos sérios não conseguem se afastar do conceito das aulas teóricas baseadas na exposição de conceitos e na resolução de exercícios.

Estes devem ter notado que todos fenômenos atmosféricos e das correntes marítimas são decorrentes de efeitos termodinâmicos, e que estes podem ser usados como tema motivador e multidisciplinar em sala de aula.

Respostas as questões

Q1. Porque eles são isolantes térmicos

Q2. Sim, pois as correntes marítimas e o vento são efeitos dele.

Q3. É a quantidade de calor necessária para evaporar uma grama do líquido em questão.

Q4. Durante o dia o solo se aquece mais e mais rapidamente que a água do mar, ocasionando uma área de baixa pressão sobre o continente; a brisa sopra então do mar para ele. À noite, o solo se resfria rapidamente enquanto a água do mar o faz de forma mais lenta. A temperatura, na água, fica maior que a do solo, ocasionando um centro de baixa pressão do mar, que origina uma brisa do continente em sua direção.

Q5. A Terra gira do leste para o oeste. Se você colocar o dedo na perpendicular a superfície da Terra e o indicador na tangente leste-oeste, temos a direção de rotação das marés.

Q6. Belém

Q7. Cristóvão Colombo ficou em uma calmaria por vários dias, o que gerou uma revolta de sua tripulação.

Q8. Procurando Nemo

## CONCLUSÃO

Mostramos através de um texto simples complementado com alguns experimentos de baixo custo e vários *applets* de ensino, que o conceito de propagação de calor pode ser ensinado de forma lúdica e menos teórica. Também ficou claro que a propagação do calor é um tema que envolve muitos fatos (experiências) corriqueiros e cotidianos e que podemos torná-lo um tema mais atraente e menos decorativo para os alunos.

Deve ter ficado claro para o futuro professor que existem muitos conceitos e paradigmas envolvidos nas explicações dos fenômenos termodinâmicos. Que podemos usar um ou mais destes ao explicar estes.

Estes devem ter ficado cientes que existem diversos materiais de apoio ao ensino de física, como ludotecas e vídeos aulas, que podem ser usados como reforço no aprendizado.

Os futuros professores devem ter ficado cientes que apesar da terminologia ser um tema antigo e aparentemente simples, existe muita pesquisa sobre o tema. Esperamos que o tema preservação do ambiente tenha atraído sua atenção sobre esse fato e que terminologia é um tema muito atual.



### RESUMO

Apresentamos aqui um texto simples sobre propagação do calor recheado de *applets* de ensino. Complementamos este com alguns experimentos de baixo custo elaborados por nós mesmos e por outros retirados de diversos sites de ensino – principalmente do *site* feira de ciências. Mostramos que existem vários vídeos aulas, alguns feitos de forma profissional, que devem ser sugeridas aos seus futuros alunos.

Trouxemos um texto sobre correntes marítimas para ilustrar as possíveis aplicações do tema propagação do calor e mostrar a sua importância em nossa vida diária.

### REFERÊNCIAS

- Futureng - <http://futureng.wikidot.com/conducao>  
P.A. Bisquolo - <http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u6.jhtm>  
Ponto Ciência – Condução de calor  
<http://www.pontociencia.org.br/experimentos-interna.php?experimento=51&CONDUCAO+DE+CALOR>  
Wolfram Demonstration Project - <http://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Physics&start=21&limit=20&sortmethod=recent>  
Prof. Luiz Ferraz Netto – Feira de Ciência; <http://www.feiradeciencias.com.br/>  
Universidade de Oregon (<http://jersey.uoregon.edu/vlab/Thermodynamics/therm1a.html>)  
Applet da UFRGS.  
<http://penta3.ufrgs.br/CESTA/fisica/calor/condutoresisolantes.html>  
[http://cursos.unisanta.br/oceanografia/correntes\\_marinhas.htm](http://cursos.unisanta.br/oceanografia/correntes_marinhas.htm)  
Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.; *Física*, Vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1996  
Tipler, P.A.; *Física (Para Cientistas e Engenheiros)*, Vol.2 , *Gravitação Ondas e Termodinâmica*, 3a Ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.

Signorini, S.R. Contribuição ao estudo da circulação e do transporte de volume da corrente do Brasil entre o cabo de São Tomé e a Baía de Guanabara. São Paulo, *B. Inst. oceanogr.*, 1976, n.5, p. 157-330.

CAMPOS, E.J.D. *Estudos da circulação oceânica no Atlântico tropical e na região oeste do Atlântico subtropical sul*. Tese de Livre-Docência. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 1995. 114p.