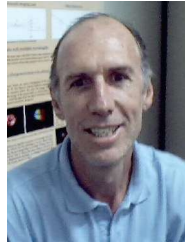




RELATÓRIO FINAL DE INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO



Marco Marton R.A. 800638
Orientador: Cícero Campos

AQUECIMENTO DE ÁGUA POR ENERGIA SOLAR

INTRODUÇÃO

Recomenda-se ao leitor ler o relatório “TatianaS_Cícero_F809_RF” da aluna Tatiana Stradulis disponível no sítio da disciplina e na biblioteca do instituto de física, que trata do aparelho coletor.

Energia solar é a energia radiante recebida pela Terra, proveniente do sol. Composta por vasto espectro de frequências (na região da radiação ultravioleta, da luz visível e da radiação infravermelho).

O aproveitamento da energia solar, basicamente é feitos através de **calor e eletricidade**.

Em nosso experimento, este aproveitamento será feito através do aquecimento de água através de aquecedores solares.

A transmissão de calor por convecção é devida ao movimento do fluido. O fluido frio adjacente a uma superfície quente recebe calor, o qual é transmitido para todo o volume do fluido frio misturando-se com ele. A convecção livre ou natural ocorre quando o movimento do fluido não é incrementado por agitação mecânica.

Para sistemas com circulação forçada (bombas), o ângulo de inclinação do coletor poderá ser igual ao da latitude do lugar.

Para sistemas com circulação natural (termo-sifão), o ângulo de inclinação do coletor será igual ao da latitude acrescido de aproximadamente 10° . (conforme citado por Bezerra [2] e [3]). O aumento dado ao ângulo da latitude permite ainda um aproveitamento melhor da irradiação incidente em virtude da variação anual da declinação solar (conforme citado por Bezerra [2] e [3]).

Ler o relatório “TatianaS_Cícero_F809_RF” da aluna Tatiana Stradulis, (observando as figuras 1 e 2).

Convecção

Considere a condição de escoamento mostrada na figura 1.

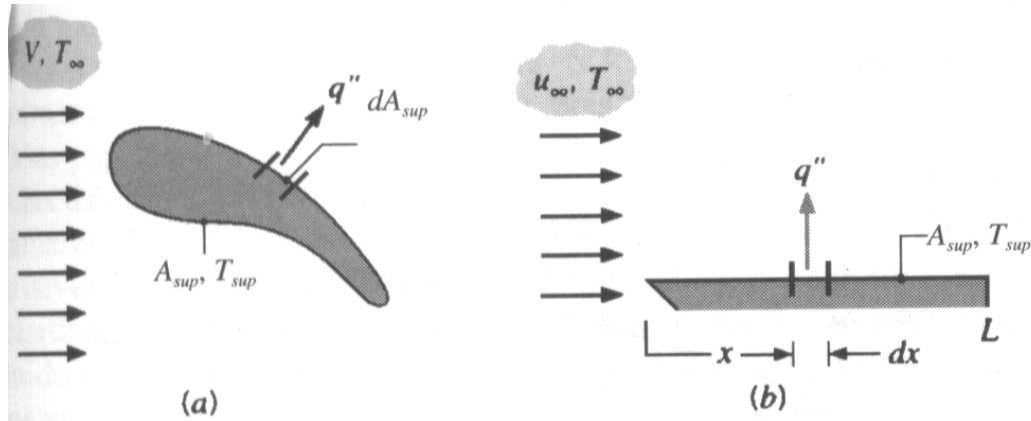


Fig 1. Efeitos local e total da transferência de calor por convecção (a) Superfície de forma arbitrária. (b) Placa plana.

Um fluido com velocidade V e temperatura T_∞ (o símbolo ∞ representa as condições na corrente livre), escoava sobre uma superfície de forma arbitrária e área superficial A_{sup} . Presume-se que a superfície se encontra a uma temperatura uniforme, T_{sup} e se $T_{sup} \neq T_\infty$ sabemos que irá ocorrer transferência de calor por convecção entre a superfície e o fluido. O fluxo térmico local q'' pode ser representado por

$$q'' = h(T_{sup} - T_\infty) \quad (1)$$

Onde h é o coeficiente local de transferência de calor por convecção; T_{sup} é a temperatura na superfície de contato do fluido; T_∞ é a temperatura do fluido na corrente livre.

Uma vez que as condições do escoamento variam de ponto para ponto na superfície, tanto q'' quanto h também variam ao longo da superfície. A taxa total de transferência de calor, q , pode ser obtida pela integração do fluxo local ao longo da totalidade da superfície. Ou seja,

$$q = \int_{A_{sup}} q'' dA_{sup} \quad (2)$$

Onde A_{sup} é a área da superfície de contato do fluido.

ou, da Eq. 1

$$q = (T_{sup} - T_\infty) \int_{A_{sup}} h dA_{sup} \quad (3)$$

Definindo um coeficiente médio de transferência de calor por convecção \bar{h} para toda a superfície, a taxa total de transferência de calor também pode ser expressa por

$$\mathbf{q} = \bar{h} A_{\text{sup}}(\mathbf{T}_{\text{sup}} - \mathbf{T}_{\infty}) \quad (4)$$

Igualando as Eqs. 3 e 4, tem-se que os coeficientes médio e local de transferência de calor por convecção são relacionados por uma expressão que tem a forma

$$\bar{h} = \frac{1}{A_{\text{sup}}} \int_{A_{\text{sup}}} h dA_{\text{sup}} \quad (5)$$

Note que, para o caso especial do escoamento sobre uma placa plana (Fig.1b), h varia em função da distância x da aresta frontal da placa e a Eq. 5 se reduz a

$$\bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (6)$$

As camadas Limite da Convecção

A Camada Limite Fluidodinâmica

Para introduzir o conceito de camada limite, considere o escoamento sobre a placa plana mostrada na figura 2. Quando partículas do fluido entram em contato com a superfície, elas passam a ter velocidade nula. Essas partículas atuam então no retardamento do movimento do movimento das partículas da camada de fluido adjacente, que, por sua vez, atuam no retardamento do movimento das partículas da próxima camada e assim sucessivamente, até uma distância da superfície $y = \delta$, onde o efeito de retardamento se torna desprezível. Esse retardamento do movimento do fluido está associado às tensões de cisalhamento τ que atuam em planos paralelos à velocidade do fluido (figura2).

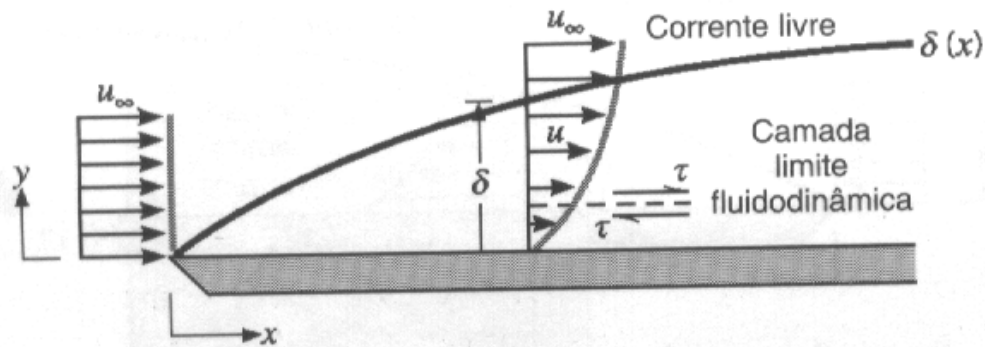


Fig. 2 – Desenvolvimento da camada limite fluidodinâmica sobre uma placa plana.

Com o aumento da distância y da superfície, o componente da velocidade do fluido na direção x , u deve então aumentar até atingir o valor na corrente livre, u_∞ . O índice subscrito ∞ é usado para designar condições na corrente livre, exterior à camada limite.

A grandeza δ é conhecida como espessura da camada limite e é, freqüentemente, definida como o valor de y para o qual $u = 0,99u_\infty$. O perfil de velocidades na camada limite se refere à maneira pela qual u varia em função de y através da camada limite. Dessa forma, o escoamento do fluido é caracterizado pela existência de duas regiões distintas, uma fina camada de fluido (a camada limite) onde os gradientes de velocidade e as tensões cisalhantes são grandes, e uma região exterior à camada limite, onde os gradientes de velocidade e as tensões cisalhantes são desprezíveis. Com o aumento da distância da aresta frontal da placa, os efeitos da viscosidade penetram cada vez mais na corrente livre, e a camada limite aumenta (δ aumenta com x).

Uma vez que está relacionada com a velocidade do fluido, a camada limite descrita anteriormente pode ser chamada de camada limite fluidodinâmico. Ela se desenvolve sempre que há escoamento de um fluido sobre uma superfície e é de fundamental importância em problemas que envolvem transporte convectivo. Na mecânica dos fluidos, sua importância para o engenheiro baseia-se na sua relação com a tensão de cisalhamento na superfície τ_{sup} e portanto com efeitos do atrito na superfície. Para os escoamentos externos, ela fornece a base para a determinação do coeficiente de atrito local

$$C_f \equiv \frac{\tau_{\text{sup}}}{\rho u_\infty^2 / 2} \quad (7)$$

Onde τ é a tensão de cisalhamento (N/m^2); ρ é a densidade do fluido (kg/m^3) e u_∞ é a componente da velocidade mássica média de um fluido (m/s) na corrente livre.

que é um parâmetro adimensional chave na determinação do arrasto viscoso na superfície. Supondo o escoamento de um fluido newtoniano, a tensão de cisalhamento na superfície pode ser determinada a partir do conhecimento do gradiente de velocidade na superfície pela expressão.

$$\tau_{\text{sup}} = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (8)$$

Onde μ é uma propriedade do fluido conhecida por viscosidade dinâmica (kg/s.m).

A Camada Limite Térmica

Da mesma forma que há a formação de uma camada limite fluidodinâmica no escoamento de um fluido sobre uma superfície, uma camada limite térmica deve se desenvolver se houver diferença entre as temperaturas do fluido na corrente livre e da superfície. Considere o escoamento sobre uma placa plana isotérmica (figura 3). Na aresta frontal o perfil de temperaturas é uniforme, com $T(y) = T_{\infty}$, contudo, as partículas do fluido que entram em contato com a placa atingem o equilíbrio térmico na temperatura superficial da placa. Por sua vez, essas partículas trocam energia com as da camada de fluido adjacente, causando o desenvolvimento de gradientes de temperatura no fluido. A região do fluido onde existem esses gradientes de temperatura é conhecida por camada limite térmica, e sua espessura δ_t , é definida, freqüentemente, como sendo o valor de y no qual a razão $[(T_{\text{sup}} - T) / (T_{\text{sup}} - T_{\infty})]$ é igual a 0,99. Com o aumento da distância da aresta frontal da placa, os efeitos da transferência de calor penetram cada vez mais na corrente livre e a camada limite térmica aumenta.

A relação entre as condições nessa camada limite e o coeficiente de transferência de calor por convecção pode ser facilmente demonstrada. A qualquer distância x da aresta frontal, o fluxo térmico local pode ser obtido utilizando-se a lei de Fourier no fluido, em $y = 0$. Isto é,

$$q''_{\text{sup}} = -k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (9)$$

Onde k_f é a condutividade térmica fluidodinâmica (W/m)

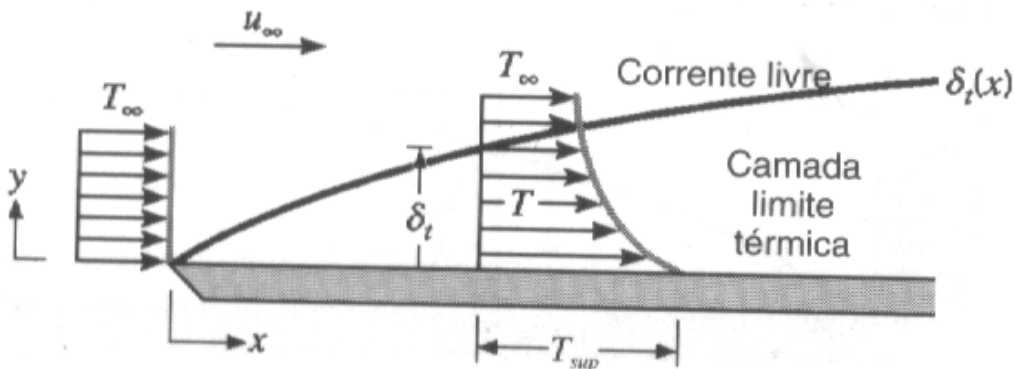


Fig. 3 – Desenvolvimento da camada limite térmica sobre uma placa plana isotérmica.

Essa expressão se aplica uma vez que, na superfície, não existe movimento do fluido e a transferência de energia se dá unicamente por condução. Combinando a Eq. 9 com a lei do resfriamento de Newton, Eq. 1, obtém-se

$$\mathbf{h} = \frac{-k_f \cdot \frac{\partial T}{\partial y} |_{y=0}}{T_{\text{sup}} - T_{\infty}} \quad (10)$$

Assim, as condições no interior da camada limite térmica, que influenciam fortemente o gradiente de temperatura na superfície $\partial T/\partial y|_{y=0}$, determinam a taxa de transferência de calor através da camada limite. Como $(T_{\text{sup}} - T_{\infty})$ é uma constante, independentemente de x , enquanto δ cresce com o aumento de x , os gradientes de temperatura na camada limite devem diminuir com o aumento de x . O valor de $\partial T/\partial y|_{y=0}$ diminui com o aumento de x e conseqüentemente, tem-se que q''_{sup} e h diminuem com o aumento de x .

Escoamento Laminar e Turbulento

Uma primeira etapa, essencial no tratamento de qualquer problema de convecção, consiste na determinação de se a camada limite é laminar ou turbulenta. O atrito superficial e as taxas de transferência por convecção dependem fortemente das condições na camada.

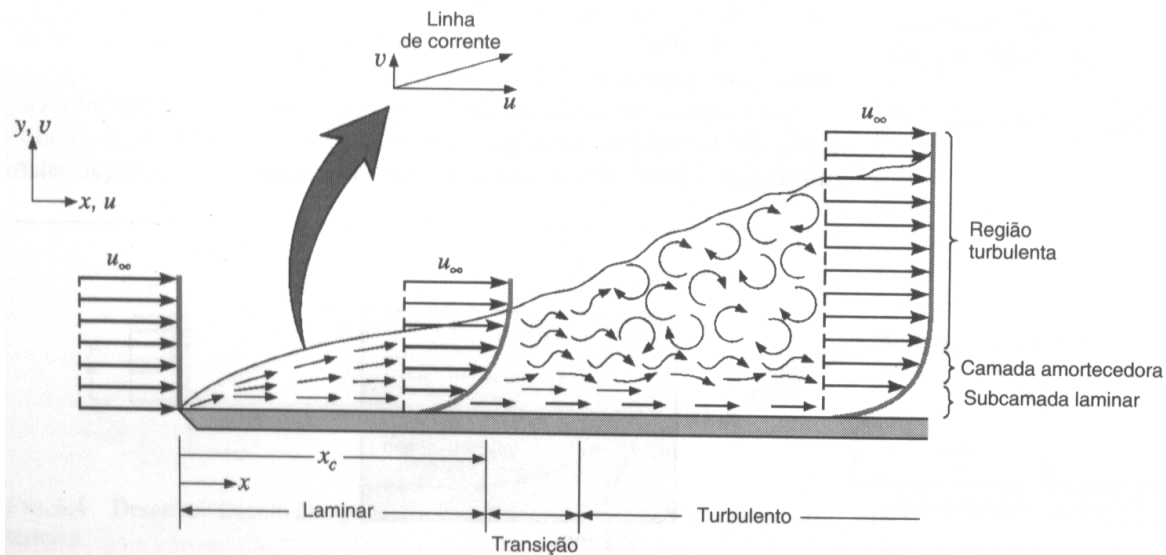


Fig.4 – Desenvolvimento da camada limite fluidodinâmica sobre uma placa plana.

Conforme é mostrado na figura 4, existem diferenças marcantes entre as condições de escoamento laminar e turbulento. Na camada limite laminar, o movimento do fluido é

altamente ordenado, sendo possível identificar linhas de corrente ao longo das quais as partículas se movem. O movimento do fluido ao longo de uma linha de corrente é caracterizado por componentes da velocidade nas direções x e y . Uma vez que o componente da velocidade se encontre em uma direção normal à superfície, ele pode contribuir de forma significativa para a transferência de movimento, energia ou de uma espécie através da camada limite. O movimento do fluido normal à superfície é necessário para que ocorra o espessamento da camada limite ao longo da direção x .

Em contraste, o movimento do fluido em uma camada limite turbulenta é altamente irregular, sendo caracterizado por flutuações de velocidade. Essas flutuações melhoram a transferência de momento, energia e massa e, portanto aumentam o atrito na superfície, bem como as taxas de transferência por convecção. A mistura do fluido resultante das flutuações implica espessuras das camadas limite turbulentas maiores e perfis (de velocidade, temperatura e concentração) no interior das camadas limites menos curvos do que aqueles característicos do escoamento laminar.

As condições anteriores são mostradas esquematicamente na figura 4 para o desenvolvimento de uma camada limite fluidodinâmica sobre uma placa plana. Inicialmente a camada limite é laminar, mas, a uma dada distância da aresta frontal pequena perturbações são amplificadas e inicia-se a transição para o escoamento turbulento. As flutuações no fluido começam a se desenvolver na região de transição e acabam tornando a camada limite completamente turbulenta. Na região plenamente turbulenta, as condições do escoamento são caracterizadas por um movimento tridimensional, altamente aleatório, de parcelas relativamente grandes do fluido, não sendo surpreendente que a transição para o regime turbulento seja acompanhada por um aumento significativo das espessuras das camadas limite, na tensão de cisalhamento na superfície e nos coeficientes de transferência por convecção. Esses efeitos são ilustrados na figura 5 para a espessura δ da camada limite fluidodinâmica e para o coeficiente local de transferência de calor por convecção h . Na camada limite turbulenta, três regiões distintas podem ser delineadas. Observa-se uma subcamada laminar onde o transporte é dominado pela difusão e o perfil de velocidades é aproximadamente linear. Existe uma camada amortecedora na qual a difusão e a mistura turbulenta possuem intensidades comparáveis. Finalmente, há uma zona turbulenta onde o transporte é dominado pela mistura turbulenta.

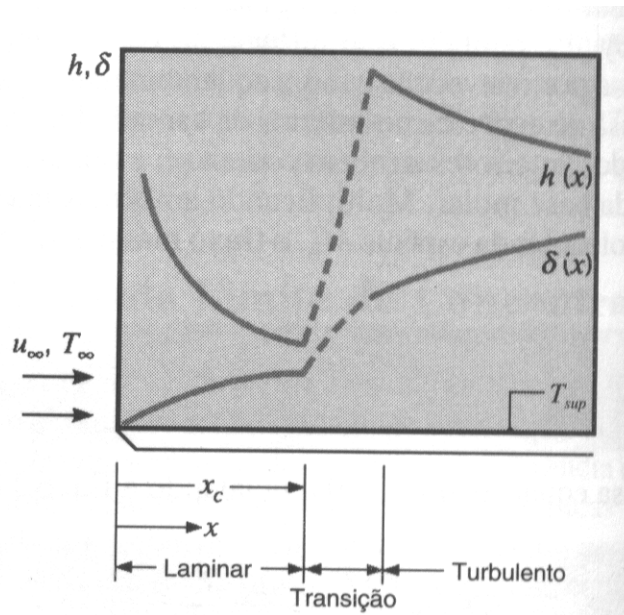


Fig. 5 – Variação da espessura δ da camada limite fluidodinâmica e do coeficiente local de transferência de calor por convecção h para o escoamento sobre uma placa plana isotérmica.

No cálculo do comportamento da camada limite é freqüentemente razoável supor que a transição inicia em uma certa posição x_c . A localização desse ponto é determinada por um grupo adimensional de variáveis conhecido por número de Reynolds,

$$\text{Re}_x = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} \quad (11)$$

Onde ρ é a densidade do fluido (kg/m^3) e u_∞ é a componente da velocidade mássica média de um fluido (m/s) na corrente livre e μ é uma propriedade do fluido conhecida por viscosidade dinâmica (kg/s.m).

onde o comprimento característico x é a distância entre a aresta frontal da placa e a posição x . O número de Reynolds crítico é o valor de Re_x no qual a transição inicia. Para o escoamento sobre uma placa plana, sabe-se que ele varia entre 10^5 e 3×10^6 , dependendo da rugosidade da superfície e do grau de turbulência na corrente livre. Um valor representativo de

$$\text{Re}_{x,c} = \frac{\rho u_\infty x_c}{\mu} = 5 \cdot 10^5 \quad (12)$$

é freqüentemente presumido em cálculos de camadas limite e, a menos que sejam feitas observações em contrário, é o valor utilizado para os cálculos efetuados.

Propagação de calor por convecção.

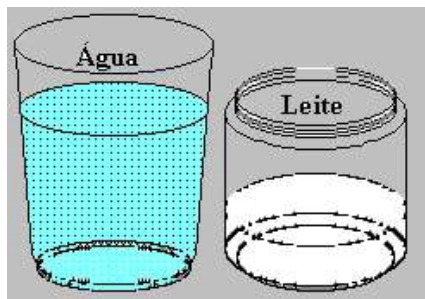
Ao olhar para água fervendo, temos a impressão que ela está pulando dentro da panela, ou seja, a movimentação da água fica bastante visível. Porém a movimentação não ocorre apenas quando a água está fervendo; a movimentação ocorre durante todo o aquecimento. Quando a água está fervendo ela faz convecções tão rápidas que podemos vê-las. Convecção significa "processo de transmissão de calor que é acompanhado por um transporte de massa", de acordo com o dicionário Aurélio. A água, assim como os demais fluidos, sofre convecção durante o aquecimento porque a parte aquecida, que em geral é a parte de baixo, fica mais leve (passa a ter menor densidade) do que as demais partes. Então a parte aquecida sobe, enquanto que outra desce para ocupar o lugar da que subiu.

Podemos fazer um simples experimento para observar esta movimentação do líquido no processo de aquecimento por convecção.

A idéia é mostrar que ocorre convecção em um líquido dentro de um copo quando ele é aquecido. Para isso coloca-se um pouco de leite no fundo de um copo d'água e aquece-se o fundo do copo com uma vela. Aquela porção de leite que está no fundo do recipiente e, conseqüentemente mais próximo da chama que o aquece, é aquecido primeiro. O leite aquecido fica mais leve que uma mesma quantidade de água não aquecida que está acima dele. Isso faz com que a parte aquecida suba e a parte não aquecida desça. Como o leite contrasta com a água, então dá para ver o leite se movimentando junto com a água enquanto se mistura com ela. Observando o movimento do leite, temos uma noção de como a água sofre convecção enquanto é aquecida.

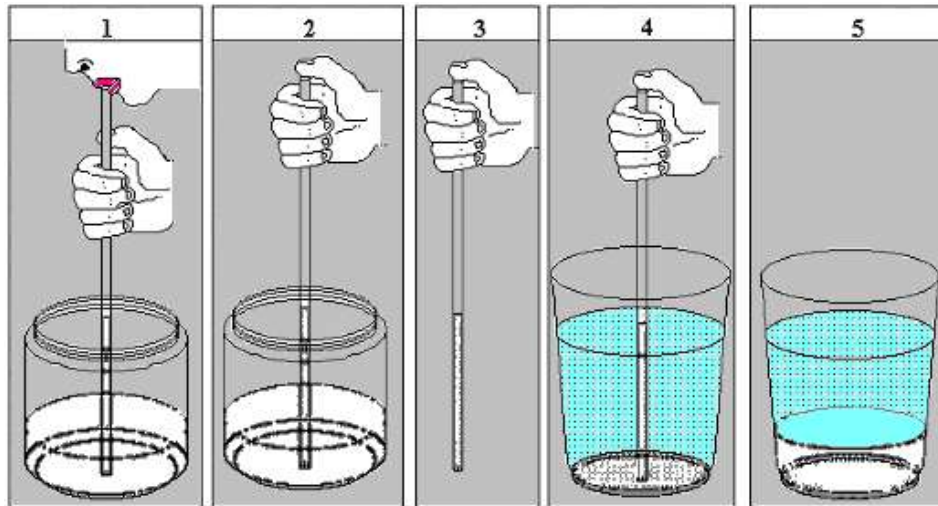
Montagem

- Encha um copo com água e coloque o leite no outro recipiente.

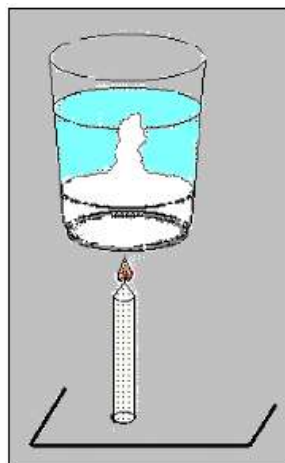


- Coloque o canudo dentro do recipiente e puxe o leite com a boca de acordo com o passo 1 da figura abaixo.
- Rapidamente solte o canudinho da boca e o tape com o dedo de acordo com o passo 2 da figura abaixo.
- Retire o canudo de dentro do copo tampando a sua ponta com o dedo (ver passo 3 da figura abaixo).

- Coloque o canudo com a ponta tapada dentro do copo cheio de água, solte sua ponta e retire lentamente o canudo de dentro do copo. Ver os passos 4 e 5 da figura.

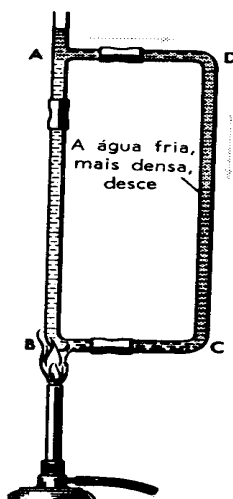


- Acenda a vela e a fixe em algum lugar.
- Segure o copo que está com água e leite e aproxime o fundo do copo na chama da vela.
- Aguarde alguns instantes, enquanto o fundo do copo se aquece e veja o resultado.



Ao fim do processo de convecção, podemos observar que o leite aquecido tomou o lugar da água fria, que estava na parte superior do leite aquecido. Demonstrando que o líquido quente tende realmente a subir e o líquido frio a descer.

Podemos fazer um outro experimento para observar esta movimentação do líquido no processo de aquecimento por convecção.



Tome tubos de vidro encurvados e ligue-os por tubos de borracha como indica a figura abaixo. Encha os tubos com água e deixe cair uma gota de tinta em A. Ponha um bico de Bunsen no ramo esquerdo. A água desse ramo recebe energia calorífica da chama, o que faz as moléculas se moverem mais rapidamente; a água nele se dilatará e ficará mais leve, ou melhor, menos densa, do que no ramo direito. A água mais fria, sendo mais pesada, mover-se-á para baixo no ramo direito, fazendo a água circular no sentido horário, que poderá ser vista através da circulação da tinta que no início do experimento estava no ponto A e percorrerá os pontos D, C, B e retornará ao ponto A. A água em movimento leva energia calorífica do ramo esquerdo para o ramo direito. Esse modo de transferir de transferir calor é chamado convecção.

Portanto: Convecção é a transferência de calor pela matéria em movimento.

MONTAGEM EXPERIMENTAL E MATERIAL DO NOSSO EXPERIMENTO

Os materiais utilizados na construção do reservatório e coleta de dados foram:

- Caixa de isopor de 2,25 L
- 2,35 L de água

- Termômetro de mercúrio
- Dois tubos metálicos

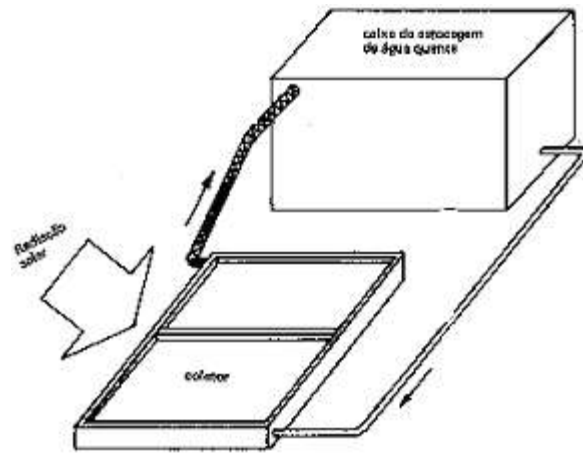
No reservatório de isopor, foram feitos dois orifícios. Foi colado, em cada orifício, um tubo metálico para a saída da água fria e outro para a entrada da água quente. Os orifícios foram feitos um na parte superior e outro na parte inferior do reservatório, de modo a fornecer uma diferença de pressão (figura abaixo). A distância entre os tubos metálicos foi a máxima permitida pelas dimensões do reservatório.



Nos tubos de metal foi colocado um tubo plástico, de maneira a conectar a água do reservatório com o coletor de energia solar. O reservatório foi preenchido com água, de modo a deixar a entrada e saída de água submersa, para evitar a entradas de bolhas de ar as quais prejudicariam o processo de convecção.

DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E RESULTADOS

O experimento consiste em levarmos ao sol um coletor solar com um tubo (preenchido com água) em forma de serpentina no seu interior, onde este tubo estava ligado em um reservatório com água. Neste reservatório era medida a temperatura da água, de dez em dez minutos, à exposição ao sol do meio dia.

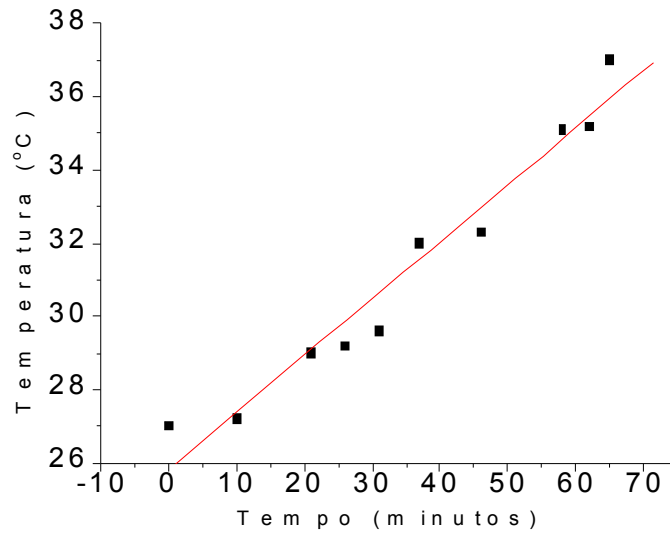


Esquema da montagem realizada em nosso experimento.

No experimento realizado, foi aproveitado um coletor solar montado pela aluna Tatiana Stradulis. Neste coletor ocorreu o processo de aquecimento da água por convecção, ou seja, a água entrava fria por baixo e saía quente pela parte superior do coletor e retornava ao reservatório, aquecendo a água ali existente.

Neste experimento, foi feito um levantamento da curva de aquecimento da água em função da temperatura, enquanto o coletor estava em exposição ao sol. Obtivemos o gráfico abaixo.

Gráfico: Aquecimento da água do reservatório em função do tempo de exposição do coletor ao sol.



Neste gráfico temos o início de uma exponencial, que deverá atingir a saturação na temperatura máxima do coletor, que foi de 83^{a} C.

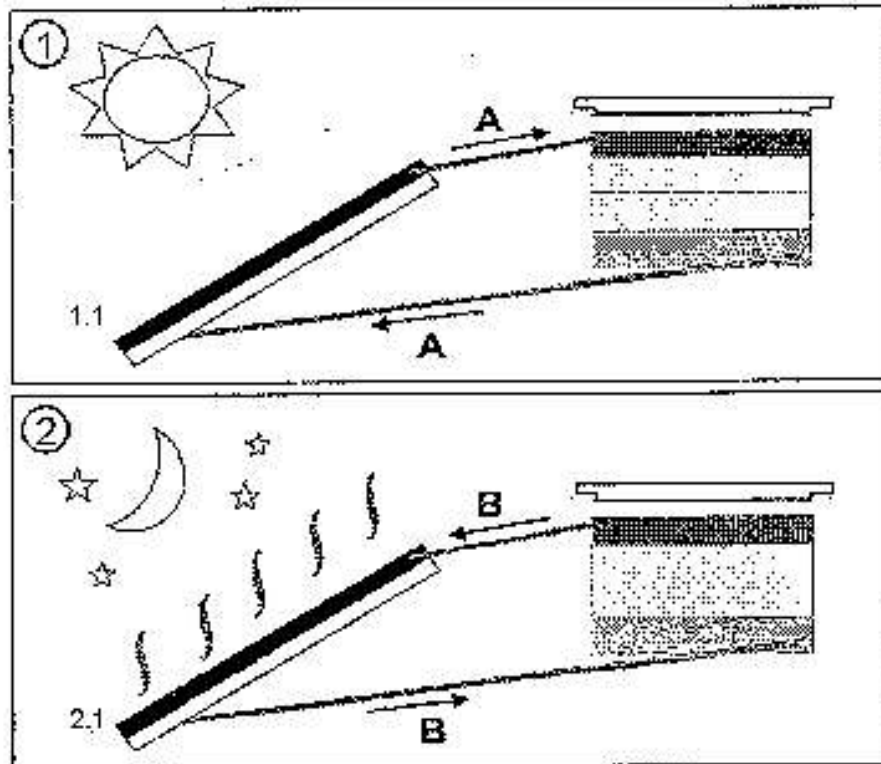
Na figura 6, temos a foto do experimento. Onde junto ao reservatório de água está o coletor solar, para o aquecimento pelo processo de convecção da água.



Fig. 6: Foto do reservatório térmico e coletor solar.

Apenas para citar a existência, em nosso experimento não foi analisado o efeito da inversão térmica que ocorre quando a parte externa do reservatório está mais fria que a parte interna, como mostra a figura abaixo.

Fenômeno da inversão térmica desfavorável à reserva de água quente.



- 1) Termo sifão natural (diurno) - fluxo da água sentido a:
1.1) Coletor recebe energia do sol;
- 2) Termo sifão inverso (noturno) - fluxo da água sentido b;
2.1) Coletor emite energia térmica da água quente.

Para se evitar este efeito, deveríamos colocar uma válvula na entrada da água quente no reservatório, de modo que o fluxo reverso não ocorra.

IMPORTÂNCIA DIDÁTICA

Nos dias de hoje, sabendo-se que aproximadamente 3% dos alunos que terminam o ensino médio chegam até as universidades, fica claro a necessidade de se criar novos métodos de ensino. A aprendizagem deve ser direcionada para que além do ensino propedêutico, devemos incentivar os alunos a terem noção da utilização da física em benefícios para a sua vida. Uma maneira de realizar este objetivo seria a construção de experimentos onde seriam utilizados conceitos de física, como em nosso experimento o aquecimento da água por convecção, e a utilidade prática na questão de se aproveitar a energia solar para utilização doméstica como aquecer a água com materiais de baixo custo.

CONCLUSÕES

Concluimos que com um material de fácil acesso e de baixo custo, podemos construir experimentos de grande importância didática.

Observando o gráfico acima podemos concluir que se pode usar a energia solar para aquecer a água, num baixo custo. A principal despesa seria com os gastos na construção e manutenção do sistema total (coletor e reservatório), pois a energia solar é da natureza e não tem nenhum custo.

O processo de convecção também não apresenta nenhum custo, pois é um processo espontâneo característico de todo fluido.

A maior importância do experimento foi mostrar a facilidade de aquecimento de água pelo processo de convecção da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INCROPERA, Frank P.; DeWITT, David P.. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 4ª. edição 1998.
- [2] BEZERRA, Arnaldo Moura. Aplicações Práticas da Energia Solar. São Paulo, Livraria Nobel S.A. 1990.
- [3] BEZERRA, Arnaldo Moura. Energia Solar – Aquecedor Solar. São Paulo, Livraria Nobel S.A. 1990.
- [4] KERN, Donald Q. Processos de Transmissão de Calor. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan S.A. 1980.
- [5] Estudo do aproveitamento da energia solar para aquecimento de edificações unifamiliares de baixa renda; Gatica Rispoli, Ítalo Alberto; Dissertação (mestrado)-UNICAMP-Engenharia Civil.
Eduardo (UT Piratininga) aubatros@ig.com.br colaborador (novembro de 2003)

<http://mourabezerra.sites.uol.com.br/aquecedor.htm> último acesso em 07/02/2004.



Identificação | Formação Acadêmica | Livros Publicados | Congressos e Seminários
Textos Desenvolvidos | Você Sabia? | Sugestões | Contatos

Textos Desenvolvidos



Você sabe como funciona um Aquecedor Solar de Água?

O funcionamento de um aquecedor solar é muito simples! Basicamente o princípio de funcionamento é o mesmo que se verifica quando deixamos, sob a ação do sol, um veículo fechado e estacionado por algumas horas na via pública. A ação da radiação solar se faz cada vez mais presente a medida em que a pintura do veículo se aproxima da cor preta, ocorrendo o mesmo com o seu interior.

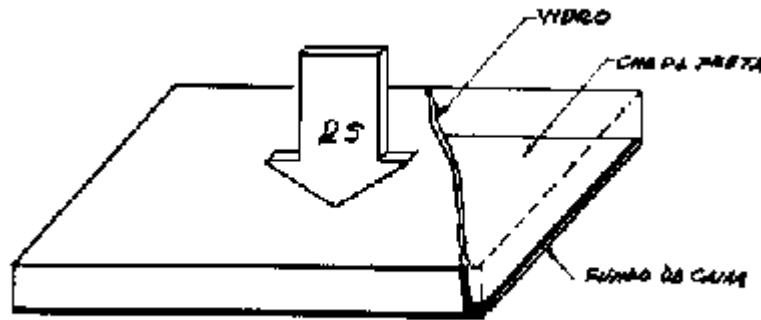


FIGURA 1

Você poderá perguntar o que tem a ver um carro com um aquecedor solar? A comparação não terá o mínimo sentido se visualizarmos o carro e o aquecedor solar pelo prisma da forma geométrica e da utilidade que ambos possam ter! Mas se levarmos em consideração o efeito térmico que ocorre entre ambos, esta estranha comparação faz sentido, realmente.

Vamos inicialmente imaginar uma caixa de forma geométrica retangular, hermeticamente fechada, tendo dentro dela uma chapa plana ou ondulada pintada de preto fosco, apoiada no fundo da caixa, tendo esta como cobertura uma lâmina de vidro plano transparente. Figura 1.

Coloquemos agora esta caixa sob a ação da luz solar visível e da respectiva radiação infravermelha as quais podem atuar juntas ou separadamente, dependendo das condições atmosféricas locais. O que ocorrerá então? A radiação solar atravessará o vidro de cobertura e ao encontrar a chapa preta sofre uma alteração no seu comprimento de onda (um aumento), o que a torna impotente para atravessar, **de volta**, o vidro e a partir daí tem origem uma re-emissão desta radiação no sentido vidro/chapa/vidro. Como a caixa se encontra hermeticamente fechada ocorre um fenômeno conhecido por **efeito estufa**, portanto responsável pelo aumento progressivo da temperatura da chapa pintada de preto fosco enquanto durar a ação da radiação solar. Você poderá perguntar, por que a chapa deverá ser pintada de preto fosco e não de outra cor qualquer? Ora, nada impede que a pintura da chapa tenha outra cor qualquer dentro da escala cromática, porém sabe-se que a cor preta é a que praticamente absorve toda a radiação nela incidente nos mais diferentes comprimentos de onda do espectro solar, a exceção das superfícies seletivas, cuja absorção é quase que total.

Você deverá estar estranhando todo este “papo” de **chapa preta, efeito estufa** etc, mas como isto poderá aquecer a água que é o principal objetivo do coletor solar? É muito simples!

Imagine agora que sob esta chapa e em contato direto com ela, tenhamos colocado uma grade de tubos paralelos ligados nas extremidades por dois tubos de maior diâmetro, contendo água em seu interior conforme a figura 2.

PROPAGAÇÃO DE CALOR POR CONVECÇÃO - 1

Objetivo

Mostrar como ocorre transmissão de calor por convecção num líquido sob aquecimento.

Contexto

Ao olhar para água fervendo, temos a impressão que ela está pulando dentro da panela, ou seja, a movimentação da água fica bastante visível. Porém a movimentação não ocorre apenas quando a água está fervendo; a movimentação ocorre durante todo o aquecimento. Quando a água está fervendo ela faz convecções tão rápidas que podemos vê-las. Convecção significa "processo de transmissão de calor que é acompanhado por um transporte de massa", de acordo com o dicionário Aurélio. A água, assim como os demais fluidos, sofre convecção durante o aquecimento porque a parte aquecida, que em geral é a parte de baixo, fica mais leve (passa a ter menor densidade) do que as demais partes. Então a parte aquecida sobe, enquanto que outra desce para ocupar o lugar da que subiu.

Idéia do experimento

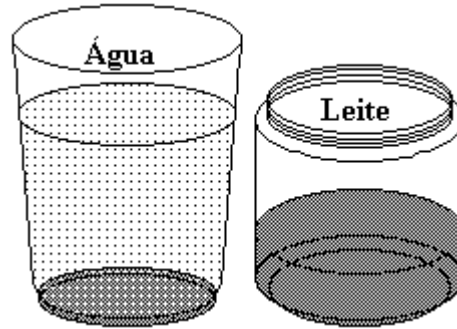
A idéia é mostrar que ocorre convecção em um líquido dentro de um copo quando ele é aquecido. Para isso coloca-se um pouco de leite no fundo de um copo d'água e aquece-se o fundo do copo com uma vela. Aquela porção de leite que está no fundo do recipiente e, conseqüentemente mais próximo da chama que o aquece, é aquecido primeiro. O leite aquecido fica mais leve que uma mesma quantidade de água não aquecida que está acima dele. Isso faz com que a parte aquecida suba e a parte não aquecida desça. Como o leite contrasta com a água, então dá para ver o leite se movimentando junto com a água enquanto se mistura com ela. Observando o movimento do leite, temos uma noção de como a água sofre convecção enquanto é aquecida.

Tabela do material

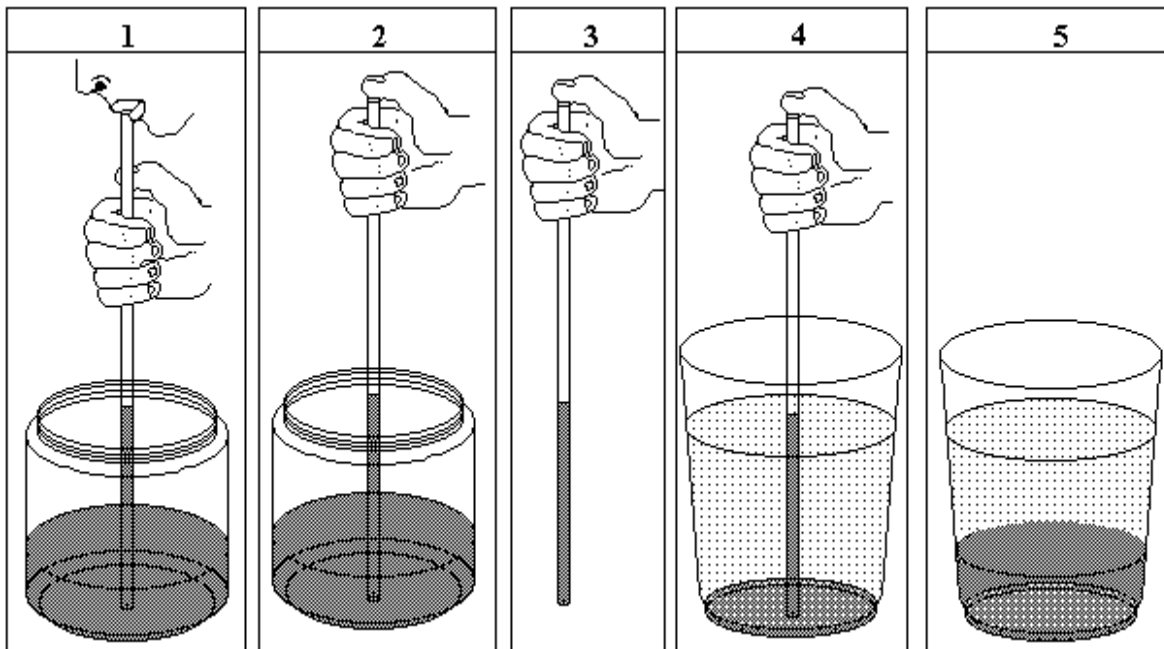
Item	Observações
Um copo americano	copo deve ser transparente
Um recipiente para colocar o leite	pode ser qualquer frasco ou até mesmo um copo
Um canudinho de beber refrigerante	de preferência transparente
Água	um copo de água
Leite líquido	que seja suficiente para encher o canudinho
Uma vela	para aquecer o copo

Montagem

- Encha um copo com água e coloque o leite no outro recipiente.



- Coloque o canudo dentro do recipiente e puxe o leite com a boca de acordo com o passo 1 da figura abaixo.
- Rapidamente solte o canudinho da boca e o tape com o dedo de acordo com o passo 2 da figura abaixo.
- Retire o canudo de dentro do copo tampando a sua ponta com o dedo (ver passo 3 da figura abaixo).
- Coloque o canudo com o ponta tapada dentro do copo cheio de água, solte sua ponta e retire lentamente o canudo de dentro do copo. Ver os passos 3 e 4 da figura.

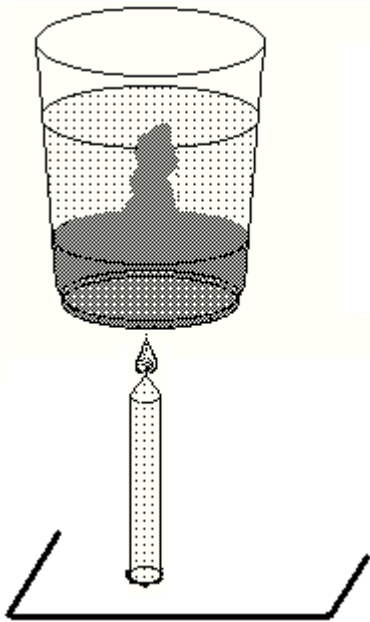


- Acenda a vela e a fixe em algum lugar.
- Segure o copo que está com água e leite e aproxime o fundo do copo da chama da vela.
- Aguarde alguns instantes, enquanto o fundo do copo se aquece e veja o resultado.

Comentários














- Não coloque o fundo do copo diretamente dentro da chama da vela.
- Para fixar a vela pode-se usar o método tradicional de pingar algumas gotas de cera derretida da vela e colocá-la em cima.

Esquema de montagem



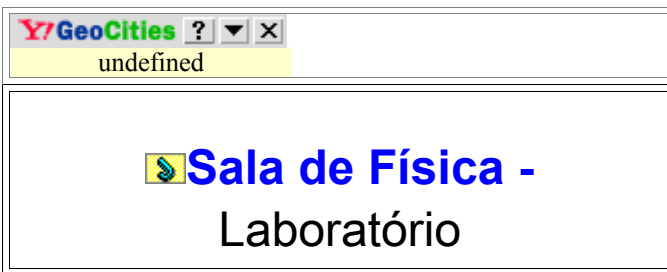
Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia-a-Dia - UNESP/Bauru
TMO/FCL

<http://www.unimep.br/~gmartins/gener02/apresent/enersolar.ppt> último acesso em 07/02/2004.

<u>Name</u>	<u>Last modified</u>	<u>Size</u>	<u>Description</u>
 Parent Directory	29-Aug-2002 17:52	-	
 eletrotermia.ppt	29-Aug-2002 19:32	103k	
 energia e desenvolvi.>	08-Aug-2002 17:06	80k	
 energiaeciclos.ppt	08-Aug-2002 17:06	186k	
 enersolar.ppt	12-Sep-2002 12:22	390k	
 eolica.ppt	13-Sep-2002 12:03	342k	
 futuroenerbras.ppt	08-Aug-2002 17:06	2.1M	
 gener01plano.ppt	08-Aug-2002 17:06	70k	
 geoteroceano.ppt	13-Sep-2002 12:03	1.1M	
 hierarquiaconserv.ppt	08-Aug-2002 17:06	67k	
 iluminacao.ppt	02-Sep-2002 10:41	323k	
 incandxfluor.zip	02-Sep-2002 10:41	1.0M	
 planetaemprestito.ppt	08-Aug-2002 17:06	108k	

-  [reformasetelet.ppt](#) 31-Oct-2002 14:46 348k
-  [refrig.ppt](#) 29-Aug-2002 19:32 55k
-  [tecusofin.ppt](#) 22-Aug-2002 14:54 83k
-  [termeletricidade.ppt](#) 13-Sep-2002 12:03 617k
-  [usosfinais.ppt](#) 22-Aug-2002 14:54 72k
-  [ws_ftp.log](#) 08-Aug-2002 17:06 3k

<http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica3/laboratorio/convecao/convecao.htm> último acesso em 07/02/2004.



Convecção nos líquidos



Embora maus condutores de calor (menos o mercúrio), os líquidos se aquecem facilmente quando a fonte calorífica atua na parte inferior do recipiente em que está encerrado. Este modo de aquecimento ocorre em virtude da própria fluidez do líquido e é denominado convecção. Convecção é a transferência de calor pela matéria em movimento.

Aquecendo-se um líquido, encerrado em um recipiente, por meio de uma chama situada debaixo dele, dilatam-se as partículas que recebem diretamente o calor e, diminuindo por consequência de densidade, elevam-se e cedem seu lugar a outras que, por sua vez, se aquecem, dilatam-se, tornam-se menos densas e sobem; e assim por diante. Estabelecem-se duas espécies de correntes dentro do fluido: correntes ascendentes de temperatura mais elevada e correntes descendentes de temperatura mais baixa, que tem por fim uniformizar a temperatura à proporção que ela cresce.

Como usar este applet:

Click no botão inferior esquerdo para iniciar o aquecimento. Você pode trabalhar com aquecimento (Heating) ou sem aquecimento. O botão da barra logo abaixo do recipiente representa a posição do fogo (Position of fire). Desloque-o de um lado para outro e observe como se comportam as moléculas dentro do recipiente. Procure fixar a sua atenção em uma molécula e observe como ela acompanha a corrente ascendente e descendente.

Para saber mais: CONCEITOS - Transmissão de calor.

Origem do applet: www.science.or.kr

[ÍNDICE DO LABORATÓRIO](#)

[ÍNDICE GERAL](#)



<http://www4.prossiga.br/lopes/prodcien/fisicanaescola/cap16-2.html> último acesso em 07/02/2004.



Biblioteca Virtual Leite Lopes

Convecção

- **Que é convecção?** Tome tubos de vidro encurvados e ligue-os por tubos de borracha como indica a Fig. 16-1. Encha os tubos com água e deixe cair uma gota de tinta em A. Ponha um bico de Bunsen no ramo esquerdo. A água desse ramo recebe energia calorífica da chama, o que faz as moléculas se moverem mais rapidamente; a água nêle se dilatará e ficará mais leve, ou melhor, menos densa, do que no ramo direito. A água mais fria, sendo mais pesada, mover-se-á para baixo no ramo direito, fazendo a água circular. A água em movimento leva energia calorífica do ramo esquerdo para o ramo direito. Esse modo de transferir de transferir calor é chamado convecção. *Convecção é a transferência de calor pela matéria em movimento.*

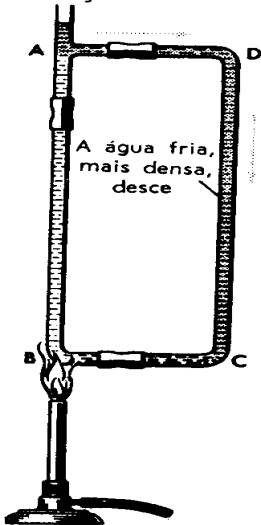


Fig. 16-1 - Convecção. Aquecendo-se a água em AB ela se expande e fica menos densa. A água mais fria e mais densa, em CD, desce então. A água em circulação transfere o calor por convecção. Na convecção, o calor é transferido juntamente com a matéria.

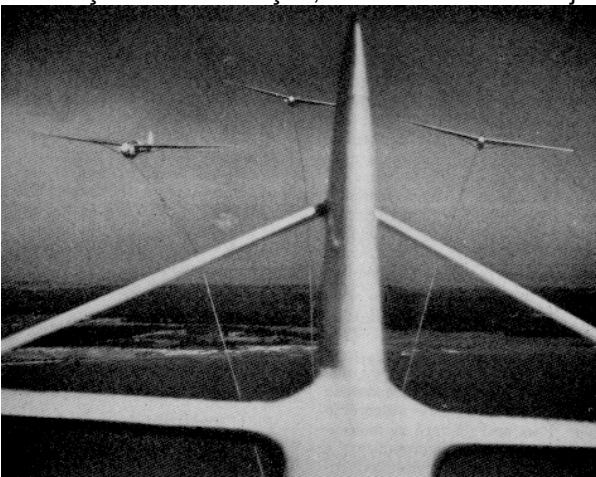


Fig. 16-2 - Planadores em ação! Esses planadores são inicialmente rebocados pelo avião e depois soltos dos cabos para voarem sózinhos. Um piloto experientado pode manobrar um desses aparelhos sem motor percorrendo grandes distâncias, aproveitando as correntes de ar. Como o ar quente sobe, o planador pode ganhar altura nas correntes ascendenciais e então planar, perdendo altura, até encontrar outra corrente ascensional. Em sentido figurado: o "combustível" do planador são as correntes de convecção.

O ar que sobe na chaminé de de sua casa, ou de uma fábrica, leva calor para cima. Monte dois tubos de cartolina em aberturas de uma caixa de papelão e coloque uma vela acesa debaixo de uma delas, como na Fig. 16-3. O ar mais frio em B, sendo mais denso que o ar em A, descera para a caixa e empurrará o ar quente para fora da chaminé, produzindo circulação do ar. Você pode provar a descida do ar em B, mantendo um pedaço de papel ou pano fumacento sôbre essa

chaminé.

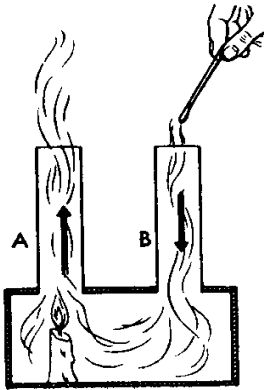


Fig. 16-3 - Convecção do ar. O ar mais frio, mais denso, em B, desce, aumenta a pressão na caixa e força o ar quente a subir em A.

No forno de ar quente (Fig. 16-4) o ar frio da sala desce pelo tubo de ar frio até o forno. Este ar frio, mais pesado, força o ar mais quente, menos denso, a subir pelos tubos de ar quente. No sistema de ar quente (Fig. 16-5), a água fria desce pelo tubo de retorno e força a água quente a subir da caldeira para os radiadores.

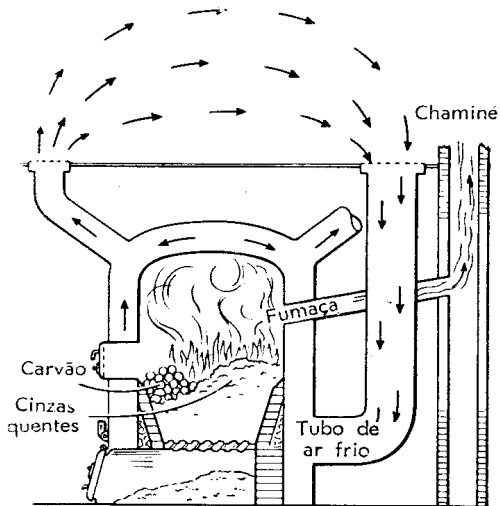


Fig. 16-4 — FORNO DE AR QUENTE. Por que o ar desce pelo tubo de ar frio? Por que a fumaça sobe pela chaminé?

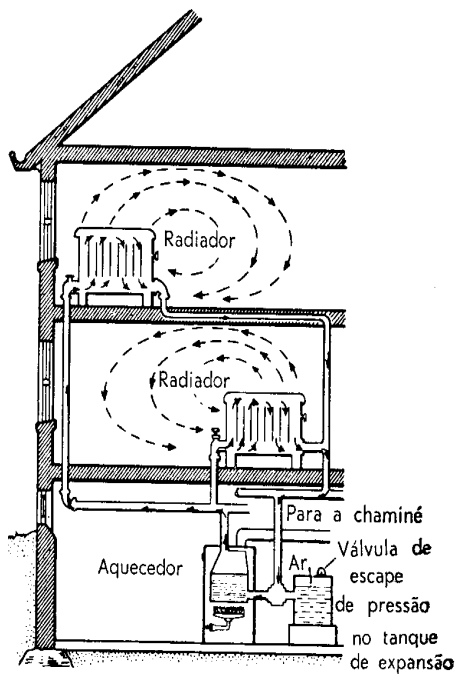


Fig. 16-5 - Um sistema de aquecimento de água quente. A água fria, descendo para o aquecedor, força a água quente a subir para os radiadores.