



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Conforto térmico como proposta de contextualização  
para o ensino de Termodinâmica**  
(Material do Professor)

Eduardo Couto de Lima

&

Helio Salim de Amorim

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Eduardo Couto de Lima, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
2012

## Sumário

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	4
CAPÍTULO 2 - CONFORTO TÉRMICO .....	5
2.1 - A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO.....	6
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA, INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS.....	9
CAPÍTULO 4 – TERMODINÂMICA E O PROJETO.....	22
4.1 - TEMPERATURA.....	22
4.2 – ESCALAS TÉRMICAS MAIS COMUNS E CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS.....	25
4.3 – TRANSFORMAÇÕES DE ESTADO: EVAPORAÇÃO - CONDENSAÇÃO .....	30
4.4 – TÉCNICAS DE MEDIDA DA UMIDADE RELATIVA DO AR .....	40
4.5 – A NATUREZA DO CALOR .....	44
4.6 – TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	50
4.7 – SUGESTÃO DE INSERÇÃO DO PROJETO DE ACORDO COM O ANDAMENTO DO CURSO DE TERMODINÂMICA.....	56
REFERÊNCIAS:.....	57
REFERÊNCIAS DAS FIGURAS .....	62
ANEXO A – Indicador do IDT [ $T_s(^{\circ}\text{C}) \times \text{UR}(\%)$ ] .....	65
ANEXO B – Tabela de coleta de dados .....	66
ANEXO C - Tabela psicrométrica .....	67
ANEXO D – Classificação das condições atmosféricas .....	68
ANEXO E - O texto para ser distribuído aos alunos .....	69
ANEXO F – Listagem do programa para aquisição de dados com as maquetes. ....	71

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O final do século XX presenciou o crescimento da consciência da sociedade em relação à degradação do meio ambiente decorrente do processo de desenvolvimento. O aprofundamento da crise ambiental, juntamente com a reflexão sistemática sobre a influência da sociedade neste processo, segundo BELLEN (2003) conduziu a um novo conceito, o de desenvolvimento sustentável ou como conhecemos nos dias de hoje: SUSTENTABILIDADE. Colocando em termos simples, a sustentabilidade é prover o melhor para as pessoas e para o ambiente tanto agora como para um futuro indefinido. Segundo o *Relatório de Brundtland* (1987), também conhecido como “Nosso Futuro Comum”, sustentabilidade é: “Suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas”. Estimular uma consciência ecológica de sustentabilidade nos jovens e adolescentes é um tema de fundamental importância para a sociedade e deve ter um caráter obrigatório no ambiente escolar.

A consciência ambiental pressupõe democracia e participação na cidadania e isto envolve também um trabalho de construção de uma sociedade justa e igualitária. As questões ambientais integram-se às conquistas sociais pelo direito a qualidade de vida para todos os cidadãos e não para uma pequena parcela da população. A Educação Ambiental significa participação política que recupere os valores éticos e de responsabilidade social nas relações entre os homens.

O objetivo deste trabalho é contextualizar a Física Térmica, principalmente, as trocas radiativas de calor usando concepções de sustentabilidade, conforto térmico e atividades práticas em sala de aula e atividades diárias nas residências do próprio aluno podendo haver, inclusive, participação direta de amigos ou familiares de fora da comunidade escolar.

## CAPÍTULO 2 - CONFORTO TÉRMICO

Nos ambientes urbanos constata-se cada vez mais o comprometimento da qualidade de vida das populações com relação às condições atmosféricas, pois, o clima afeta diretamente as atividades econômicas, a saúde e o bem estar da população. A questão da mudança climática global é cada vez mais relevante em um contexto de uma população de mais de sete bilhões de pessoas cujas atividades vêm alterando características da superfície, como a cobertura vegetal, e também a concentração de gases que interagem fortemente com a radiação na atmosfera (Melo, 2007 apud Santos e Melo). Segundo o relatório *Intergovernmental Panel on Climatic Changes - IPCC* (2007) da *Organização das Nações Unidas* (ONU) as populações que sofrerão mais, com certeza, serão as das grandes cidades dos países em desenvolvimento, especialmente os países tropicais.

Segundo a definição da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* (ASHRAE) - Standard 55-92, “conforto térmico é a condição da mente que expressa a satisfação com o meio térmico”. Segundo Fanger (1970), “neutralidade térmica é a condição de que uma pessoa não prefira nem mais ‘calor’ e nem mais ‘frio’ no ambiente ao seu redor”.

As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento do seu organismo, cujo mecanismo, complexo, pode ser, à grosso modo, comparado a uma máquina térmica que produz calor segundo sua atividade. O homem precisa liberar calor, em quantidade suficiente, para que sua temperatura interna se mantenha em torno dos 37 °C (homeotermia) com limites muito estreitos entre 36,1°C e 37,2 °C - sendo 32 °C o limite inferior e 42 °C o limite superior para sobrevivência, em estado de enfermidade. Quando as trocas de calor, entre o corpo humano e o ambiente, ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho é máxima. No entanto, se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou calor é porque o organismo está perdendo mais ou menos calor necessário para homeotermia o que só será conseguido com esforço adicional, que representa sobrecarga, com queda de rendimento no trabalho e até problemas de saúde (Frota e Schiffer, 2003).

## 2.1 - A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO

Os estudos de conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo de conforto térmico, está baseada principalmente em 3 fatores:

a) A satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável;

b) O desempenho humano, muito embora os resultados de inúmeras investigações não sejam conclusivos a esse respeito, e a despeito dessa inconclusividade, os estudos mostram uma clara tendência de que o desconforto causado por calor ou frio reduz o desempenho humano. As atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um melhor rendimento quando realizadas em conforto térmico.

c) A conservação de energia, pois devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes condicionados artificialmente. Ao conhecer as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes em seus ambientes, evitam-se desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessários.

### VARIÁVEIS AMBIENTAIS

- *Temperatura*: grandeza de fácil medição. Sua variação resulta do fluxo de grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de local para local.

- *Ventos*: Em uma região pode haver variações significativas de direção e de velocidade do ar. Isto acontece principalmente pelas diferenças de temperatura entre massas de ar, o que provoca seu deslocamento da área de maior pressão (ar mais frio) para a área de menor pressão (ar mais quente).

- *Umidade*: A pressão de vapor é a variável climática mais estável ao longo do dia. A umidade do ar resulta da evaporação da água contida nos mares, rios, lagos e na Terra, na forma de *evapotranspiração* dos vegetais. Quanto maior a temperatura do ar menor sua densidade e tanto maior a quantidade de água que poderá conter.

- *Radiação solar*: É um dos mais importantes fatores contribuintes para o ganho térmico em edificações. Pode ser interceptada pelos elementos vegetais e topográficos do local.

Dessa forma, a primeira condição para se obter conforto térmico é que o corpo esteja em equilíbrio térmico, ou seja, a quantidade de calor ganho (metabolismo + calor recebido do ambiente) deve ser igual à quantidade de calor cedido para o ambiente. Essa condição é necessária, mas, não suficiente para que haja conforto térmico. Isso pode ser explicado pela eficiência do sistema termorregulador, que consegue manter o equilíbrio térmico do organismo numa ampla faixa de combinações das variáveis pessoais e ambientais, embora o conforto térmico só ocorra numa restrita faixa dessas combinações. Assim o conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade do vento com a atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada (Ruas, 2001).

Os primeiros estudos a cerca de conforto térmico datam do início do século passado. Esses estudos tinham o objetivo principal verificar de que maneira as condições termo higrógrafas afetavam o rendimento do trabalho. As equações de balanço de energia e índices de conforto, ou desconforto, podem levar à três grupos principais:

(1) - As que levam em conta somente vento e temperatura ou umidade e temperatura;

(2) - As que levam em conta somente temperatura, vento e umidade;

(3) - As que incluem todas as principais variáveis meteorológicas (temperatura, umidade, radiação e vento) e pessoais (trocas de calor e vapor de água, metabolismo e isolamento da roupa).

Neste trabalho usaremos o Índice de Desconforto de Thon (IDT) com o objetivo de determinar as condições de conforto (desconforto) de um determinado grupo de pessoas. Este índice será usado pelo fato de ser um índice considerado apropriado para regiões tropicais, como é o caso do Rio de Janeiro e por usar variáveis de fácil medição para trabalhar no ensino médio.

**O IDT**, GILES (1990). Giles utilizou-se o índice bioclimático proposto por Thom (1959), mais comumente usado em estudos de clima urbano para regiões tropicais, para descrever a sensação térmica que uma pessoa experimenta devido às condições atmosféricas de um ambiente. Este índice oferece uma medida razoável do grau de desconforto para várias combinações de temperatura e umidade relativa do ar. Na estimativa do índice de desconforto de Thom (IDT), em graus Celsius, a seguinte equação é aplicada:

$$\text{IDT} = T - (0,55 - 0,0055 \text{ UR})(T - 14,5) \quad (3.1)$$

onde:

T é a temperatura do ar (°C);

UR é a umidade relativa do ar (%).

Na caracterização do nível de desconforto térmico, foi utilizada a classificação proposta por Giles et al. (1990) e apresentada na Tabela a seguir.

**Tabela 1.** Faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT).

Faixas	IDT (° C)	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 21,0	Sem desconforto
2	21,0 ≤ IDT < 24,0	Menos de 50% da população sente desconforto
3	24,0 ≤ IDT < 27,0	Mais de 50% da população sente desconforto
4	27,0 ≤ IDT < 29,0	A maioria da população sente desconforto
5	29,0 ≤ IDT < 32,0	O desconforto é muito forte e perigoso
6	IDT ≥ 32,0	Estado de emergência médica

Fonte: Giles et al. (1990).

Ainda pode-se usar a tabela 2 no ANEXO A para a verificação do índice de desconforto de Thom de maneira mais ágil.

## CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA, INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS.

A partir dos estudos realizados na primeira etapa de nosso trabalho através de um levantamento bibliográfico, pesquisas teóricas realizadas através de livros textos, artigos e Internet, estabelecemos uma metodologia que julgamos ser mais adequada ao projeto que se desejava realizar.

Nosso projeto tem abordagem qualitativa e quantitativa tendo como fonte principal para a coleta de dados de um psicrômetro construído em sala de aula e uma tabela que deverá ser preenchida pelos alunos em uma pesquisa de campo para analisar o nível de conforto térmico em ambientes reais e desempenhando atividades rotineiras.

### **1<sup>A</sup> ETAPA: CONSTRUINDO O PSICRÔMETRO**

#### **TÓPICOS A SEREM ABORDADOS:**

Dentro do estudo da Termodinâmica presente no conteúdo programático de Física para o Ensino Médio, os tópicos de Física a serem desenvolvidos nesta atividade são:

- ✓ Escalas Térmicas – calibração de termômetros
- ✓ Equilíbrio térmico
- ✓ Algarismos significativos e instrumentos de medidas
- ✓ Calor sensível
- ✓ Calor Latente
- ✓ Evaporação - Condensação

Estes tópicos que se pretendem trabalhar com esta atividade estão calcados, basicamente, em três conceitos que serão utilizados e desenvolvidos ao longo da atividade:

- ✓ Calorimetria
- ✓ Temperatura
- ✓ Erro ou incerteza da medida

## FENÔMENOS A SEREM ESTUDADOS

Dentre as diversas possibilidades de fenômenos a se observar com o material utilizado, podemos citar:

- ✓ Limitação na precisão das medidas devido aos instrumentos
- ✓ Gradientes de temperatura
- ✓ Ponto de mudança de fase
- ✓ Umidade relativa do ar
- ✓ Evaporação e condensação
- ✓ Efeito de capilaridade
- ✓ Ponto de orvalho

## A ATIVIDADE

O momento ideal para a construção do psicrômetro pela turma é após o professor ter dado sua aula normal de temperatura e escalas térmicas e resolvido exercícios que envolvam correção de valores obtidos por termômetros mal calibrados. Essa construção pode levar de 1 a 2 aulas de 1h e 30 min. Isso vai depender do professor e da necessidade de se aferir, ou não, os termômetros disponíveis:

para o tempo de 1 aula: O professor distribui os termômetros já aferidos;

para o tempo de 2 aulas: O professor leva os termômetros para serem aferidos, individualmente, pelos alunos em sala de aula.

Nesta fase dá-se mais ênfase aos aspectos operacionais da medida da umidade relativa e os aspectos teóricos envolvidos são discutidos dentro de uma base mais fenomenológica. A melhor oportunidade é aquela em que se discute as transformações de fase.

### Material necessário:

- a) 1 termômetro de maior confiabilidade (para o professor);
- b) 2 termômetros (para cada aluno);
- c) 1 pedaço de cadarço de sapato, ou gaze, etc;
- d) Cola quente ou outra cola de secagem rápida (pelo menos 3 bastões de cola quente para 40 psicrômetros);

- e) Papel cartão (1 folha para cada 25 alunos);
- f) Recipiente para água (copo plástico usado para tomar café);
- g) Régua;
- h) Estilete (1 para cada 5 alunos);
- i) Tesoura (1 para cada 5 alunos);
- j) Recipiente com água e gelo.

**1ª Parte:** Calibração dos termômetros (pode ser feito em sala de aula)

Para isso tomaremos dois pontos de temperatura, a temperatura ambiente (medida com um termômetro de melhor qualidade) e ponto de fusão do gelo (0°C) ao nível do mar (1,0 atm de pressão) usando um recipiente com água e gelo.

Procedimentos:

- a) Cortar a base de metade dos termômetros que serão usados para deixar o bulbo exposto e facilitar a evaporação da água no bulbo úmido.
- b) Distribua os termômetros (2 para cada aluno), um com a base cortada e um inteiro.
- c) Identificar os termômetros com os números 1 e 2.
- d) Verificar a temperatura de cada termômetro na sala ( $T_S$ ) e no recipiente com água e gelo ( $T_g$ ).
- e) Anotar numa tabela como esquematizado abaixo

Tabela 2- Aferição de termômetros

	Termômetro 1	Termômetro 2
Temperatura (sala)		
Temperatura (fusão)	0,0	

- f) Informar aos alunos a temperatura ( $T_P$ ) medida com o termômetro de maior precisão. (professor)
- g) Cada aluno deve escrever a equação de correção para seu(s) termômetros caso seja necessário.

Equação de correção:  $\theta_c = T_P (\theta - T_g) / (T_S - T_g)$

$\Theta_C$  = Temperatura correta e  $\Theta$  = Temperatura a ser corrigida (medida pelo aluno)

**Dicas:**

É importante que o professor, nesse caso, circule pela sala com seu termômetro, a fim de aferir as temperaturas em mais de um lugar da sala. O professor pode fazer uma

permuta entre os termômetros distribuídos aos alunos para que minimize o número de equações de correções.

Os termômetros distribuídos para cada aluno foram da marca Western (<http://www.etilux.com.br/western/produtos/19/188/334/>). Referência TR-10. Foram comprados em uma loja de R\$1,99 no centro da cidade pelo valor de R\$ 2,10 a unidade.



Figura 3.1 – Termômetros inteiros e com a base inferior cortada deixando o bulbo exposto.

## 2ª Parte: Construção do Psicrômetro

Nessa etapa é importante que os alunos possam ter espaço para trabalhar livremente, pois, precisarão de um apoio firme para desenhar, recortar e colar.

### Procedimentos:

1 – Corta-se o papel cartão em formato retangular de 27 cm por 13 cm (pelo professor antes da aula).

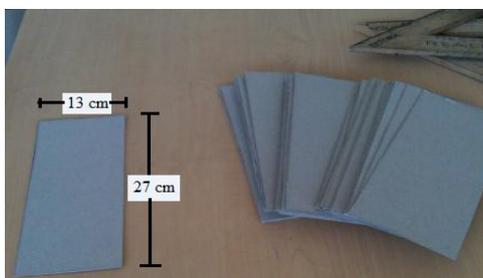


Figura 3.2 – Base do psicrômetro

2 – Com uma caneta comum marcar a peça (frente e verso) como mostra a figura (valores em cm).

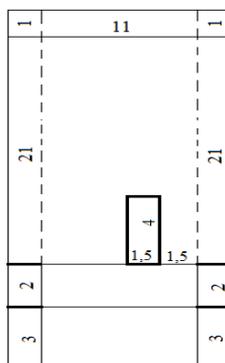


Figura 3.3 – Base do psicrômetro marcada

3 – Usar um estilete sobre as marcações, numeradas, para fazer frisas e cortes seguindo a regra abaixo.

3.a) Linhas tracejadas (1 e 21) → frisar a frente do cartão.

3.b) Linhas em negrito (no espaço 2 e no retângulo [4 x 1,5] cm) → cortar.

3.c) Linhas comuns (nos espaços 2 e 3, exceto a linha superior de 2) → frisar o verso do cartão.

4 – Dobrar a frisa das linhas pontilhadas para trás e as frisas das linhas comuns para frente.

5 – Colar os termômetros na base papel (use a linha comum superior de 1 cm para nivelar os termômetros).



Figura 3.4 – Termômetros alinhados

7 – Aplicar cola nos pontos de encontro da dobradura a da parte superior e inferior para reforçar a estrutura.

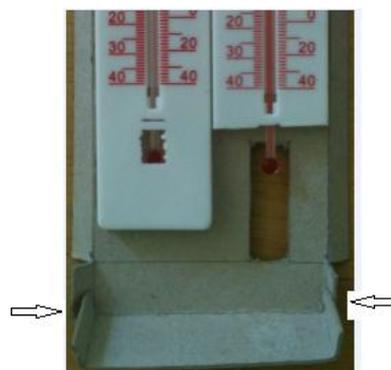


Figura 3.5 – Dobradura da Base

Obs.: à direita vemos o termômetro com o bulbo exposto.

8 – Amarrar com uma linha o cadarço no bulbo exposto do termômetro.

9 – Colocar o copo, que receberá água à temperatura ambiente, na base.



Figura 3.6 – Preparação do termômetro de Bulbo úmido

Obs: A base recortada dos termômetros pode ser usada para reforçar a estrutura do psicrômetro, basta colar na parte inferior (dobradura 3).

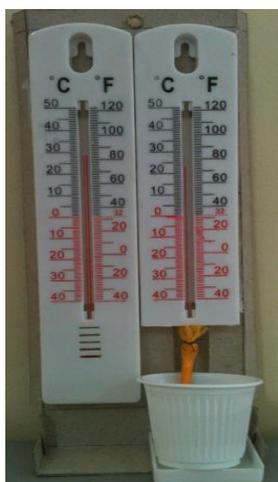


Figura 3.7 – Psicrômetro montado

Após a construção do psicrômetro, os alunos iniciarão a fase de coleta de dados e, portanto o professor deve explicar a base teórica do funcionamento do psicrômetro e como manuseá-lo corretamente.

### 3ª Parte: Coleta de dados.

Os alunos levarão os psicrômetros para suas residências e irão preencher a tabela do ANEXO B como mostra o exemplo abaixo.

Tabela 3 – Coleta de dados do psicrômetro

Dia e hora	Local	$T_s$ (°C)	$T_u$ (°C)	$\Delta T = T_s - T_u$	UR	Condição climática do dia	Sensação de conforto
15/04 14:54	Sala de estar	30,0	25,0	5	66%	Sol entre nuvens	P1: calor P2: Muito calor

Obs: O campo da Umidade Relativa (UR) poderá ser preenchido utilizando o ANEXO C e para identificação do aluno a tabela do ANEXO B possui um cabeçalho onde é necessário que o aluno pesquise a latitude, a longitude e a elevação de sua residência. P1 e P2 se referem aos dois observadores.

Além da tabela, organizamos um pequeno texto auxiliar para ser distribuído para os alunos (ver ANEXO D), com informações resumidas das principais quantidades e conceitos envolvidos no trabalho. O texto traz assim um resumo das teorias exploradas em sala de aula.

***Algumas dicas:***

Disponibilize de 10 a 20 minutos finais de cada aula para discutir com os alunos sobre o dia a dia do projeto em suas residências, por exemplo:

**1ª Semana**

1 – Peça para que os alunos tragam os dados na aula seguinte e discuta com eles durante algum tempo a importância de se coletar dados corretamente (10 minutos), pois, a maioria dos alunos jamais fez algum tipo de experimento e, provavelmente, fará errado nessa primeira semana. Aproveite para corrigi-los e começar a padronizar os dados (isso facilitará muito na hora de montar as planilhas do EXCEL).

**2ª Semana**

2 – Pergunte se em algum dia da semana alguém observou algo “estranho” como uma grande diferença psicrométrica ou nenhuma diferença de temperatura entre os termômetros. Discuta isso com relação ao tempo e a sensação de conforto.

3 – Faça perguntas do tipo:

a) E se ao invés de colocarmos um cadarço molhado, colocássemos o termômetro de bulbo úmido diretamente na água? O que aconteceria com a temperatura?

b) Por que sentimos frio quando saímos do banho ou de uma piscina?

**3ª Semana**

4 – Peça que os alunos façam uma única medida extra dentro do banheiro após o banho. (Não existirá diferença entre as temperaturas dos termômetros de bulbo seco e de bulbo úmido, ou seja, UR = 100%).

5 – Pergunte:

- a) O que foi observado? Por que você acha que isso aconteceu?
- b) Podemos comparar essa medida com uma medida tomada num dia de chuva?

6 – Peça aos alunos que façam uma pesquisa sobre conforto térmico, ilhas de calor, aquecimento global, etc.

#### 4ª Semana

7 – Discuta sobre conforto térmico, sua relação com temperatura e umidade relativa do ar e apresente o índice de conforto IDT, mas não mostre as faixas de conforto térmico e peça apenas para que eles calculem o IDT das medidas feitas, utilizando a eq. (3.2).

#### 5ª Semana

8 – Grave os dados tomados pelos alunos em uma planilha única e faça uma estatística com os valores obtidos no IDT e compare com os índices de Thom, apresentados na tabela 1.

Nesse momento os alunos da 1ª série do ensino médio, serão encaminhados para uma sala de informática e com a orientação dos professores de Física e de Informática receberão instruções para a organização e compilação dos dados no formato EXCEL a fim de uniformizar para agrupar e construir gráficos e tabelas.

O professor de posse de todos os dados fornecidos pelos alunos deve fazer uma análise para mostrar e discutir a sensação de conforto térmico sentido por cada um dos alunos e familiares que participaram da pesquisa confrontando com as variáveis utilizadas e sugeridas pelo índice IDT proposto por Thom e adaptado por Gilles. Caso seja necessário o professor pode manipular as faixas de conforto para se adequar a cultura e costume dos indivíduos pesquisados.

## **2ª ETAPA: PROPOSTA DE MITIGAÇÃO DO DESCONFORTO TÉRMICO EM RESIDÊNCIAS**

### **TÓPICOS A SEREM ABORDADOS:**

Dentro do estudo da Termodinâmica, presente no conteúdo programático de Física para o Ensino Médio, os tópicos de Física a serem desenvolvidos nesta atividade são:

- ✓ Processos de trocas de calor
- ✓ Capacidade térmica
- ✓ Radiação Térmica

Estes tópicos que se pretendem trabalhar com esta atividade estão calcados, basicamente, em três conceitos que serão utilizados e desenvolvidos ao longo da atividade:

- ✓ Lei de Kirchhoff
- ✓ Lei de Stefan-Boltzman

### **FENÔMENOS A SEREM ESTUDADOS**

Dentre as diversas possibilidades de fenômenos a se observar com o material utilizado, podemos citar:

- ✓ Absorção de Calor
- ✓ Emissão de Calor
- ✓ Corpo negro
- ✓ Conforto térmico

### **A ATIVIDADE**

Na segunda e última etapa de nosso projeto avaliamos uma solução prática para a mitigação do desconforto térmico domiciliar, tão comum no período de verão em nossa cidade, envolvendo aí o tema das trocas radiativas de calor e a proposta da ONU, no âmbito do IPCC, e de grande repercussão na mídia, que foi o: “Pinte seu telhado de branco”. Para isso utilizamos duas maquetes de residências (Figura 4.11), uma com telhado pintado de branco e outra com telhado cinza (para tentar reproduzir a cor de telhas de amianto ou de uma laje comum) e sensores de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade, associados a uma placa de aquisição de dados (placa ARDUINO) exposta às condições atmosféricas reais durante um dia inteiro (24h). Após a coleta dos dados, gráficos de temperatura x tempo, umidade x tempo, luminosidade x tempo e IDT x tempo foram construídos. A partir da análise desses dados será feita uma grande discussão e debate entre o professor e os alunos com objetivos de melhor compreender e visualizar questões acerca do tema.

A montagem experimental, desta parte do projeto, é realizada pelo professor. Os alunos participam da coleta de dados seguindo as instruções de utilização apresentadas. Ainda nesta fase se pretende uma discussão bem dirigida, visando-se os dados experimentais e dando-se pouca ênfase nos detalhes da instrumentação.



Figura 3.11 – Maquetes em madeira MFP com telhados branco e cinza.

Materiais utilizados:

- a) Computador
- b) Programa de compilação de dados
- c) 2 sensores de temperatura digitais DS18B20 da *Maxim*;
- d) 1 sensor de umidade relativa do ar, analógico, da HIH-4030 da *Honeywell*;
- e) 1 resistor LDR (**Light Dependent Resistor**) sensível a luz - usado para medir a incidência de luz;
- f) 2 maquetes de casas de madeira MDF facilmente encontradas em lojas de material para artesanato;
- g) Placa ARDUINO Uno;
- h) Barra de conectores, fios, solda de estanho e fita isolante.

Os Sensores digitais de temperatura DS18B20 (9 – 12 bits, programável) da Maxim (USA) foram colocados no interior de maquetes de madeira MFP.



Figura 3.12 - Sensor de temperatura fixado em um pedestal de plástico no centro da maquete.

Para a observação da incidência efetiva de luz sobre as maquetes introduzimos um resistor LDR. O esquema de ligação é aquela de um simples divisor de tensão alimentado pela saída de 5,0 VDC da própria placa Arduino. O esquema de ligação pode ser visto na Figura 4.13 A medida da intensidade de luz é interessante ser incluída, pois permite uma relação direta com a temperatura no interior das maquetes e poderá ser usada para discutirmos a Lei de Stefan-Boltzman.

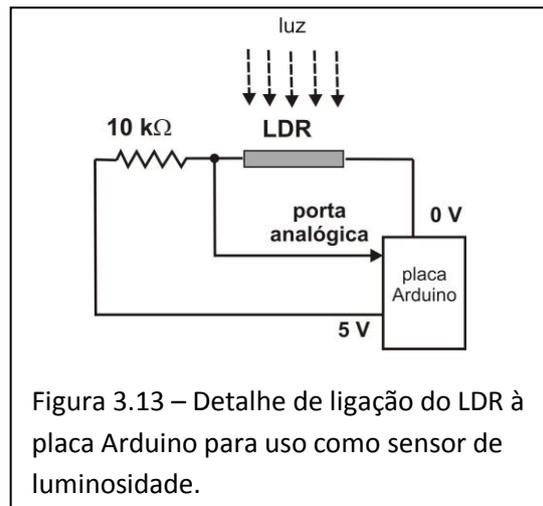


Figura 3.13 – Detalhe de ligação do LDR à placa Arduino para uso como sensor de luminosidade.

Um ponto importante de se observar sobre o LDR é de que seu comportamento não é linear com a variação da intensidade da luz incidente, fato que não traz maiores consequências sobre os objetivos do trabalho.

Usamos o sensor analógico HIH-4030 da *Honeywell* para a medida da umidade relativa do ar. Esse sensor é introduzido no ambiente das maquetes (figura 4.16) com a finalidade de determinar o IDT.

Para facilitar a ligação de uma série de maquetes, as conexões são feitas por uma barra de conectores fixada na parte de trás das maquetes.



Figura 3.14 – Barra de conectores fixada às maquetes.

Os sensores analógicos de umidade relativa e intensidade luminosa foram ligados à duas portas analógicas de uma placa Arduino Uno. Nessas portas temos a conversão do sinal analógico para digital em resolução de 10 bits. Os sensores de temperatura são ligados em outra porta da placa Arduino, pois, o sinal emitido por estes já é um sinal digital. Na Figura 4.15 podemos ver esquema completo de ligação dos sensores à placa Arduino.

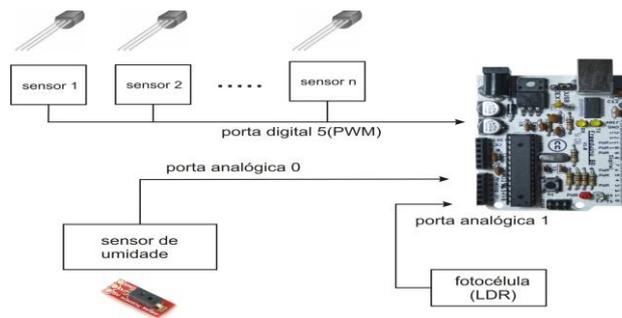


Figura 3.15 – Ligação com a placa ARDUÍNO: Sensores de temperatura digitais (sensor 1, 2, ...n) colocados no interior das maquetes. O esquema é bastante facilitado pela possibilidade de uma ligação por um único cabo de transferência de dados (1-wire) para uma única entrada digital (PWM) da Arduino. Um sensor de umidade relativa do ar foi colocado no ambiente das maquetes e assim como o resistor LDR sensível à luz

Na montagem testada, usamos apenas duas maquetes e, portanto, apenas dois sensores de temperatura. A figura abaixo mostra o sensor de umidade relativa do ar e o resistor LDR sensível a luz colocados no ambiente das maquetes.



Figura 3.16 – Montagem experimental de testes para o estudo da proposta “Pinte o seu Telhado de Branco”. Na foto vemos as duas maquetes usadas, uma com o telhado pintado de branco e outra pintada de cinza. Entre as duas maquetes está o resistor LDR para medir a incidência de luz e abaixo o sensor de umidade.

Para o registro contínuo das medidas utilizamos uma placa acoplada à Arduino (*shield*) que permite a gravação dos dados em um cartão de memória. Esse acessório é fornecido pela Adafruit (USA) e todos os detalhes de montagem e utilização podem ser encontrados na página, <http://www.adafruit.com/products/243>.

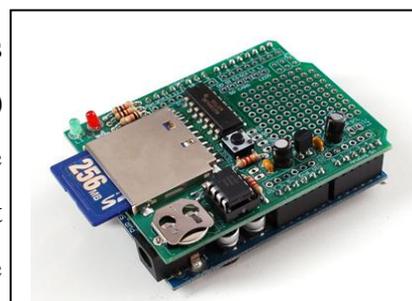


Figura 3.17 – Placa Arduino e *shield* (Adafruit(USA)) cartão de memória para gravação de dados.

## PROCEDIMENTOS

- A) Em um primeiro momento o professor deve escolher o local para instalação das maquetes, de preferência dentro da própria escola. Este ambiente deve ser seguro, livre de sombras artificiais e ainda deve possuir uma tomada de 127V para alimentação da placa Arduíno.
- B) Programar a placa arduíno com o algoritmo do ANEXO E.
- C) Em uma aula apresentar o material utilizado.
- D) Explicar como os dados serão coletados através dos sensores e como serão transferidos para um computador através da placa Arduíno.
- E) Com o auxílio de um computador ligar o conjunto ainda em sala de aula para coletar alguns dados e mostrar o funcionamento. Inclusive com a construção de gráficos pelo programa instalado no computador como, por exemplo, o EXCEL da Microsoft.
- F) Levar todo o material (exceto o computador) com a ajuda dos alunos para o local previamente escolhido.
- G) Ligar a placa Arduíno na tensão de 127V.
- H) Coletar dados por pelo menos um dia (24h)
- I) Na aula seguinte apresentar e discutir os resultados obtidos

## CAPÍTULO 4 – TERMODINÂMICA E O PROJETO.

Este capítulo é destinado ao professor do Ensino Médio como uma fonte de consulta auxiliar para alguns conceitos, teorias e leis apresentadas nesse trabalho. Nossa principal preocupação é com aqueles temas de Termodinâmica importantes para o desenvolvimento das atividades propostas, mas que não se encontram adequadamente desenvolvidos nos livros texto de ensino de Física. É importante enfatizar que esse capítulo não substitui os textos dedicados a uma exposição sistemática sobre a Termodinâmica, aos quais deve se remeter o professor na organização de seu curso sobre essa matéria. Ainda, ao final deste capítulo sugerimos em quais momentos do curso de termodinâmica o professor pode inserir o projeto.

### 4.1 - TEMPERATURA

Conseguimos perceber o quanto um objeto está quente ou frio através do simples contato com o objeto e, dependendo do caso, basta nos aproximarmos dele. Esta sensação de frio e quente está relacionada com o que denominamos **temperatura**, um dos conceitos centrais em Termodinâmica e, também, um conceito inadequadamente apresentado em muitos livros texto. Por ser uma grandeza firmemente vinculada à uma sensação tátil temos a tendência de assumir que corpos mais quentes apresentam maior temperatura do que corpos mais frios. Porém, essa sensação térmica é relativa, pois depende da situação e da nossa sensibilidade individual. Por exemplo, coloque durante alguns minutos sua mão direita em um recipiente com água fria e sua mão esquerda em um com água quente. Depois coloque as duas mãos em um mesmo recipiente com água morna e observe o que acontece: a sensação térmica sobre a mão direita e a esquerda não é a mesma.



Figura 4.1 – Sensação térmica

A definição de temperatura está vinculada a Lei Zero da Termodinâmica. De maneira sucinta, esta lei estabelece que se um corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo B e se o corpo A está em equilíbrio térmico com o corpo C então podemos afirmar que se colocarmos os corpos B e C em contato estes estarão em equilíbrio térmico entre si. Esta propriedade parece evidente, mas uma rápida reflexão nos leva a concluir que isso não é assim. Por exemplo, se considerarmos que um corpo A atrai magneticamente um corpo B e, também, atrai magneticamente um corpo C, não podemos concluir daí que se colocarmos o corpo B próximo do corpo C, estes se atrairão mutuamente. A atração magnética não é uma propriedade transitiva.

Foi apenas no século passado que se reconheceu a importância dessa propriedade para a fundamentação do conceito de temperatura e é por isso que passou a desempenhar o papel de uma lei fundamental para a Termodinâmica. Como já existiam a primeira e a segunda lei, essa propriedade empírica assumiu o *status* de uma lei mais fundamental, devendo preceder as duas já estabelecidas passando, portanto, a ser chamada informalmente de Lei Zero.

Se a Lei Zero é verdadeira, devemos inferir que existe uma propriedade da matéria que deva ser responsável pelo equilíbrio térmico, pois afinal o que tem a ver o equilíbrio térmico dos corpos A-B com o equilíbrio térmico A-C? Ou seja, existe alguma propriedade responsável pelo equilíbrio térmico e que seja comum aos três (ou mais) corpos A, B e C. Essa propriedade é a temperatura o que nos leva a seguinte definição:

*Definição:* uma condição necessária e suficiente para dois sistemas estarem em equilíbrio térmico entre si é que tenham a mesma temperatura.

Em termos da temperatura, a Lei Zero nos garante que se um termômetro A está em equilíbrio térmico com o corpo B e também com um corpo C, se colocarmos o corpo B em contato térmico com o corpo C nada acontecerá, isto é, eles também estarão em equilíbrio térmico entre si e suas temperaturas serão as mesmas do termômetro A.

Galileu, no século XVI introduziu a ideia de que poderíamos medir a temperatura de um corpo através de uma propriedade física da matéria que fosse dependente da temperatura. Essa proposta, que hoje nos parece tão simples, foi na verdade revolucionária. Suas consequências foram tão importantes que Galileu é

considerado pelos historiadores o pai da Termometria, a ciência da medida da temperatura. Verificamos, por exemplo, que o volume de um corpo depende da temperatura, fato associado ao fenômeno da dilatação térmica. Assim, podemos medir a temperatura de um corpo através da medida do volume por ele ocupado. Conhecemos hoje uma quantidade enorme de grandezas físicas que dependem da temperatura. Uma dessas grandezas quando utilizada por um dado termômetro é chamada de *grandezas termométrica* desse termômetro.

Os tipos mais comuns de termômetros são os que se baseiam na dilatação de líquidos como o mercúrio e o álcool. Nesses termômetros, medimos a temperatura medindo o volume ocupado por uma certa quantidade de líquido armazenado no seu interior (bulbo).



Figura 4.2 – Termômetros de álcool e mercúrio.

Foi Galileu também, por volta de 1592, quem construiu o primeiro termoscópio. Este instrumento era composto por uma esfera oca de vidro à qual estava conectado um tubo estreito, também de vidro. Aquecia-se a esfera com as mãos e submergia-se a extremidade do tubo num recipiente contendo água. Ao resfriar o líquido penetra no tubo. O termoscópio avaliava qualitativamente o aumento ou a diminuição da temperatura, por meio do nível do líquido no interior do tubo.

A palavra temperatura, por sua vez, tem uma origem histórica associada à *teoria do calórico*. Mais a frente apresentamos uma breve referência histórica a essa teoria. Essa teoria admitia que o calor era um fluido de massa desprezível, indestrutível,

e com uma enorme capacidade de difusão no interior da matéria não importando o quão densa fosse. Os primeiros estudiosos acreditavam que a temperatura era uma medida da concentração do calórico na matéria, daí o termo temperatura que tem sua origem no grego significando “grau de mistura”. Usava-se então o mesmo termo temperatura para indicar, por exemplo, a concentração alcoólica do vinho.

Essa crença não era desprovida de uma base experimental. Descobriu-se que se misturamos  $m_1$  gramas de água à temperatura  $T_1$  com  $m_2$  gramas de água a temperatura  $T_2$ , a temperatura de equilíbrio, após a redistribuição do calórico, era dada pela expressão,

$$T_{\text{equilíbrio}} = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2}$$

Incidentalmente uma expressão análoga é usada para se calcular o teor alcoólico de uma mistura de vinhos. Se misturarmos um vinho de massa  $m_1$  e concentração alcoólica  $C_1$  ( $C = \text{massa de álcool} / \text{massa total}$ ) com um vinho de massa  $m_2$  e concentração alcoólica  $C_2$  a mistura terá uma concentração alcoólica dada por,

$$C_{\text{final}} = \frac{m_1 \cdot C_1 + m_2 \cdot C_2}{m_1 + m_2}$$

a similaridade das duas fórmulas foi usada pelos partidários da teoria do calórico em apoio à tese de que a concentração de calórico na matéria determinaria a sensação de quente/frio, isto é, seria a temperatura tal como auferida pelos termômetros.

Uma segunda grande contribuição à ciência da Termometria surge com a descoberta dos pontos de temperatura constante. Descobriu-se que certas transformações de estado como a fusão do gelo e a ebulição da água, se davam sempre a uma mesma temperatura. A ideia de se utilizar os pontos de temperatura constante para formular escalas de temperatura que pudessem ser reproduzidas por diferentes estudiosos em diferentes lugares foi fundamental.

#### *4.2 – ESCALAS TÉRMICAS MAIS COMUNS E CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS*

As escalas de temperatura mais difundidas e atualmente em uso no mundo são frutos de importantes convenções internacionais ocorridas em 1954 (10<sup>a</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM) e em 1967 (13<sup>a</sup> CGPM). A escala absoluta Kelvin é a escala de temperatura do Sistema Internacional e foi definida pela convenção de 1954,

Resolução 3, ao atribuir ao ponto triplo da água o valor 273,16 K. A convenção de 1967 adotou o nome kelvin (símbolo K) em lugar de “grau kelvin” (símbolo K) e estabeleceu formalmente na sua Resolução 4 que,

“O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água.”

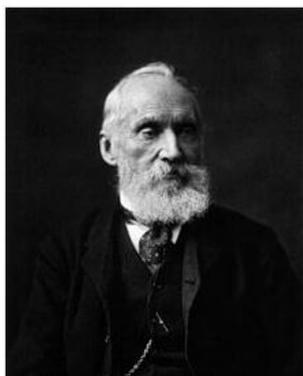


Figura 4.3 – Lord Kelvin (1824-1907)

O nome Kelvin foi dado em homenagem ao iminente cientista irlandês William Thomson, que assumiu uma posição na Câmara dos Lordes, na Inglaterra, em função das suas realizações científicas, passando a ser conhecido como *Lord Kelvin*, nome adotado em homenagem ao rio Kelvin que passava perto de seu laboratório na Universidade de Glasgow.

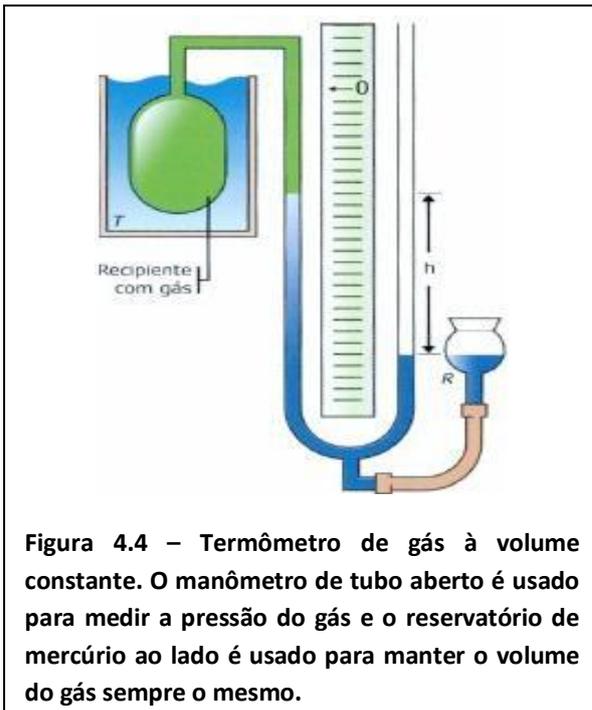
A escala de temperatura termodinâmica tem sua definição associada a Segunda Lei da Termodinâmica, mas uma forma mais simples de introduzi-la é se valendo do fato de que esta escala é equivalente a *escala do termômetro de gás a volume constante*. O termômetro de gás a volume constante usa como grandeza termométrica a pressão do gás. Na Figura 5.4 mostramos um desenho esquemático. Sempre que a temperatura do bulbo com gás variar a pressão irá variar. Uma escala de temperatura  $\theta$  baseada na pressão  $p$  pode ser construída se adotamos a relação,

$$\theta = b.p$$

Uma tal escala é chamada absoluta porque suas temperaturas são sempre positivas. A constante  $b$  pode ser determinada se assumirmos que a temperatura no ponto triplo da água assumo o valor 273,16. Nesse caso, a calibração nessa escala implica a necessidade de se colocar o nosso termômetro em contato com um banho térmico à temperatura do ponto triplo. Nesse ponto medimos a pressão encontrada. Assumindo que essa pressão seja  $p_{\text{ponto triplo}}$  determinamos a constante,

$$273,16 = b.p_{\text{pontotriplo}}$$

$$\theta = 273,16 \cdot \frac{p}{p_{\text{pontotriplo}}}$$



Essa, entretanto, não é a escala kelvin. Verificamos experimentalmente que a temperatura de um dado sistema obtida com esse termômetro dependerá do tipo de gás usado. No entanto, a experiência também mostra que se utilizarmos quantidades pequenas de gás no termômetro a temperatura medida tende a não depender da natureza do gás. Com essa observação empírica foi possível definir uma escala de temperatura que não depende da substância termométrica. Essa escala é definida tomando-se o limite em que a

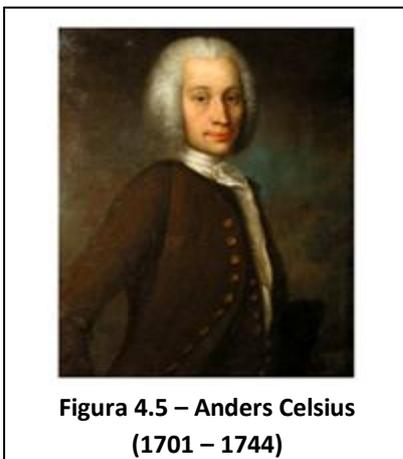
quantidade de gás tende a zero, o que equivale a tomar o limite em que a pressão no ponto triplo tende a zero, isto é,

$$T(K) = 273,16 \cdot \lim_{p_r \rightarrow 0} \frac{P}{p_{tr}}$$

Essa é a escala kelvin. Na escala kelvin a temperatura do ponto de fusão do gelo a pressão normal é de 273,15 K. Outra escala considerada por acordos internacionais é a escala Celsius (símbolo °C). A escala Celsius é definida através da escala kelvin por meio da relação,

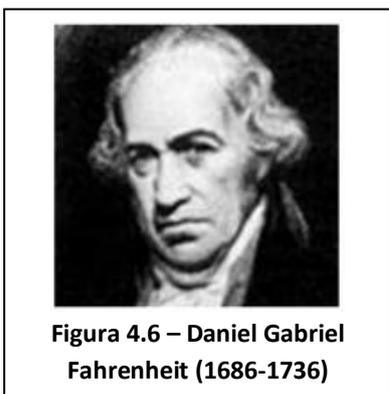
$$t/^{\circ}C = T / K - 273,15$$

Um kelvin é assim igual a um grau Celsius.



A escala Celsius (°C) tem o seu nome em homenagem ao astrônomo sueco Anders Celsius que propôs por volta de 1742 uma escala de temperatura baseada em dois pontos de temperatura constante, o ponto de fusão do gelo e o ponto de ebulição da água, ambos a pressão normal. Adotou originalmente o valor 100 ao ponto de gelo e o valor 0 ao ponto de ebulição.

Posteriormente, foi proposto a troca dos valores tomando-se 0 para o ponto de gelo e 100 para o ponto de ebulição. Essa escala chamada centígrada não é mais adotada desde 1954 sendo a escala Celsius, que de certa forma a precedeu, definida, como já indicado, pela relação acima. Na escala Celsius atual a temperatura do ponto de ebulição da água à pressão normal é 99,975 °C e o do ponto de fusão do gelo é 0,00 °C.



Outra escala prática ainda em uso nos Estados Unidos é a Escala Fahrenheit (símbolo, °F). Essa escala é atualmente baseada na escala Celsius, através da relação,

$$t_F / ^\circ\text{F} = (9/5) \cdot t_c / ^\circ\text{C} + 32$$

Originalmente, essa escala foi proposta por Daniel Fahrenheit, físico de origem alemã e cabe assinalar que existem muitas controvérsias a respeito da história da escala Fahrenheit. Investigações históricas mais recentes, conduzidas principalmente por Middleton (1966) e Star (1983), têm contribuído para lançar um pouco de luz sobre essa questão.

Uma das versões mais difundidas sobre as origens da escala Fahrenheit, devido talvez à sua aparente simplicidade, foi popularizada por Egen, segundo Middleton, a partir de 1827. Essa versão, ainda encontrada em alguns textos atuais, assinalava que Fahrenheit haveria tomado o seu zero relacionado à temperatura da mistura congelante de água, gelo e sal de amônio, denominado sal de amoníaco por Fahrenheit, e atribuído o valor 600 graus à temperatura de ebulição do mercúrio (equivalente aos atuais 315,56 °C).

Tal versão estava baseada numa comunicação escrita apresentada por Fahrenheit, em 1724, à Royal Society da Inglaterra (MAGIE apud MEDEIROS, 2007). Naquela comunicação, Fahrenheit apresentava uma justificativa para a adoção de sua escala, referindo-se a novos termômetros mais longos, por ele construídos, que permitiriam encontrar os pontos de ebulição de vários líquidos. Não se tratava, rigorosamente, de um testemunho sobre a forma como a sua escala havia sido originalmente concebida. Neste sentido, tal documento pertencia mais ao que poderíamos denominar o *contexto da justificativa*, aquela forma na qual uma ideia é apresentada a uma comunidade científica, no intuito de angariar o seu crédito, o seu

aval. Em comunicações desse tipo, ao longo da história, é comum que os cientistas reelaborem as formas como chegaram às suas propostas de forma a torná-las mais palatáveis aos gostos de uma comunidade. Perde-se, assim, costumeiramente, em tais documentos, o vínculo real com aquilo que verdadeiramente teria ocorrido no contexto da descoberta.

Documentos como o apresentado por Fahrenheit à Royal Society são peças de convencimento, tentativas de justificativas e não exatamente relatos originais de descobertas. De toda forma, no entanto, esse documento de Fahrenheit foi por quase duzentos anos a única fonte original disponível para que se pudesse tentar compreender a origem de sua escala. Tomemos um trecho relevante dessa mencionada comunicação de Fahrenheit, na qual ele tenta justificar as divisões das escalas dos seus termômetros:

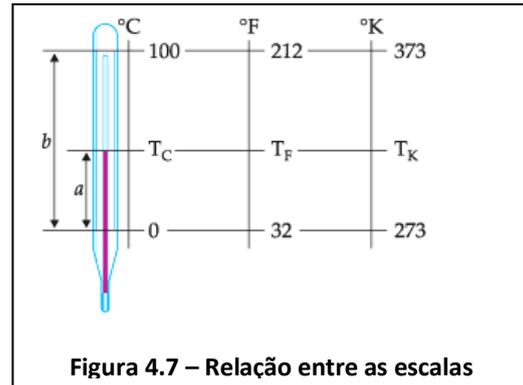
*“A divisão das suas escalas está baseada em três pontos fixos, os quais podem ser produzidos acuradamente como se segue. O primeiro é colocado na parte mais baixa ou no início da escala e é obtido com uma mistura de gelo, água e sal de amoníaco ou sal do mar. Se o termômetro é colocado nessa mistura, o seu fluido desce até um ponto no qual é marcado zero. Este experimento dá melhores resultados no inverno que no verão. O segundo ponto fixo é obtido quando água e gelo são misturados sem os sais acima mencionados. Se o termômetro é colocado nessa mistura, seu fluido sobe até o grau 32, o qual eu chamo o ponto do início do congelamento, pois as águas estagnadas dos invernos estão sempre cobertas com uma fina camada de gelo quando o termômetro atinge este grau. O terceiro ponto fixo é encontrado aos 96 graus, e o fluido expande-se até este grau quando o termômetro é colocado na boca ou sob a axila de uma pessoa sadia, por um tempo suficiente para adquirir o calor do corpo. ... A escala dos termômetros para determinar o calor dos líquidos em ebulição inicia-se também a zero e contém 600 graus, pois o mercúrio que enche os termômetros começa a entrar em ebulição aproximadamente naquele ponto”. (FAHRENHEIT, apud MEDEIROS, p. 161)*

Resumindo a relação entre as escalas:

Celsius e Fahrenheit:  $T_c = 5.(T_F - 32) / 9$

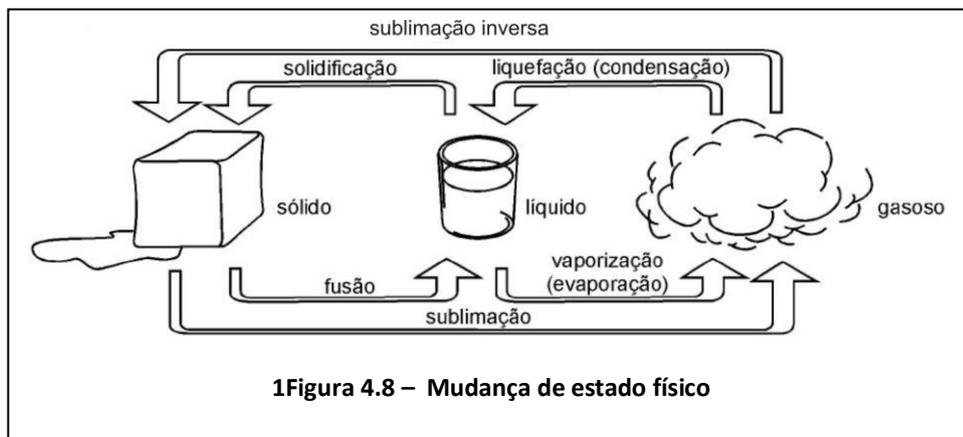
Celsius e Kelvin:  $T_c = T_k - 273$

Fahrenheit e Kelvin:  $T_F = 9.(T_K - 273) / 5$



### 4.3 – TRANSFORMAÇÕES DE ESTADO: EVAPORAÇÃO - CONDENSAÇÃO

O estudo das transformações de estado desempenha um papel importante no entendimento dos fatores que determinam o conforto térmico. Na Figura 5.8 apresentamos um esquema mostrando a terminologia básica usada para as transformações de estado. O caso que nos importa mais diretamente são as transformações líquido – gás (vapor) e gás – líquido, isto é, evaporação e condensação respectivamente.



A diferença entre os termos gás e vapor é apenas contingente: dizemos que vapor é uma matéria gasosa que pode ser liquefeita. Se tomamos uma amostra de oxigênio gasoso ( $O_2$ ) em temperaturas que sejam típicas em nosso meio ambiente terrestre sabemos que ela não pode ser liquefeita aumentando-se apenas a pressão sobre a amostra. A *temperatura crítica* do oxigênio é de  $-118\text{ }^\circ\text{C}$  e acima desta temperatura é impossível se liquefazer o oxigênio. O oxigênio não é encontrado em sua fase líquida na superfície de nosso planeta. Nessas condições o oxigênio é um gás. A temperatura

crítica da substância água é de 374 °C e portanto nas temperaturas ambientes é possível liquefazer a água. Chamamos a água no estado gasoso em nossa atmosfera de vapor de água.

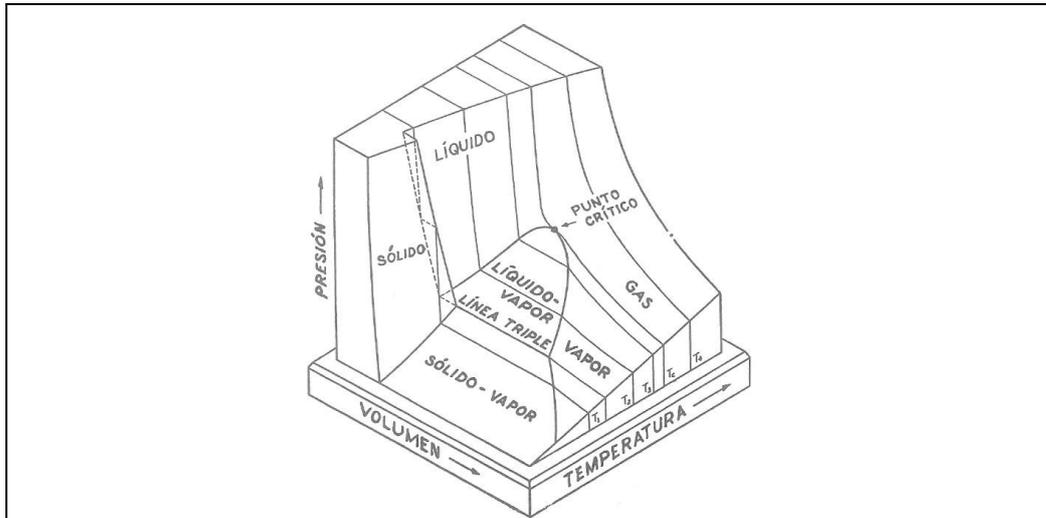
Uma forma muito interessante de se descrever as mudanças de estado, ou mudanças de fase, são os *diagramas de fase*. São gráficos que mostram o comportamento da *equação de estado* de uma dada substância, indicando em que domínios de pressão, volume e temperatura os diferentes estados da matéria podem ser encontrados. A equação de estado de uma substância pura é descrita matematicamente através da relação encontrada entre pressão ( $p$ ), volume ( $V$ ) e temperatura ( $T$ ),

$$f(p, V, T) = 0$$

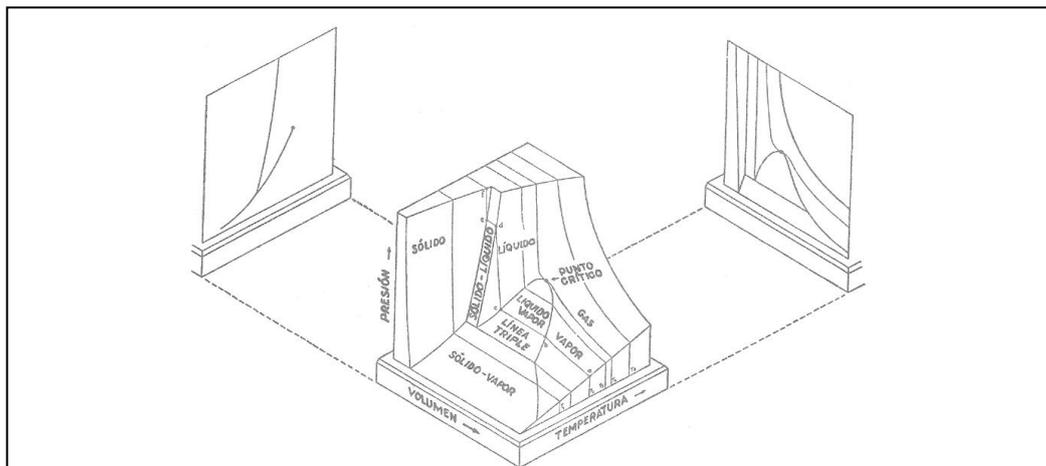
Na Figura 5.9 mostramos o gráfico tridimensional da equação de estado da substância água. Na Figura 5.10 mostramos as projeções da superfície  $p, V$  e  $T$  nos planos  $p-V$  e  $p-T$ . Normalmente, usamos representar nesses gráficos o *volume específico* ao invés do volume, isto é, o volume por unidade de massa ( $v = V/m$ ), ou o inverso da densidade ( $\rho = m / V = 1 / v$ ). Assim os gráficos retratam mais diretamente uma propriedade da substância e não algo que dependa também da quantidade da substância.

Se tomamos uma certa quantidade de água no interior de um cilindro com um êmbolo móvel podemos fazer uma experiência de transformação isotérmica de estado. Começando com uma certa quantidade de vapor de água na temperatura  $T$ , vamos progressivamente aumentando a pressão (Figura 5.11(a), da direita para a esquerda). Para fazermos isso sem alterarmos a temperatura é necessário removermos energia do vapor sob a forma de calor. Se não fazemos essa retirada de energia o vapor aumentará de temperatura em resposta ao trabalho mecânico que estamos exercendo sobre ele. A experiência mostra que no processo isotérmico compressivo atingimos um ponto em que passamos a observar a formação de gotículas de água nas paredes do cilindro. Começamos a ver a condensação do vapor. A experiência mostra que quando esse ponto é atingido, uma compressão posterior do êmbolo não aumenta a pressão do sistema. O que vemos é um progressivo aumento da fase líquida e uma diminuição correlativa da fase vapor. Esse processo compressivo isobárico prossegue até que todo vapor tenha se condensado e reste apenas líquido no interior do cilindro. A partir desse ponto qualquer posterior compressão corresponde um aumento brutal da pressão. Esse resultado é consequência da enorme resistência oferecida pelo líquido a qualquer compressão. Toda

essa descrição pode ser inferida diretamente do diagrama p-v da água, Figura 5.10(b). Para efeitos de maior clareza reproduzimos o diagrama na Figura 5.11(b)



**Figura 4.9 – Gráfico tridimensional qualitativo mostrando a superfície  $f(p,v,T) = 0$  (equação de estado) para a substância água. A característica mais peculiar pode ser vista na região sólido – líquido. A interface tem uma inclinação típica: se aumentamo**



**Figura 4.10 (a) Gráfico tridimensional qualitativo mostrando a superfície  $f(p,v,T) = 0$  (equação de estado). Vemos as projeções ortogonais da superfície nos planos p – v e p – T. As projeções são representações mais simples e mais adequadas para o estudo**

A quantidade de calor retirada do sistema para produzir toda a condensação do vapor (trecho AB do diagrama) é denominada *calor de condensação*. É definido como,

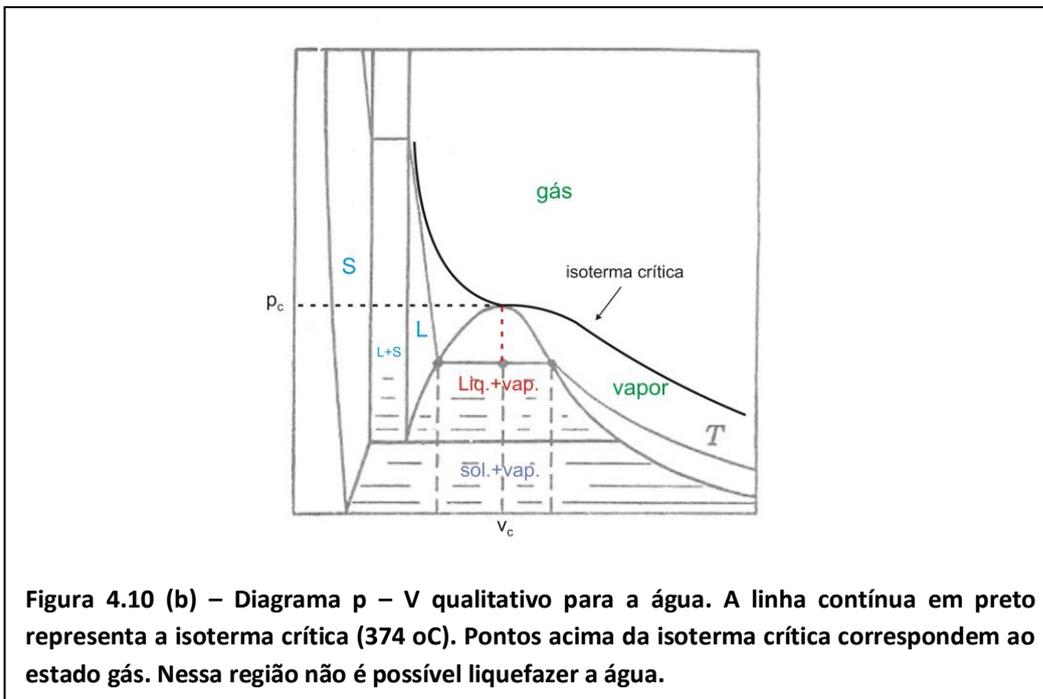
$$L = \frac{Q}{m}$$

onde  $Q$  é o calor retirado e  $m$  a massa de vapor. Esse valor depende da temperatura em que procede a transformação.

Se iniciarmos a operação a partir do líquido (Figura 4.11 (a), da esquerda para a direita) vamos terminar com a sua completa evaporação. Nessa operação de expansão temos que ceder calor ao sistema para manter a temperatura. O processo como um todo é completamente reversível. A quantidade de calor cedida nesse caso é denominada *calor de evaporação*. Temos então que,

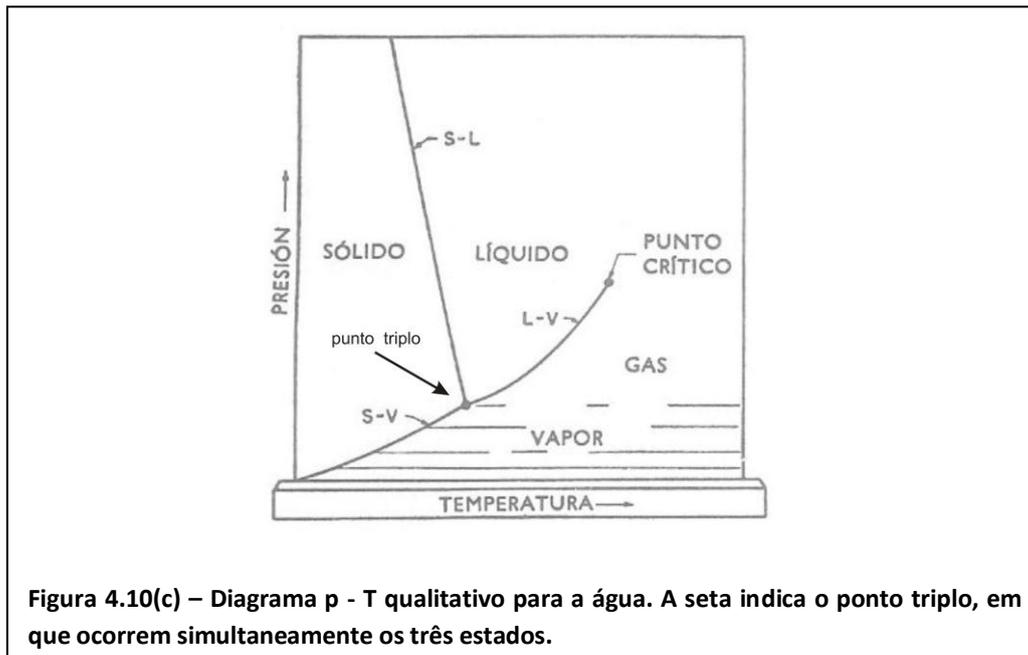
$$L_{\text{evaporação}} = -L_{\text{condensação}}$$

O sinal menos responde pela convenção de que calor cedido ao sistema (positivo) tem o sinal contrário ao calor cedido pelo sistema (negativo). Na Tabela 4.1 mostramos o valor do calor de evaporação da água em função da temperatura.



A pressão no interior do cilindro é a *pressão de vapor saturado*. Se olharmos o sistema líquido – vapor num ponto intermediário do trecho AB da isoterma considerada (ponto C), sabemos que o número de moléculas de água que passam do estado líquido para o estado vapor é o mesmo número de moléculas que passam do estado vapor para o estado líquido; a evaporação é compensada pela condensação ou vice-versa. Dizemos então que temos um estado saturado. Na Tabela 4.2 mostramos como a pressão de vapor saturado da água varia com a temperatura. Os mesmos dados são representados no gráfico da Figura 4.12. A dependência entre a pressão de vapor saturado e a temperatura absoluta Kelvin é aproximadamente em  $T^3$ .

Comportamentos análogos são observados nas transformações recíprocas líquido – sólido e vapor – sólido. Os calores envolvidos na transformação são chamados genericamente *calores de transformação*. Esse nome tem sido adotado em substituição a antiga nomenclatura de *calor latente* oriunda da antiga *teoria do calórico*, já mencionada. A hipótese do calórico não é correta e, portanto, a separação conceitual entre *calor latente* e *calor sensível* não deve ser utilizada da mesma forma que a nomenclatura correlativa.

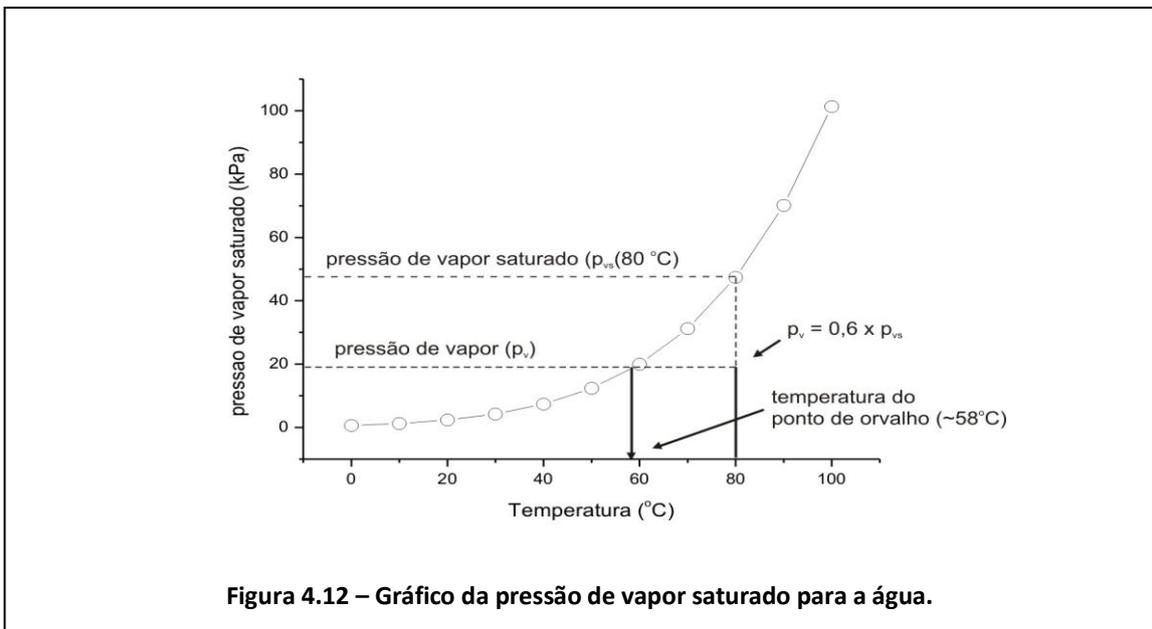
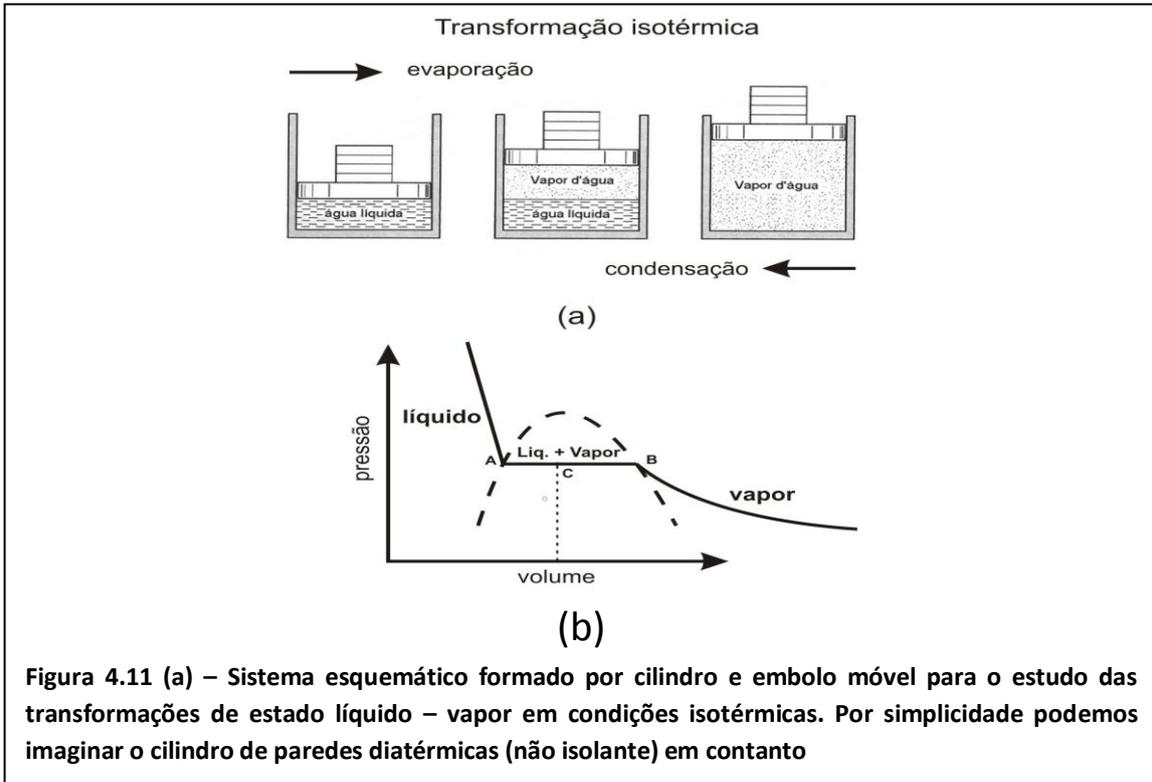


Se considerarmos uma interface água – ar atmosférico algumas moléculas estão continuamente voando para o espaço acima e algumas estão retornando para a superfície. Quanto mais quente for a água mais moléculas libertam-se da sua superfície. Deste modo a taxa de escape das moléculas da superfície líquida depende da temperatura. Se colocarmos um pires com água debaixo de um copo haverá uma evaporação por algum tempo, mas que eventualmente ira parar. É o estado de saturação. Se aquecermos a água de alguma forma, a água voltará a evaporar. A quantidade de água que pode ser evaporada depende da temperatura.

Naturalmente, o ar atmosférico não é confinado a um só espaço de modo que ele dificilmente se torna saturado com vapor de água, mesmo a pouca altura acima de uma grande quantidade de água. Em outras palavras, na maioria das vezes a pressão de vapor de água na atmosfera é menor do que a pressão de vapor saturada. Uma forma de se

avaliar o estado do ar atmosférico quanto à quantidade de vapor de água em face ao estado saturado é a umidade relativa do ar dada pela relação,

$$UR(\%) = \frac{P_{vapor}}{P_{vaporsaturado}} \cdot 100$$



**Tabela 4.1 – Pressão de vapor saturado da água na**

Temperatura (°C)	Pressão de vapor saturado (kPa)
0	0,6113
10	1,2281
20	2,3388
30	4,2455
40	7,3814
50	12,344
60	19,932
70	31,176
80	47,373
90	70,117
100	101,325

**Tabela 4.2 – Calor de evaporação da água na faixa de 0 – 200 °C**

Temperatura (°C)	Calor de evaporação (cal/g)
0	598,8
25	584,7
40	576,2
60	564,6
80	552,7
100	540,4
120	527,4
140	513,6
160	498,6
180	482,5
200	464,7

Aqui é bom lembrar que ao falarmos da pressão de vapor no ar atmosférico estamos tratando de uma componente da pressão atmosférica total. Devemos falar pressão parcial de vapor. Para o ar atmosférico a experiência mostra que se aplica muito bem a chamada Lei de Dalton das pressões parciais. Para o volume V de uma mistura de gases a pressão total ( $p_{total}$ ) é a soma das pressões parciais ( $p_i$ ) de todas as partes, ou seja, as pressões exercidas por cada um dos componentes se apenas esse ocupasse todo o volume V na mesma temperatura. Assim, para uma mistura de N componentes gasosos, temos:

$$P_{total} = \sum_{i=1}^N P_i$$

Um dos fatores importante para o controle da intensidade da evaporação é a umidade relativa. Quanto mais afastado da saturação estiver o ar ou, numa linguagem mais coloquial, quanto mais seco estiver o ar maior a evaporação. Aqui também entendemos o papel do vento no aumento da intensidade da evaporação. Quando o vento sopra sobre uma lâmina de água ajuda a remover as camadas de ar em contato direto com a água. Se não há vento, essas camadas tendem a ficar saturadas em relação às camadas vizinhas uma vez que a única forma de homogeneização do vapor produzido

é por *difusão molecular*. Esse processo lento acaba por retardar a evaporação. Com o vento as camadas de contato com a lâmina de água são mecanicamente removidas permitindo a renovação por ar mais seco. Todos nós sabemos o quanto um bom vento ajuda na secagem da roupa lavada. Da mesma forma reconhecemos a função desse mesmo processo quando consideramos a ação refrescante do vento: quando estamos suados ou eventualmente molhados a presença do vento é muito refrescante, pois da mesma forma aumenta a intensidade da evaporação e a conseqüente perda corporal de calor, o calor de evaporação.

Nesse assunto temos boas oportunidades de integração da Termodinâmica com a Biologia. Seria oportuna a programação de alguma atividade conjunta com o professor de Biologia. Além das questões de conforto térmico que, aqui na cidade do Rio de Janeiro, nos afetam particularmente pelo excesso nos dias verão, não devemos nos esquecer de que a umidade do ar é fundamental para os seres vivos, particularmente os humanos. Com frequência sabemos pelos jornais de dias extremamente secos que ocorrem na região do planalto central no período do inverno e dos perigos que isso representa. Atualmente níveis extremamente baixos têm sido divulgados na região sudeste em zonas densamente povoadas. No corrente ano, em 30 de agosto de 2012 a seguinte nota foi dada no portal de notícias de O Globo:

*A umidade do ar chegou a 13% em Belo Horizonte, na tarde desta quinta-feira (30), de acordo com o Instituto de Meteorologia da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig). Segundo o instituto, o estado é de alerta e a sensação de calor aumenta na Região Metropolitana.*

*Para este período, especialistas chamam a atenção para uma série de recomendações. Na alimentação, é importante ingerir muita água e sucos naturais, ao longo do dia, além de preferir sempre alimentos leves e frescos – saladas, frutas e carnes grelhadas. Na hora de dormir, é bom escolher um lugar arejado e umedecido por aparelhos umidificadores, ou ainda colocar uma bacia com água dentro do quarto. É recomendado usar soro fisiológico nos olhos e nas narinas para aliviar o desconforto.*

*As atividades físicas devem ser feitas fora dos horários de sol forte – entre 10h e 16h. O banho muito quente deve ser evitado, pois resseca a pele. Os ambientes fechados com aglomeração de pessoas também devem ser evitados. Em caso de incêndio em mata ou floresta, o Corpo de Bombeiros deve ser acionado imediatamente*

<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2012/08/umidade-relativa-do-ar-chega-13-em-belo-horizonte.html> - acessado em 03/09/2012)

Encontramos em um relatório do *Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura* da Unicamp as seguintes recomendações que aqui reproduzimos por considerarmos de alta relevância para o professor de Ciências,

#### **Entre 20 e 30% - Estado de Atenção**

- Evitar exercícios físicos ao ar livre entre 11 e 15 horas
- Umidificar o ambiente através de vaporizadores, toalhas molhadas, recipientes com água, molhamento de jardins etc.
- Sempre que possível permanecer em locais protegidos do sol, em áreas vegetadas etc.
- Consumir água à vontade.

#### **Entre 12 e 20% - Estado de Alerta**

- Observar as recomendações do estado de atenção
- Suprimir exercícios físicos e trabalhos ao ar livre entre 10 e 16 horas
- Evitar aglomerações em ambientes fechados
- Usar soro fisiológico para olhos e narinas

#### **Abaixo de 12% - Estado de emergência**

- Observar as recomendações para os estados de atenção e de alerta
- Determinar a interrupção de qualquer atividade ao ar livre entre 10 e 16 horas como aulas de educação física, coleta de lixo, entrega de correspondência etc.
- Determinar a suspensão de atividades que exijam aglomerações de pessoas em recintos fechados como aulas, cinemas etc entre 10 e 16 horas
- Durante as tardes, manter com umidade os ambientes internos, principalmente quarto de crianças, hospitais etc.

(<http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/umidade-do-ar-saude-no-inverno.html> - acessado em 03/09/2012)

Ao longo do dia, a pressão de vapor tende em geral a se manter inalterada. A umidade relativa do ar tende a mudar ao longo do dia em função do ciclo diurno de aquecimento pela radiação solar alterando a pressão de vapor saturado com a

temperatura. Esse fato pode ser acompanhado pelo gráfico da umidade relativa do ar ao longo do dia que mostramos na Figura 4.18. Ao contrário, a mudança repentina da pressão de vapor é em geral uma boa indicação da entrada de uma nova massa de ar.

Uma outra indicação interessante do teor de água da atmosfera pode ser obtida pelo fenômeno da condensação. Se pegamos um copo com água e vamos acrescentado água fria observamos a partir de uma certa temperatura a formação de uma condensação nas paredes do copo. O copo começa a ficar embaçado pela presença de pequenas gotículas de água. Um fenômeno semelhante pode ser observado naturalmente ao cair da noite, com o resfriamento do ar, quando gotículas de água costumam se formar sobre diferentes superfícies sólidas a nossa volta. É o que conhecemos como *orvalho*. Nesses processos de condensação, atingimos o estado de saturação do vapor de água pela diminuição da temperatura. Para uma dada condição do ar, a temperatura na qual o processo de orvalho se inicia é chamada *temperatura do ponto de orvalho*. Podemos compreender com certa facilidade que quanto mais próxima da temperatura do ar estiver a temperatura do ponto de orvalho maior será a umidade relativa do ar.

A manipulação do copo com água que comentamos acima pode ser descrito com auxílio do gráfico de pressão de vapor saturado mostrado na Figura 5.12. Vamos tomar um exemplo numérico que pode ser muito bem aproveitado em sala de aula. Se temos o ar a uma temperatura hipotética de 80 °C e uma umidade relativa de 60% podemos obter no próprio gráfico o valor da pressão de vapor saturado. Em seguida, marcamos no próprio gráfico 60% deste valor e obtemos assim a pressão de vapor atual no eixo das ordenadas. Se esfriarmos hipoteticamente o ar mantendo a pressão de vapor atual vamos começar a observar a condensação no momento em que atingirmos à temperatura do ponto de orvalho. Podemos prolongar um segmento reto paralelo ao eixo das abscissas (transformação isobárica) a partir do ponto marcado até que intercepte a curva. Projetando a intercessão sobre o eixo das abscissas temos a temperatura do ponto de orvalho. Uma das técnicas para a determinação experimental do ponto de orvalho usa exatamente esse fenômeno do embaçamento (por condensação) de uma superfície transparente. Esse ponto é detectado por um feixe de luz e sensores óticos. Não seria interessante uma pratica simples em sala de aula para se tentar medir a temperatura em que ocorre o embaçamento da parede de um copo, e comparar o resultado obtido através da umidade relativa do ar obtida com o psicrômetro?

#### 4.4 – TÉCNICAS DE MEDIDA DA UMIDADE RELATIVA DO AR

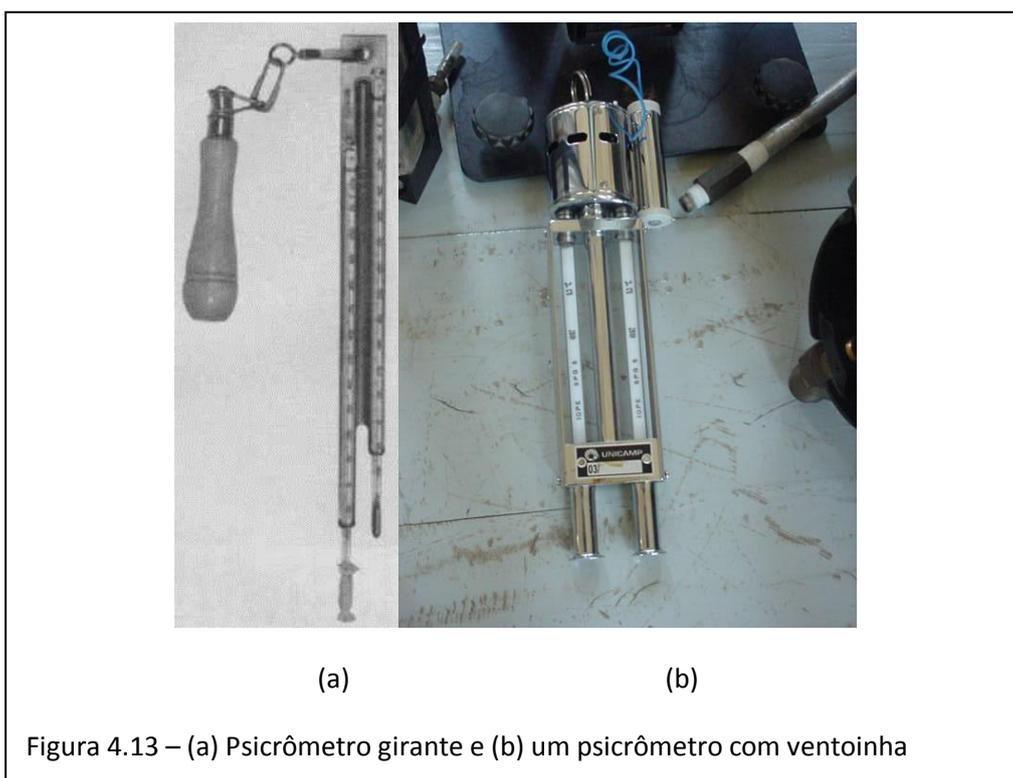
Existem várias técnicas para a medida da umidade no ar e descrevê-las de maneira completa nos afastaria muito de nossos propósitos iniciais. Vamos comentar rapidamente apenas os processos mais usados. Chamamos a atenção, no entanto, para o fato de que o professor pode propor a seus alunos uma pesquisa mais detalhada sobre esse assunto. Um tema aparentemente simples como esse vai revelar uma grande riqueza de detalhes que pode propiciar ótimas discussões sobre a física envolvida permitindo uma ligação da Termodinâmica com outras áreas da própria Física.

##### 4.4.1 – O psicrômetro

O psicrômetro foi o instrumento utilizado no presente projeto, particularmente escolhido pela facilidade de construção face aos materiais fornecidos no mercado popular e por sua robustez. Como vimos, o psicrômetro é formado por dois termômetros: um termômetro é comum e o outro contém uma micela de algodão, ou similar, que mantém o bulbo permanentemente umedecido. O primeiro é chamado de termômetro de bulbo seco e o outro termômetro de bulbo úmido. No termômetro de bulbo úmido medimos a depressão de temperatura devido à evaporação que por sua vez é regulada pela intensidade da umidade relativa do ar atual. Existem dois métodos de utilização: o psicrômetro fixo e o psicrômetro girante. O modelo fixo é aquele descrito em nosso projeto e o girante é um modelo que permite girar o conjunto forçando assim a passagem de ar no bulbo úmido até que se encontre o estado estacionário (Figura 4.13(a)). Uma variante mais avançada contém uma ventoinha para forçar a passagem do ar evitando a operação de girar (Figura 4.13(b)). O método mais simples de medida de UR com o psicrômetro consiste na leitura das duas temperaturas e na utilização de tabelas que em geral fornecem a temperatura de bulbo úmido versus a diferença entre a temperatura do bulbo seco e o bulbo úmido (*depressão psicrométrica*). Atualmente, modelos eletrônicos digitais podem ser encontrados no comércio especializado.

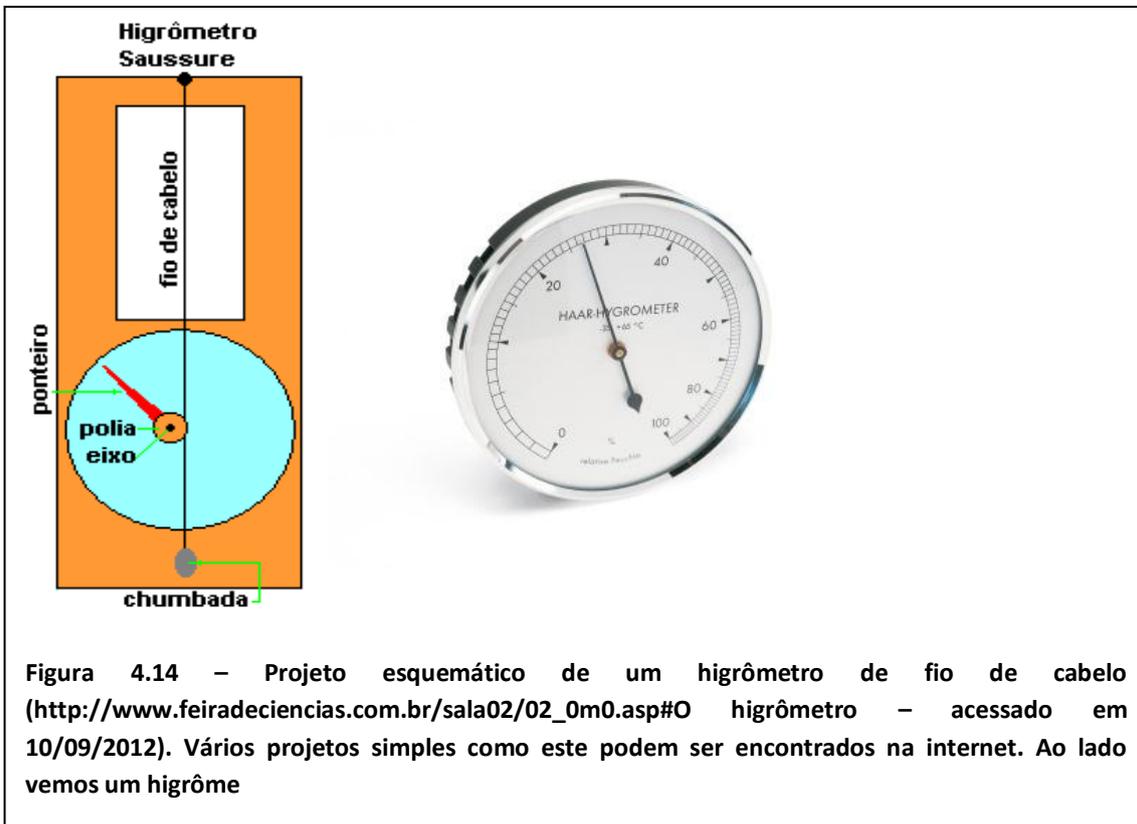
#### 4.4.2 – O higrômetro de fio de cabelo

Os higrômetros de fio de cabelo se valem da capacidade do cabelo se contrair com a diminuição da umidade do ar. Cabelos de origem animal, como a crina de cavalo, e fios sintéticos de polímeros orgânicos são usados. Em geral, a contração/expansão é pequena. Essa alteração no comprimento de um fio de cabelo, tal como é feito na dilatação térmica de um fio, pode ser amplificado e aproveitado para acionar uma agulha (ou para movimentar um transdutor eletrônico). Uma escala pode ser construída mediante uma operação de calibração submetendo o fio de cabelo a diferentes condições de umidade. Pode ser uma boa proposta para a feira de ciência a construção de higrômetros de fio de cabelo. Vários projetos simples são descritos na literatura e podem ser facilmente encontrados internet (Figura 4.14). Alguns modelos são usados como elementos decorativos e são muito bem ornamentados.



Um dos problemas interessantes que podem ser desenvolvidos com os higrômetros de fio de cabelo não está relacionado à sua construção, mas sim a sua calibração. Um processo simples envolve a construção de uma pequena câmara fechada onde podemos criar uma atmosfera saturada e submeter o higrômetro a essa atmosfera.

Para variar a pressão de vapor numa interface líquido – ar no interior da câmara, semelhante a que temos na Figura 4.10(a), dissolvemos diferentes sais na água formando soluções salinas saturadas. A presença do sal altera a pressão de vapor saturado e tabelas informativas sobre a intensidade da umidade do ar podem ser encontradas na literatura para fins de calibração.

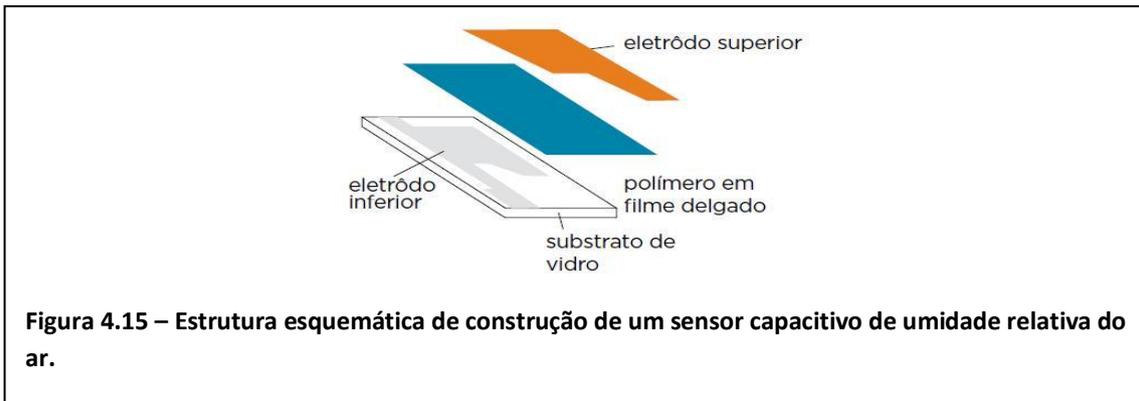


#### 4.4.3 – O sensor HIH-4030 da Honeywell e similares.

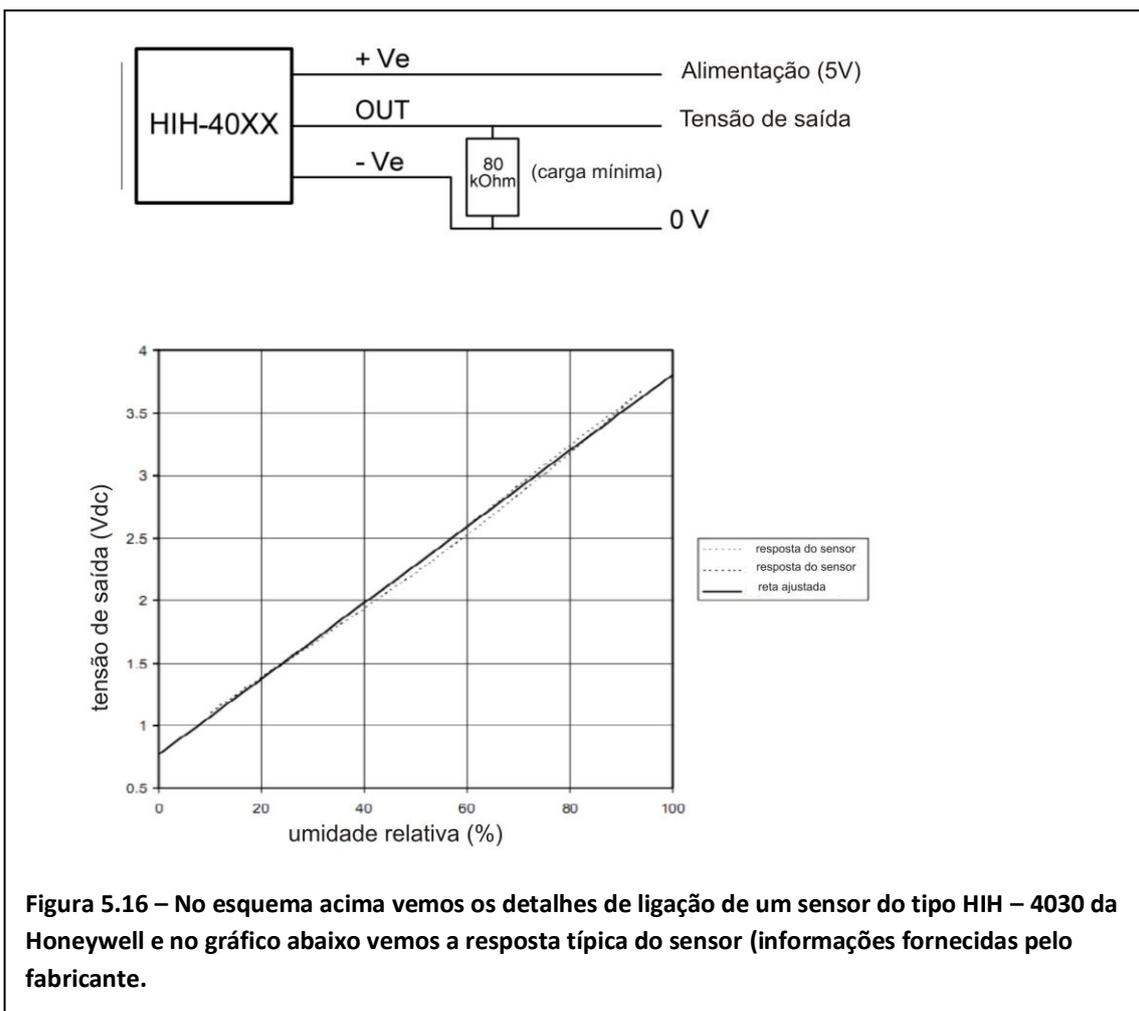
Sensores elétricos de umidade do ar se utilizam de propriedades elétricas que variam com a umidade tais como a resistência elétrica e propriedades dielétricas da matéria. A capacitância de um sistema de condutores pode ser utilizada se o meio dielétrico isolante é alterado pelo teor de água no ar. Assim os principais sensores de umidade são resistivos ou capacitivos.

Um sensor similar ao modelo HIH-4030 usado na segunda parte do projeto usa a variação da constante dielétrica de um polímero com a umidade relativa do ar. O polímero é usado como meio dielétrico de um capacitor de placas planas como indicado

na Figura 4.15. Com a variação da constante dielétrica do polímero em resposta a umidade relativa do ar tem-se a variação da capacitância.



A variação da capacitância é transformada em uma diferença de potencial (DDP) através de um circuito integrado auxiliar. A DDP varia bem linearmente com a umidade relativa do ar como indicado pelo gráfico da Figura 5.16.



OBS: Abaixo citamos três, excelentes, referências que podem auxiliar aos professores do ensino médio que pretendem seguir o projeto e servirão como fonte de consultas de dados, conceitos e aspectos históricos interessantíssimos.

- *Física Básica (Vol. 3): Física Térmica*. Pierre Lucie, Editora Campus, Ltda. (1980) – infelizmente, não é mais editado. Uma excelente fonte conceitual.

- *Termodinâmica para muchos* (texto em espanhol). I. R. Krichevski e I. V. Petriánov, Editorial Mir, Moscou, 1980. Uma boa fonte conceitual e histórica.

- *Handbook of Chemistry and Physics*. David R. Lide, Editor-in-Chief, 76th Edition, 1995-1996. CRC Press. Handbook com dados gerais de Física onde pode ser encontrado um a grande quantidade de dados termodinâmicos sobre a água e o ar atmosférico e pode ser consultado para várias aplicações numéricas com os alunos.

#### 4.5 – A NATUREZA DO CALOR

No final do século XVIII, existiam duas hipóteses alternativas sobre a natureza do calor. A hipótese mais aceita considerava o calor como uma substância fluida indestrutível que “preencheria os poros” dos corpos e se escoaria de um corpo mais quente a um mais frio. Lavoisier (1743 – 1794) chamou essa substância hipotética de “calórico”. A implicação era que o calor pode ser transferido de um corpo a outro, mas a quantidade total de “calórico” se conservaria, ou seja, existiria uma lei de conservação do calor.

A hipótese rival, endossada entre outros por Francis Bacon e Robert Hook, foi assim expressa por Newton em 1704: “O calor consiste num minúsculo movimento de vibração das partículas dos corpos”. Ideias desse gênero podem ter sido sugeridas pela geração de calor por atrito, exemplificada pelo “método dos escoteiros” para acender uma fogueira, ou pelo aquecimento do ferro martelado numa bigorna. A teoria do calórico explicava esses efeitos dizendo que o atrito, ou o martelo do ferreiro, “espremem” o calórico para fora do material, como água absorvida numa esponja.

Um dos primeiros a apontar dificuldades com a ideia do calórico foi Benjamin Thonson, um aventureiro que se tornou Conde de Rumford na Bavária (e se casou com

a viúva de Lavoisier). Uma das dificuldades era que experiências bastantes precisas, feitas por Rumford, não detectavam qualquer variação do peso de um corpo acompanhando a absorção ou eliminação de grandes quantidades de calor. Entretanto, o calórico poderia ser um fluido imponderável, a exemplo do que se acreditava valer para a eletricidade.

A principal dificuldade, porém, estava na “lei de conservação do calórico”, pois a quantidade de calórico que podia ser “espremida para fora” de um corpo por atrito era ilimitada. Com efeito, em 1798, Rumford escreveu:

“Foi por acaso que me vi levado a realizar as experiências que vou revelar agora... Estando ocupado, ultimamente, em supervisionar a perfuração de canhões em oficinas do arsenal militar de Munich, chamou-me a atenção o elevado grau de aquecimento de um canhão de bronze, atingindo em tempos muito curtos, durante o processo de perfuração; bem como a temperatura ainda mais alta (acima do ponto de ebulição da água, conforme verifiquei) das aparas metálicas removidas pela perfuração.

Meditando sobre os resultados dessas experiências, somos naturalmente levados à grande questão que tem sido objeto de tantas especulações filosóficas, ou seja:

Que é calor? Existe um fluido ígneo? Existe alguma coisa que possamos chamar de calórico?

Vimos que uma quantidade muito grande de calor pode ser produzida pelo atrito de duas superfícies metálicas, e emitida num fluxo constante em todas as direções, sem interrupções, e sem qualquer sinal de diminuição ou exaustão...

... A fonte de calor gerada por atrito nessas experiências parece ser inesgotável. É desnecessário acrescentar que algo que qualquer corpo ou sistemas de corpos *isolado* pode continuar fornecendo *sem limites*, não pode ser uma *substância material*, e me parece extremamente difícil, se não impossível, conceber qualquer coisa capaz de ser produzida ou transmitida da forma como o calor o era nessas experiências, exceto como o MOVIMENTO”.

Rumford foi assim levado a endossar a teoria alternativa de que “... o calor não passa de um movimento vibratório que tem algum lugar entre as partículas do corpo”.

A máquina a vapor de James Watt, desenvolvida na segunda metade do século XVIII, era uma demonstração prática de que o calor leva à capacidade de produzir trabalho. Entretanto, a conexão entre calor e energia só foi estabelecida no século 19.

Um dos primeiros a discutir essa conexão foi o médico alemão Julius Robert Mayer. Aparentemente, ele foi levado, a refletir sobre o problema quando, como médico de bordo durante uma viagem aos trópicos, observou que o sangue venoso parecia ser mais vermelho que nos climas frios da Europa, o que o conduziu a especulações sobre a origem do calor animal. Assim, em 1842, Mayer chegou ao primeiro enunciado geral do Princípio de Conservação da Energia:

“As energias são entidades conversíveis, mas indestrutíveis... Em inúmeros casos, vemos que um movimento cessa sem ter produzido quer outro movimento” (energia Cinética) “quer o levantamento de um peso” (energia potencial gravitacional), “mas a energia, uma vez que existe, não pode ser aniquilada; pode somente mudar de forma, e daí surge a questão: que outras formas pode ela assumir? Somente a experiência pode levar-nos a uma conclusão”.

A experiência mostra que o trabalho pode (por exemplo através do atrito) ser convertido em calor. Logo, diz Mayer, “Se a energia cinética e potencial são equivalentes a calor, é natural que calor seja equivalente a energia cinética e potencial”. Ou seja, o calor é uma forma de energia.

Mayer enunciou um problema crucial: “Quão grande é a quantidade de calor que corresponde a uma dada quantidade de energia cinética ou potencial?” Ou seja, qual é a “taxa de conversão” entre energia mecânica (medida em Joules) e calor (medido em “calorias”)? Este é o problema da determinação do equivalente mecânico da caloria.

Com extraordinária sagacidade, Mayer conseguiu inferir a resposta partindo de um dado experimental já conhecido na época: a diferença entre o calor específico de um gás a pressão constante e seu calor específico a volume constante. Usando os resultados conhecido (cuja incerteza experimental era grande), Mayer deduziu um valor do equivalente mecânico da caloria cuja a diferença do valor correto é da ordem de 10%. Entretanto, seu trabalho foi considerado muito especulativo e foi ignorado durante as duas décadas seguintes.

As experiências básicas para obtenção do equivalente mecânico da caloria foram realizadas durante um período de quase 30 anos pelo cervejeiro e cientista amador inglês James Prescott Joule. Seus primeiros resultados, anunciados em 1843, eram ainda muito imprecisos, mas em 1868 ele chegou finalmente a resultados de grande precisão.

Quando Joule apresentou um dos primeiros resultados confiáveis, numa reunião realizada em Oxford em 1847, só despertou interesse de um jovem da audiência: William Thomson, o futuro Lord Kelvin. Três dias depois Joule se casou. Duas semanas mais tarde, Thomson, em Chamonix. Encontrou Joule, munido de um imenso termômetro, subindo ao topo de uma cachoeira. Mesmo em lua de mel, queria verificar a diferença de temperatura que deveria existir, conforme seus cálculos, entre a água em cima e em baixo da cachoeira.

A formulação mais geral do Princípio de Conservação da Energia foi apresentada pelo físico-matemático-fisiologista Hermann von Helmholtz numa reunião da Sociedade Física de Berlim, em 23 de julho de 1847. Helmholtz mostrou que ele se aplicava a todos os fenômenos então conhecidos – mecânicos, térmicos, elétricos, magnéticos; também na físico-química, na astronomia e na biologia (metabolismo dos seres vivos).

Em seu livro “Sobre a Conservação da Energia” (Helmholtz ainda usava a palavra “força” em lugar de “energia”; a energia cinética era chamada de “força viva”), ele diz:

... “chegamos à conclusão de que a natureza como um todo possui um estoque de energia que não pode de forma alguma ser aumentado ou reduzido; e que, por conseguinte, a quantidade de energia da natureza é tão eterna e inalterável como a quantidade de matéria. Expressa desta forma, Chamei esta lei de “Princípio de Conservação da Energia”.

Por volta de 1860, o Princípio de Conservação da Energia, que corresponde, à 1ª Lei da Termodinâmica, já havia sido reconhecido como um princípio fundamental aplicável a todos os fenômenos conhecidos.

No dia a dia é comum ouvirmos frases do tipo: “Estou com calor” ou “Estou com frio”, mas o que é calor? Quando você toca em uma estufa aquecida, a energia passa para a sua mão lhe dando aquela sensação de “algo quente”. Por outro lado quando você pega uma pedra de gelo a energia passa da sua mão para a pedra de gelo lhe dando a sensação de “algo frio”. A energia sempre é transferida espontaneamente no sentido do corpo mais quente para o mais frio. Quando essa transferência de energia ocorre, exclusivamente, pela diferença de temperatura, aí sim, podemos chamar de **calor**.

É importante observar que o corpo *não contém* calor. A matéria contém energia cinética e possivelmente energia potencial, essas energias que um corpo possui podemos denominar de *energia interna* do corpo, não calor. Calor é a energia em transito de um corpo (quente) com temperatura mais alta para outro corpo (frio) de temperatura mais baixa.

#### 4.5.1 - Medindo a Quantidade de calor

Uma vez que calor é uma forma de energia, ele é medido em joules. Uma unidade muito comum de calor é a *caloria (cal)*, esse nome é reflexo da antiga ideia de que calor fosse um fluido invisível chamado *calórico*. A caloria é definida como a energia necessária para elevar a temperatura de 1,0g de água em 1,0°C, mais especificamente de 14,5°C para 15,5°C.

#### 4.5.2 - Quantidade de Calor Sensível ( $Q_s$ )

Sabemos que calor é energia térmica em trânsito que flui entre os corpos em razão da diferença de temperatura entre eles. Dessa forma, imagine uma barra de ferro que receba ou perca certa quantidade de calor  $Q_s$ . Esse calor que a barra ganhou ou perdeu é denominado de **calor sensível**, pois ele provoca apenas variação na temperatura do corpo, sem que aconteça mudança no seu estado de agregação, ou seja, se o corpo é sólido continua sólido e o mesmo acontece com os estados líquidos e gasosos.

**Calor específico (c)**, é uma forma de calor sensível e é avaliado da seguinte forma: **cal/g. °C**. Essa relação informa a quantidade de calor que um grama de substância deve receber ou ceder para que nela aconteça a variação de um grau de temperatura. Essa é uma unidade prática, ou seja, a que é mais utilizada no dia a dia. Contudo, no Sistema Internacional de Unidades (SI) o calor específico é dado em: **J/kg.K**.

Podemos pensar que o calor específico de uma substância como sendo uma espécie de “inércia térmica”. Lembre-se Inércia é um termo empregado na mecânica para significar a resistência de um objeto a mudanças em seu estado de movimento. O calor específico promove uma resistência da substância em mudar sua temperatura.

$$Q_s = m.c.\Delta\theta$$

$m \rightarrow$  massa da substancia (SI: kg ou usual: g)

$\Delta\theta \rightarrow$  Variação de temperatura (SI: K ou usual: °C)

Obs: Se um corpo recebe calor  $\Delta\theta > 0$  se o corpo fornece calor  $\Delta\theta < 0$

#### 4.5.3 – Quantidade de Calor Latente

Diferente do calor sensível, quando fornecemos energia térmica a uma substância, sua temperatura não varia, mas seu estado de agregação se modifica, esse é o chamado **calor latente**. Essa é a grandeza física que informa a quantidade de energia térmica (calor) que uma unidade de massa de uma substância deve perder ou receber para que ela mude de **estado físico**.

**Calor Latente de transformação (L):** É calculado através da razão entre a quantidade de calor (Q) que a substância deve receber ou ceder e a massa (m) da mesma, para que ocorra a mudança de estado físico, matematicamente temos:

$$L = Q/m$$

O calor latente de transformação pode ser positivo ou negativo. Quando positivo indica que o material está recebendo calor e quando negativo, indica que está perdendo calor. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de calor latente é o joule por quilograma (J/Kg), mas na prática utiliza-se muito a caloria por grama (cal/g).

#### 5.4.4 - Porque o Processo de Evaporação Retira Calor do Corpo?

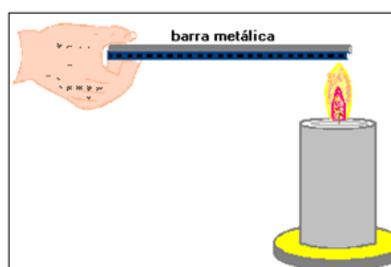
A temperatura de qualquer substância está relacionada com a energia cinética média de suas partículas. Em qualquer momento, algumas se movem com enormes valores de velocidades em praticamente todas as direções possíveis colidindo umas com as outras, enquanto outras praticamente não se movimentam, porém, recebem essas colisões. Durante as colisões intermoleculares umas partículas ganham energia cinética enquanto outras a perdem como em uma “física de bolas de bilhar”. As moléculas superficiais de um líquido que recebem energia cinética das partículas que

estão abaixo podem receber energia suficiente para se livrar do líquido e dessa maneira tornam-se vapor. Observe que as moléculas que restaram no líquido cederam energia para que as moléculas superficiais escapassem, em outras palavras, houve uma diminuição na energia cinética das moléculas que restaram e por consequência haverá uma diminuição da temperatura.

#### 4.6 – TRANSFERÊNCIA DE CALOR

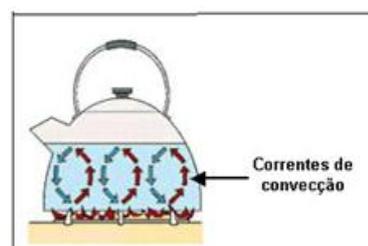
Como dito anteriormente o calor transfere-se dos corpos mais quente para os mais frios e com isso acaba ocorrendo uma uniformização térmica. Essa transferência pode ocorrer de três maneiras: *por condução, convecção ou radiação*.

a) **Condução:** Átomos e elétrons livres de um mesmo corpo (sólido) com maior temperatura colidem com seus vizinhos e assim por diante. Este processo de múltiplas colisões continua até que todos os átomos, e o corpo inteiro atinjam a mesma temperatura. Na figura os átomos aquecidos pela chama da vela movem-se cada vez mais rápido e colidem com seus vizinhos até que toda barra também fique aquecida, a mão na extremidade oposta da barra sentirá a temperatura da barra aumentar cada vez mais.



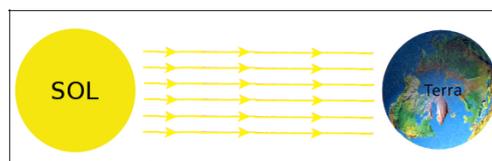
**Figura 4.17 - Condução**

b) **Convecção:** É transferência de calor que ocorre em líquidos e gases devido ao próprio movimento do fluido. Na figura vemos a água quente no interior fazendo um movimento ascendente enquanto a água mais fria faz um movimento descendente, assim, aumentando a energia térmica média das moléculas.



**Figura 4.18 - Convecção**

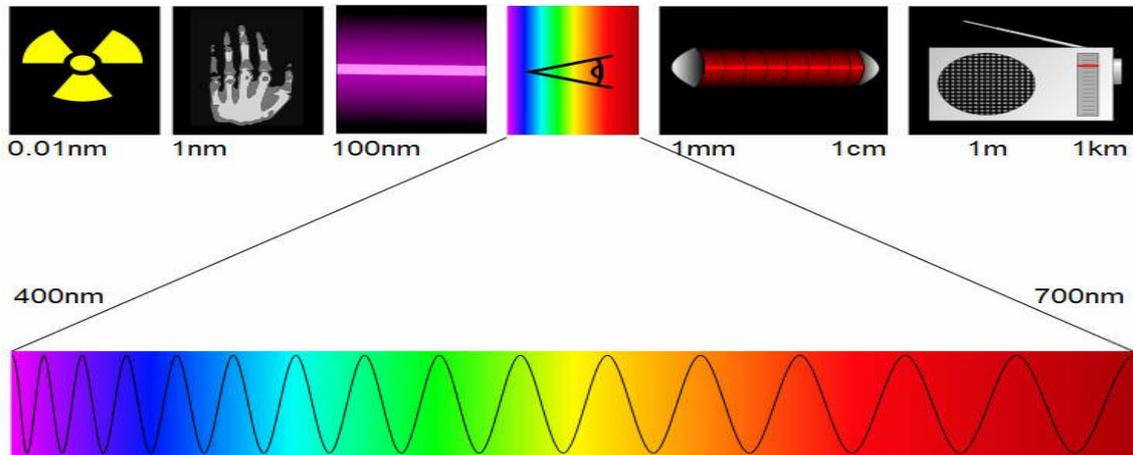
c) **Radiação ou Irradiação:** A energia radiante está na forma de ondas eletromagnéticas e não precisa de matéria para



**Figura 4.19 - Radiação**

ser transmitida. Na figura vemos que a energia vinda do sol atravessa o espaço vazio, ou seja, não é possível ter condução ou convecção para ser transmitida.

A figura abaixo mostra simplificada as radiações emitidas pelo sol e destaca a parte que nos interessa que é a radiação visível.



**Figura 4.20 – Espectro de radiação do sol**

#### **4.6.1 - Absorção e reflexão**

Quando o calor irradiado incide num corpo, parte pode ser absorvida por ele, aquecendo-o, parte pode ser refletida de volta ao ambiente. Foi percebido que a cor dos corpos se relaciona com sua capacidade de absorver e refletir calor.

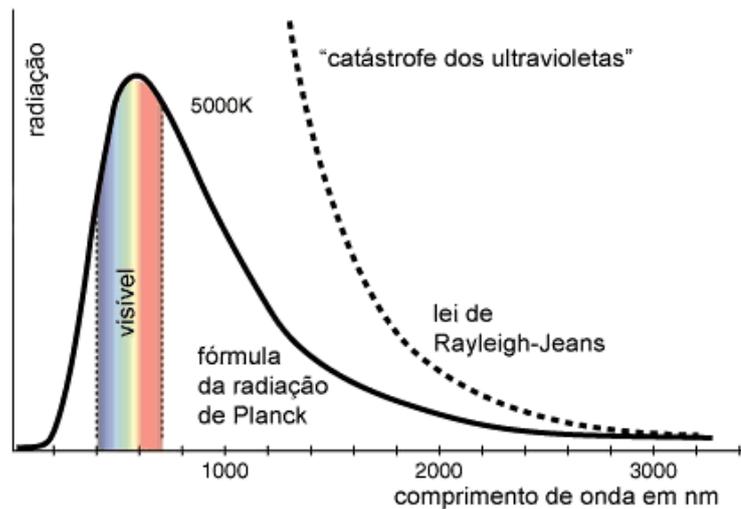
De modo geral, objetos de cor preta são bons absorvedores de calor e maus refletores. Os objetos brancos, ao contrário, absorvem mal e refletem bem.

Isso é fácil de constatar em um dia ensolarado. Se estivermos com uma camiseta preta sentiremos esquentar muito mais do que se estivermos com uma camiseta branca.

#### **4.6.2 - Radiação térmica; corpo negro.**

Todas as radiações são ondas eletromagnéticas que só diferem no comprimento de onda. Ocupar-nos-emos unicamente com a radiação térmica, isto é, a radiação emitida por um sólido, líquido ou gás em virtude de sua temperatura. Dispersando a radiação térmica mediante a um prisma adequado obtém-se um espectro contínuo.

A distribuição de energia entre os diferentes comprimento de onda é tal que, temperaturas inferiores a uns 500°C (773K), a maior parte da energia corresponde às ondas de infravermelhas, enquanto que a temperaturas mais altas, é emitido um pouco de radiação contínuo.



3Figura 4.21- Distribuição de energia em função do comprimento de onda

Em geral, quanto mais elevada é a temperatura do corpo, maior é a energia total emitida. É possível compensar de diversos modos a perda de energia devido à emissão de radiação térmica. O corpo emissor pode ter um fornecimento constante de energia procedente do exterior. Como no caso da luz elétrica. Pode-se fornecer energia também por condução ou pela realização de trabalho sobre o corpo emissor. Na ausência destas fontes de suprimento, a única maneira pela qual um corpo pode receber energia é a absorção de radiação térmica dos corpos que o rodeiam. No caso de um corpo rodeado por outros corpos, sua energia permanecerá constante se o regime em que emite energia radiante for igual ao regime que a absorve.

A experiência demonstra que o regime no qual um corpo emite energia radiante depende da temperatura e da natureza de sua superfície. A potencia radiante total emitida por unidade de superfície se denomina *emitância radiante* do corpo. Assim, por exemplo, a emitância radiante de tungstênio a 2.177°C é de 50W/cm<sup>2</sup>. Quando a radiação térmica incide igualmente sobre todas as direções diz-se que é *isótropa*. Em geral, a fração da radiação isótropa incidente, de todos os comprimentos de onda, que é absorvida depende da temperatura e da natureza da superfície do corpo absorvente. Esta fração é chamada de *absorvidade*.

*Emitância Radiante =  $R$  = potencia radiante total emitida por unidade de área.*  
*Absortividade =  $\alpha$  = fração da energia total da radiação isótropa que é absorvida.*

Para fins teóricos, é útil imaginar uma substância ideal capaz de absorver toda a radiação térmica que incide sobre ela. Tal substância é chamada de *corpo negro*. Designando o corpo negro pelo subscrito B, temos:

$$\alpha_B = 1.$$

Apesar de de um ponto de vista prático, não existirem corpos negros propriamente ditos, (existem apenas situações intermédias, corpos parcialmente “absorventes”, os chamados corpos cinzentos), existem alguns aparatos que concedem uma aproximação feliz a este conceito. Um dos modelos mais simples que existe foi usado por Wien nos seus trabalhos experimentais que consiste numa cavidade com um pequeno orifício. Este aparato é baseado na baixa probabilidade a radiação que entra na cavidade pelo orifício voltar a sair pelo mesmo. *Isto é verdadeiro seja qual for a natureza dos materiais de que são compostos as paredes interiores.*

A radiação emitida pelas paredes interiores é de modo análogo absorvida e refletida difusamente um grande número de vezes, de modo que a cavidade é ocupada inteiramente com radiação isótropa. Vamos definir como *irradiação* dentro da cavidade a energia radiante que incide por unidade de área de qualquer superfície no interior da cavidade. Suponhamos que se introduza dentro da cavidade um corpo negro cuja temperatura é a mesma das paredes. Então a irradiação por H, temos:

$$\text{Potência radiante absorvida por unidade de área} = \alpha_B H = H,$$

$$\text{Potência radiante emitida por unidade de área} = R_B$$

Como a temperatura do corpo negro permanece constante, o regime em que a energia é absorvida é igual ao regime no qual é emitida, donde:

$$\mathbf{H = R_B}$$

Ou seja, a irradiação dentro de uma cavidade cujas paredes estão a uma temperatura  $\theta$  é igual à emitância radiante de um corpo negro a mesma temperatura.

Por esta razão, a radiação dentro de uma cavidade se denomina *radiação do corpo negro*. Esta radiação é estudada permitindo-se que uma pequena quantidade escape de um pequeno orifício que conduz a cavidade. Visto que H é independente dos

matérias que formam as paredes interiores, deduz-se que *a emitância radiante de um corpo negro é função unicamente da sua temperatura.*

Resumo:

**Corpo Negro** é um corpo (noção teórica) que:

- ✓ absorve toda a energia radiante que sobre ele incide independentemente do comprimento e da direcção de incidência.
- ✓ é um emissor perfeito (radiação máxima). Para uma dada temperatura, e num dado comprimento de onda, nenhuma outra superfície pode emitir mais energia.
- ✓ é difuso. A radiação por ele emitida pode depender da temperatura e do comprimento de onda, mas não da direcção (emite igualmente em todas as direcções).
- ✓ é uma superfície ideal usada como padrão na definição e quantificação das propriedades radiativas dos corpos reais.

#### **4.6.3 - Lei de Kirchhoff;**

A emitância radiante de um corpo não-negro depende tanto da natureza de sua superfície como da temperatura, de acordo com um lei simples. Suponhamos que dentro de uma cavidade cujas paredes interiores se encontram a uma temperatura  $\theta$ , onde a irradiação é  $H$ , se introduza um corpo não-negro à mesma temperatura, de emitância  $R$  e absorvidade  $\alpha$ . Então:

*Potência radiante absorvida por unidade de área =  $\alpha.H$*

*Potência radiante emitida por unidade de área =  $R$ .*

Desde que o corpo não-negro à mesma temperatura esteja em equilíbrio,

$$R = \alpha.H$$

Porém, segundo a equação (1),  $H = R_B$ ; logo,

$$R = \alpha R_B.$$

*Ou seja, a emitância radiante de um corpo qualquer, a qualquer temperatura, é igual a uma fração da emitância radiante de um corpo negro à mesma temperatura, sendo essa fração a absorvidade à temperatura dada.*

Esta equação conhecida como lei de Kirchhoff, mostra que a absorvidade de um corpo pode ser determinada experimentalmente medindo-se a emitância radiante do mesmo e dividindo-a pela de um corpo negro a mesma temperatura.

Deve ser observado que a palavra “calor” não apareceu até agora. Se existe uma diferença de temperatura entre um corpo e o meio que o rodeia, então em um dado intervalo de tempo o corpo perde uma quantidade de energia interna igual à energia radiada menos a energia absorvida, enquanto que o meio exterior ganha uma quantidade de energia interna igual à energia absorvida menos a energia radiada. O ganho de um é igual a perda de outro. *O ganho ou perda de energia interna, igual à diferença entre as energias da radiação térmica absorvida e radiada, se denomina calor.*

Este enunciado está de acordo com a definição inicial de calor, uma vez que o ganho ou perda de energia por radiação ou absorção só ocorrerá se existir uma diferença de temperatura entre um corpo e seu meio exterior.

Imaginemos uma cavidade cujas paredes interiores são mantidas a uma temperatura constante  $\theta_w$ . Suponhamos que se coloque dentro da cavidade um corpo não-negro a uma temperatura  $\theta$  diferente das paredes. Se o corpo é pequeno comparado com o tamanho da cavidade, então o tipo de radiação na cavidade não será afetado apreciavelmente pela sua introdução.

Designemos, como antes, por  $H$  a irradiação dentro da cavidade, e por  $R$  e  $\alpha$  a emitância radiante e a absortividade, respectivamente, do corpo. Então, como antes, temos:

$$\text{Potencia radiante absorvida por unidade de área} = \alpha H,$$

$$\text{Potencia radiante emitida por unidade de área} = R;$$

*Porém agora estes dois regimes não são iguais.*

A diferença entre eles é o calor transferido por radiação, por segundo e por unidade de área.

Se  $dQ$  é o calor transferido no tempo  $dT$  para todo o corpo cuja área é  $A$ . então:

$$dQ/dT = A(\alpha H - R)$$

Onde, deve ser lembrado,  $\alpha$  e  $R$  referem-se à temperatura  $\theta_w$ . Agora,

$$H = R_B(\theta_w)$$

$$R = \alpha R_B(\theta)$$

Portanto,  $dQ/dT = A\alpha[R_B(\theta_w) - R_B(\theta)]$ , eq. (5.1)

Ou seja, o regime em que o calor é transferido por radiação é proporcional à diferença entre as emitâncias radiantes de um corpo negro nas duas temperaturas em questão.

#### 4.6.4 - LEI DE STEFAN-BOLTZMANN

As primeiras medidas de calor transferido por radiação entre um corpo e seu meio exterior foram realizadas por Tyndall. Baseado nestas experiências foi deduzido por Stefan, em 1879, que o calor era proporcional à diferença das quartas potências das temperaturas absolutas. Este resultado puramente experimental foi mais tarde obtido termicamente por Boltzmann, que demonstrou que a emitância radiante de um corpo negro a qualquer temperatura  $\theta$ .

$$R_B(T) = \sigma \theta^4$$

Esta lei é atualmente conhecida como lei de *Stefan-Boltzmann*, e  $\sigma$  é chamado de constante de Stefan-Boltzmann.

$$\sigma = 56,697 \text{ nW/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

De acordo com a equação (5.1), temos como expressão para o calor transferido por radiação entre um corpo à temperatura  $\theta$  e as paredes à temperatura  $\theta_w$  a seguinte:

$$dQ/dT = A\alpha\sigma(\theta_w^4 - \theta^4)$$

onde  $\alpha$  refere-se a temperatura  $\theta$ .

#### 4.7 – SUGESTÃO DE INSERÇÃO DO PROJETO DE ACORDO COM O ANDAMENTO DO CURSO DE TERMODINÂMICA.

O professor pode iniciar o projeto após a aula sobre escalas térmicas. Neste momento deve ser fornecido aos alunos os termômetros para que eles façam sua primeira medida em sala de aula e verifiquem possíveis distorções entre os valores encontrados nos termômetros.

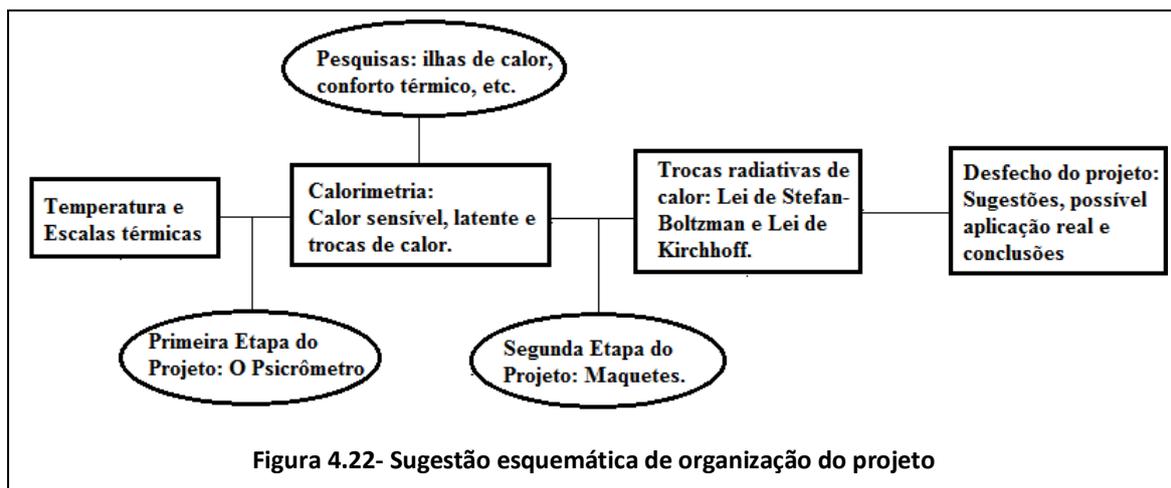
Segue-se com a calibração dos termômetros, lembrando-se de ressaltar que, o que fazemos para “calibrar” ou “corrigir” os termômetros é o mesmo que fazemos para transformar um valor de temperatura na escala Fahrenheit para a escala Celsius ou da escala Kelvin para a Celsius. Após essa calibração estaremos aptos a construir o psicrômetro e tomar as medidas.

O texto sobre a natureza do calor (p.71) é uma maneira interessante de se começar a desenvolver o conceito de calor como uma das formas que a energia pode assumir e será de grande ajuda nessa concepção se for entregue para cada aluno como um texto auxiliar. Durante o período de coletas de dados o professor pode estar ensinando sobre calorimetria e discutindo melhor sobre o mecanismo de termorregulador do organismo, o funcionamento do psicrômetro, umidade relativa, ponto de orvalho, etc. Como sugerido ao longo da dissertação.

Após a aula sobre propagação de calor a coleta de dados pode ser finalizada e pesquisas devem ser sugeridas aos alunos sobre aquecimento global, ilhas de calor e conforto térmico, índices de conforto térmico.

Após a conclusão da pesquisa chegou a hora de apresentar a maquete e iniciar a segunda etapa do projeto. Nesse período o professor terá a oportunidade de verificar juntamente com seus alunos qualitativamente os aspectos das leis de Steffan-Boltzman e de Kirchhoff.

Sugerimos que ao final do trabalho que o professor de liberdade total aos alunos para implementar mudanças nas maquetes a fim de verificar outras possibilidades e/ou até interagir com uma residência ou algum ambiente real para a aplicação da proposta de mitigação utilizando o conhecimento adquirido cientificamente para realizar uma mudança real na qualidade de vida para alguém ou para alguns.



## REFERÊNCIAS:

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. ASHAE Fundamentals. Atlanta, 2001. Cap. 8: Thermal Comfort.

ANGOTTI, J.; BASTOS, F.; MION, R. EDUCAÇÃO EM FÍSICA: DISCUTINDO CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE. *Ciência & Educação*, v.7, n.2, p.183-197, 2001.

AULER, D e DELIZOICOV. D. (2006) Educação CTS: Articulação entre pressupostos do educador Paulo Freire e referenciais ligados ao movimento CTS. *Las Relaciones CTS em la educación científica*, p.4, 2006.

AULER, D. e DELIZOICOV. D. (1999) Visões de Professores sobre as Interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS). Resumos, II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (II ENPEC). Valinhos.

AULER, D. e DELIZOICOV. D. (2001) Alfabetização científico-tecnológica para quê? *Revista Ensaio-Pesquisa em educação em Ciências*, vol. 2(2). <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/44/203> (acesso: 23/12/10)

BAZZO, W.; LINSINGEN, I. V. & TEIXEIRA, L. T. V. (2003) Introdução aos Estudos CTS. Espanha, OEI.

BELLEN H. M. Desenvolvimento Sustentável: Uma Descrição das Principais Ferramentas de Avaliação. *Ambiente e Sociedade (Campinas)*, v.7, n.1, p. 67-87, 2004.

BRASIL Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Brasília: SEMTEC/MEC, 2000.

BRASIL Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+ – Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais; Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB nº 9394/1996).

CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J. e GUERRA, C. (2008) Do estado da arte em educação em ciências: linhas de pesquisa e o caso CTS. Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v.1, n.1, p. 27-49, mar.2008.

CAPPECHI, M.C.V.M. e CARVALHO, A.M.P. Atividade de laboratório como instrumento para abordagem de aspectos da cultura científica em sala de aula. *Proposições*, v.17, n.I (49) – jan/abr, 2006

CAVALCANTE, M.; TAVOLARO, C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n.4, 4503 – dez, 2011

COLOMBO, C.; BAZZO, W. Educação tecnológica contextualizada, ferramenta essencial para o desenvolvimento social brasileiro. Está em: OEI - Programación - CTS+I - Sala de lectura - <http://www.oei.es/salactsi/colombo.htm> (acesso em 17/12/2010)

FANGER, P. O. Thermal Comfort. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDSIZATION. Ergonomics of the thermal environment Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales, ISO 10551. Genebra, 1995.

FOUREZ, G. Crise no ensino de Ciências?

[http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol8/n2/v8\\_n2\\_a1.html](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol8/n2/v8_n2_a1.html) - 16/04/2012 - 23:00h

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R.; Manual de Conforto Térmico. Studio Nobel. 7ª Edição, 245p. 2003.

GILES, D. B.; BALAFOUTS, C.; MAHERAS, P. (1990). Too Hot For Comfort: The Heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 34, N° XX, pp. 98 – 104.

HEWITT, P. G. Física Conceitual, 9ª edição – Bookman, 2002

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade - *Cadernos de Pesquisa*, n. 118, março/ 2003. Página 190.

LAMBERTS, R e XAVIER, A CONFORTO TÉRMICO E STRESS TÉRMICO. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. (Florianópolis, 2002)

LIDE, D. Handbook of Chemistry and Physics. Editor-in-Chief, 76th Edition, 1995-1996.

LUCIE, P. Física Básica (Vol. 3): Física Térmica. Editora Campus, Ltda. (1980)

LUTFI, M. (1988). Cotidiano e educação em química: os aditivos em alimentos como proposta para o ensino de química no segundo grau. Ijuí: UNIJUÍ

MAIA, D.; MONTEIRO, I. Ciência, Tecnologia e Sociedade como instrumento para formação docente.

[http://www.senept.cefetmg.br/galerias/Arquivos\\_senept/anais/terca\\_tema3/TerxaTema3Poster3.pdf](http://www.senept.cefetmg.br/galerias/Arquivos_senept/anais/terca_tema3/TerxaTema3Poster3.pdf) (acesso 20/12/2010)

MEDEIROS, A; O Desenvolvimento Histórico da Escala FAHRENHEIT e o Imaginário de Professores e de Estudantes de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 2: p. 155-173, ago. 2007.

MONTEIRO, L.; ALUCCI, P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de

classificação de modelos. Revista on-line da **Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)**, v.7 n 3 (2007).

NOVICKI, V & MACCARIELLO, M. do C. M. M. Educação Ambiental no Ensino Fundamental : as representações sociais dos profissionais da Educação. In: 25<sup>a</sup> REUNIÃO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA ANPED, 2002, Caxambú. 25<sup>a</sup> Reunião Anual. 2002.

PETRIÁNOV, I.; KRICHEVSKI, I. Termodinâmica para muchos (texto em espanhol). Editorial Mir, Moscou, 1980.

SANTOS, J.; SILVA, V.; ARAÚJO, L.; LIMA, E.; COSTA, A. Análise das Condições do Conforto Térmico em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em Campus Universitário. *Revista Brasileira de Geografia Física* 02 (2011),336-353

SANTOS, W; MELO, M. Índices de Conforto e Desconforto Térmico Humano segundo os Cenários Climáticos do IPCC

NUSSENZVEIG, M. Curso de Física Básica – Vol. 2 Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor – 3<sup>a</sup> edição São Paulo, Edgard Blücher, 1981

Política Nacional de Educação Ambiental – PNEA (Brasil, 1999).

RAMOS, E.; PINTO, S.; VIANNA, D. Ciência, Tecnologia e Sociedade no contexto da sala de Aula, 2008.

RUAS, Álvaro Cezar. Avaliação de conforto térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais. 2001. 1 v. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SANMARTÍN, J. Tecnologia y futuro humano. Barcelona: Anthropos, 1990.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. Revista Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciência, vol. 3, n. 2, p.133-162, Junho, 2001.

TERRAZZAN, E. A. Perspectivas para física moderna e contemporânea na escola de 2º grau. Tese de Doutorado. São Paulo: Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP), 1994.

THOM, E. C., (1959). The discomfort index. Weatherwise. Vol. 12. pp 57 – 60.

VAZ, C.; FAGUNDES, A.; PINHEIRO, N. O Surgimento da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) na Educação: Uma Revisão. I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia – 2009.

ZEMANSKY, M.; DITTMAN, H. Heat and Thermodynamics - 7a ed., McGraw-Hill, 1997.

ZUIN, V.; FREITAS, D.; OLIVEIRA, M. e PRUDÊNCIO, C. Análise da perspectiva ciência, tecnologia e sociedade em materiais

[http://www.eurometeo.com/english/read/doc\\_heat](http://www.eurometeo.com/english/read/doc_heat) (02/04/2012 - 19:55h)

## REFERÊNCIAS DAS FIGURAS

5.1 - Retirado de <http://www.if.ufrgs.br/cref/leila/temp.htm> (02/05/2012 - 8:20h)

5.2 - [http://emeirajunior.blogspot.com.br/2010/09/temperos-apimentadas\\_27.html](http://emeirajunior.blogspot.com.br/2010/09/temperos-apimentadas_27.html) (02/05/2012 - 10:10h)

5.3 - [http://en.wikipedia.org/wiki/William\\_Thomson,\\_1st\\_Baron\\_Kelvin](http://en.wikipedia.org/wiki/William_Thomson,_1st_Baron_Kelvin) (02/05/2012 - 10:30h)

5.5 <http://www.astro.uu.se/history/images/celsius2.jpg> (02/05/2012 - 10:30h)

5.6 - <http://www.efecade.com.br/index.php?texto=2221> (02/05/2012 - 10:30h)

5.7 - <http://ensinodematematica.blogspot.com.br/2011/01/temperatura-escalas-termometricas.html> (02/05/2012 - 10:45h)

5.8 - ([http://www.refrigeracao.net/Topicos/mudanca\\_estado.htm](http://www.refrigeracao.net/Topicos/mudanca_estado.htm))

5.13 - (a) Psicrômetro girante (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-5.html> - acessado em 10/08/2012) e (b) um psicrômetro com ventoinha ([http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Galeria\\_Fotos.htm](http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Galeria_Fotos.htm) - acessado em 10/08/2012).

5.14 - Projeto esquemático de um higrômetro de fio de cabelo ([http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02\\_0m0.asp#O](http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02_0m0.asp#O) higrômetro - acessado em 10/09/2012). Vários projetos simples como este podem ser encontrados na internet. Ao lado vemos um higrômetro preciso comercial do tipo fio de cabelo que usa fios de polímeros de alta qualidade.

5.15 - Estrutura esquemática de construção de um sensor capacitivo de umidade relativa do ar.

5.16 - No esquema acima vemos os detalhes de ligação de um sensor do tipo HIH - 4030 da Honeywell e no gráfico abaixo vemos a resposta típica do sensor (informações fornecidas pelo fabricante).

5.17 - [http://www.google.com.br/imgres?num=10&um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=6wCu\\_L5i7c8XUM:&imgrefurl=http://www.anossaescola.com/vagos/dossies\\_paginas\\_ver.asp%3Fid%3D360&docid=UBBQPY6KHoarIM&imgurl=http://fatec.org/v02/images/stories/termodinamica/08\\_40\\_03.gif&w=334&h=225&ei=OUJWUP69O4Ww0QG7nYHIDg&zoom=1&iact=rc&dur=636&sig=110274806079282180339&sqi=2&page=1&tbnh=121&tbnw=180&start=0&ndsp=1&ved=1t:429,r:0,s:0,i:84&tx=109&ty=43](http://www.google.com.br/imgres?num=10&um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=6wCu_L5i7c8XUM:&imgrefurl=http://www.anossaescola.com/vagos/dossies_paginas_ver.asp%3Fid%3D360&docid=UBBQPY6KHoarIM&imgurl=http://fatec.org/v02/images/stories/termodinamica/08_40_03.gif&w=334&h=225&ei=OUJWUP69O4Ww0QG7nYHIDg&zoom=1&iact=rc&dur=636&sig=110274806079282180339&sqi=2&page=1&tbnh=121&tbnw=180&start=0&ndsp=1&ved=1t:429,r:0,s:0,i:84&tx=109&ty=43) (02/05/2012 - 11:30h)

5.18 - [http://www.google.com.br/imgres?um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=hqw9Nae-hGKZRM:&imgrefurl=http://conhecendoseuautomovel.blogspot.com/2011/04/formas-de-propagacao-do-calor-em\\_8842.html&docid=cY6qiMk6bP9\\_wM&imgurl=http://4.bp.blogspot.com/-bAWSIisY6A/TakLRTow5II/AAAAAAAAADA/9xrOJQ8LvXc/s1600/convecc%252525CC%252525A7a%252525CC%25252583o.jpg&w=291&h=185&ei=gUJWUJbNE\\_M3V0gGQiYGIDA&zoom=1&iact=rc&dur=608&sig=110274806079282180339&page=1&tbnh=116&tbnw=182&start=0&ndsp=22&ved=1t:429,r:3,s:0,i:119&tx=50&ty=66](http://www.google.com.br/imgres?um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=hqw9Nae-hGKZRM:&imgrefurl=http://conhecendoseuautomovel.blogspot.com/2011/04/formas-de-propagacao-do-calor-em_8842.html&docid=cY6qiMk6bP9_wM&imgurl=http://4.bp.blogspot.com/-bAWSIisY6A/TakLRTow5II/AAAAAAAAADA/9xrOJQ8LvXc/s1600/convecc%252525CC%252525A7a%252525CC%25252583o.jpg&w=291&h=185&ei=gUJWUJbNE_M3V0gGQiYGIDA&zoom=1&iact=rc&dur=608&sig=110274806079282180339&page=1&tbnh=116&tbnw=182&start=0&ndsp=22&ved=1t:429,r:3,s:0,i:119&tx=50&ty=66) (02/05/2012 - 10:35h)

5.19 [http://www.google.com.br/imgres?um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=kWa4WCmo0MjRXM:&imgrefurl=http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html%3Faula%3D7715&docid=T149rMcVMNKENM&imgurl=http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/aulas/7715/imagens/a2\\_f3\\_progapacao\\_calor\\_radiacao.png&w=569&h=171&ei=okJWUJG0](http://www.google.com.br/imgres?um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=kWa4WCmo0MjRXM:&imgrefurl=http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html%3Faula%3D7715&docid=T149rMcVMNKENM&imgurl=http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/aulas/7715/imagens/a2_f3_progapacao_calor_radiacao.png&w=569&h=171&ei=okJWUJG0)

[GqXO0QH134C4Aw&zoom=1&iact=rc&dur=474&sig=110274806079282180339&page=1&tbnh=59&tbnw=195&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:7,s:0,i:92&tx=80&ty=55](http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo1/modulo1/topico2.php)  
(02/05/2012 - 10:35h)

5.20 - <http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo1/modulo1/topico2.php>  
(26/06/12 - 11:36h)

5.21 - <http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo1/modulo1/topico2.php>  
(26/06/12 - 11:36h)

## ANEXO A – Indicador do IDT [Ts(°C) x UR(%)]

### THOM'S DISCOMFORT INDEX

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	32	32	33	33	34	34	35	35	36	36	37	37	37	38	38	38
41°	31	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	37	37	37	37
40°	30	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37
39°	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36
38°	29	30	30	31	31	31	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35
37°	28	29	29	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	34
36°	28	28	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	32	33	33	34
35°	27	27	28	28	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33
34°	26	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32
33°	26	26	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31
32°	25	25	26	26	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	30
31°	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30
30°	24	24	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29
29°	23	23	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28
28°	22	23	23	23	24	24	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27
27°	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26
26°	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	25	26
25°	20	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	25	25
24°	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24
23°	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23
22°	18	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22

Up to 21	No discomfort
From 21 to 24	Less than half population feels discomfort
From 25 to 27	More than half population feels discomfort
From 28 to 29	Most population feels discomfort and deterioration of psychophysical conditions
From 30 to 32	The whole population feels an heavy discomfort
Over 32	Sanitary emergency due to the the very strong discomfort which may cause heatstrokes

(retirado de: [http://www.eurometeo.com/english/read/doc\\_heat](http://www.eurometeo.com/english/read/doc_heat) às 19:55h do dia 02/04/2012)



ANEXO C - Tabela psicrométrica

**TABELA DO PSICRÔMETRO**

[www.fairadeiencias.com.br](http://www.fairadeiencias.com.br)

$t_a$	5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10
3	92	84	76	69	62	54	47	40	32	25	12	*	*	*	*
4	93	85	77	70	63	56	49	43	35	29	16	*	*	*	*
5	93	86	78	72	65	58	51	45	38	32	30	*	*	*	*
6	94	87	80	73	66	60	54	47	41	35	23	11	*	*	*
7	94	87	81	74	67	62	54	49	43	38	26	15	*	*	*
8	94	88	82	75	69	64	56	51	46	40	29	19	*	*	*
9	94	88	82	76	70	65	59	53	48	42	32	22	12	*	*
10	94	89	83	77	71	66	61	56	51	45	35	26	17	*	*
11	94	89	83	78	72	67	62	57	52	47	37	28	19	*	*
12	94	89	84	78	73	68	63	58	53	48	38	30	21	*	*
13	95	89	84	79	74	69	64	60	55	50	40	32	24	15	*
14	95	90	85	79	75	70	65	61	57	52	48	34	26	18	*
15	95	90	85	80	76	71	66	62	58	53	44	36	28	20	13
16	95	90	85	80	77	72	67	63	59	55	46	38	31	23	16
17	95	90	86	81	77	72	68	64	60	56	48	40	36	25	18
18	95	90	86	82	78	73	69	65	61	57	49	42	35	27	20
19	95	91	87	82	78	74	70	66	62	58	51	54	37	29	22
20	96	91	87	83	79	74	71	66	63	59	58	45	38	31	24
21	96	91	87	83	79	75	71	67	64	60	53	45	39	32	26
22	96	91	88	84	80	76	72	68	64	61	54	47	41	34	28
23	96	92	88	84	80	77	73	69	65	62	54	48	42	36	30
24	96	92	88	85	81	77	74	70	66	63	55	49	43	37	31
25	96	92	88	85	81	78	75	71	67	64	56	51	45	39	36
26	96	92	89	85	81	78	75	71	67	64	58	52	46	40	35
27	96	93	90	86	82	79	76	72	69	65	59	53	47	41	36
28	96	93	90	86	82	79	76	72	69	66	60	54	48	42	37
29	96	93	90	86	82	79	76	73	70	66	61	55	49	43	38
30	96	93	90	86	82	79	76	73	70	66	61	55	50	44	39
31	96	93	90	86	82	80	77	73	70	67	61	56	51	45	40
32	96	93	90	86	83	80	77	73	71	68	62	57	52	46	41
33	96	93	90	86	83	80	77	74	71	68	63	57	58	47	42
34	96	93	90	87	83	80	77	74	71	69	63	58	52	48	43
35	97	93	90	87	84	81	78	74	72	69	64	59	53	49	44
36	97	93	90	87	84	81	78	75	72	70	64	59	54	50	45
37	97	93	90	87	84	81	78	75	73	70	65	60	54	51	46
38	97	93	91	88	85	82	79	75	73	70	66	61	55	51	46
39	97	94	91	88	85	82	79	76	74	71	66	61	56	52	46
40	97	94	91	88	86	82	79	76	74	71	66	61	56	52	47
41	97	94	91	88	86	83	80	76	75	71	67	62	57	53	47
42	97	94	91	88	86	83	80	77	75	72	67	62	57	53	48
43	97	94	91	89	87	83	80	77	76	72	67	62	58	54	48
44	97	94	91	89	87	84	81	77	76	72	68	63	58	54	48
45	97	94	91	89	87	84	81	78	76	73	68	63	59	55	49

## ANEXO D – Classificação das condições atmosféricas

### Nebulosidade:

**Nebulosidade** refere-se à fração do céu coberta pelas nuvens quando observado de uma localização em particular. Segundo as normas meteorológicas, o céu é dividido em octas (ou décimas, dependendo da região). De acordo com o número de octas (1/8 do céu) com cobertura total de nuvens, a nebulosidade pode ser dividida em:

- **Céu limpo**, quando o céu não apresenta nenhum vestígio de nuvens (não há nenhuma octa encoberta).
- **Céu com poucas nuvens**, quando há de 1 a 2 octas encobertas;
- **Céu parcialmente nublado**, quando há de 3 a 4 quatro octas encobertas ou aproximadamente metade do céu está encoberto pelas nuvens;
- **Céu nublado**, quando há de 6 a 7 octas encobertas e
- **Céu encoberto**, quando as oito octas do céu estão totalmente encobertos pelas nuvens.

**No exemplo dado na tabela 3 (página 36) o céu observado continha duas octas encobertas por nuvens.**

### Precipitação:

Em [meteorologia](#), precipitação descreve qualquer tipo de fenómeno relacionado à queda de [água](#) do céu. Isso inclui [neve](#), [chuva](#) e [chuva de granizo](#). A precipitação é uma parte importante do [ciclo hidrológico](#), sendo responsável por retornar a maior parte da [água doce](#) ao planeta. Em nosso trabalho dividiremos em:

- a) Chuvisco
- b) Chuva ou pancadas de chuva
- c) Chuva forte

## ANEXO E - O texto para ser distribuído aos alunos

### O PSICRÔMETRO

O **psicrômetro** é um aparelho constituído por dois termômetros idênticos colocados um ao lado do outro, que serve para avaliar a quantidade de vapor de água (umidade relativa) contido no ar. A diferença entre os dois termômetros é que um deles trabalha com o bulbo seco e o outro com o bulbo úmido.



Figura 9 – O Psicrômetro

O termômetro de bulbo úmido tem o bulbo coberto por uma malha porosa, que fica mergulhada num recipiente contendo água. Esta malha fica constantemente úmida devido ao efeito de capilaridade. A evaporação da água contida na malha envolvente retira calor do bulbo, fazendo com que o termômetro de bulbo úmido indique uma temperatura mais baixa do que a do outro termômetro, que indica a temperatura ambiente. Essa evaporação, e conseqüentemente a redução na temperatura de bulbo úmido, é tanto maior quanto mais seco está o ar atmosférico e é nula quando a atmosfera está saturada de vapor de água e a diferença de temperaturas é denominada diferença psicrométrica.

OBS: A diferença entre a  $T_S$  e a  $T_U$  fornece a Umidade Relativa, através da Carta Psicrométrica obtida no ANEXO C.

### GLOSSÁRIO:

**Do grego psychro:** esfriar, resfriar, etc.

**Psicrometria:** é o estudo das misturas de ar e vapor d'água, isto é, o estudo do ar úmido, ou ainda, pode-se dizer que é o estudo das propriedades do ar, tais como temperatura, umidade e ponto de orvalho.

**Tabela Psicrométrica:** é um diagrama que relaciona a temperatura do ar com a diferença psicrométrica, indicando valores de umidade relativa do ar (em porcentagem).

**Temperatura de bulbo seco ( $T_s$ ):** temperatura do ar medida com um termômetro comum.

**Temperatura de bulbo úmido ( $T_U$ ):** temperatura do ar medida com um termômetro comum, cujo bulbo de vidro foi coberto com uma gaze úmida ou algodão úmido (resfriamento evaporativo).

**Umidade relativa do ar (UR):** razão entre a quantidade de umidade do ar e a quantidade máxima que ele pode conter na mesma temperatura.

**Temperatura de ponto de orvalho:** é a menor temperatura a que o ar pode ser resfriado, sem que ocorra alguma condensação de vapor de água ou umidade.

Pronto! Você já conhece um pouco sobre psicrometria e possui o seu psicrômetro. Porém, nosso trabalho está apenas começando, essa foi só a primeira parte de nosso projeto sobre umidade relativa do ar e conforto térmico.

Agora, você levará seu psicrômetro para sua residência e fará as medidas diariamente e se possível por mais de uma vez no mesmo dia. Quando realizar essas medidas você deve preencher a tabela abaixo da maneira mais precisa possível.

LEMBRE-SE, o psicrômetro não pode ficar exposto ao sol e nem colocado em uma parede que também esteja exposta. Certifique-se que a mexa do bulbo úmido esteja úmida e faça suas medidas. Boas medidas!

## ANEXO F – Listagem do programa para aquisição de dados com as maquetes.

Neste anexo apresentamos a listagem do programa de aquisição de dados da montagem com as maquetes. Usamos na parte de gravação dos dados no cartão de memória uma parte importante do programa desenvolvido por...

---

```
//Projeto CT1 - Conforto Térmico - versão 1.1 - Tese Eduardo Couto
//Acrescentamos a medida da intensidade da luz solar com auxílio //de um LDR.

#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// A simple data logger for the Arduino analog pins

// how many milliseconds between grabbing data and logging it. 1000 ms is once a second
#define LOG_INTERVAL 10000 // mills between entries (reduce to take more/faster data)

// how many milliseconds before writing the logged data permanently to disk
// set it to the LOG_INTERVAL to write each time (safest)
// set it to 10*LOG_INTERVAL to write all data every 10 datareads, you could lose up to
// the last 10 reads if power is lost but it uses less power and is much faster!
#define SYNC_INTERVAL 1000 // mills between calls to flush() - to write data to the card
uint32_t syncTime = 0; // time of last sync()

#define ECHO_TO_SERIAL 1 // echo data to serial port
#define WAIT_TO_START 0 // Wait for serial input in setup()

// the digital pins that connect to the LEDs
#define redLEDPin 2
#define greenLEDPin 3

//Linha de dados vai para o pino 5
#define ONE_WIRE_BUS 5

// The analog pins that connect to the sensors
#define humPin 0 // analog 0
#define intLuz 1 // analog 1
#define BANDGAPREF 14 // special indicator that we want to measure the bandgap
#define aref_voltage 5.0 // we tie 5.0V to ARef and measure it with a multimeter!
#define bandgap_voltage 1.1 // this is not super guaranteed but its not -too- off

//Prepara uma instância de oneWire para se comunicar com dispositivos OneWire
//(no apenas CIs de temperatura da Maxim/Dallas)
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

//Passa nossa referencia de oneWire para DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// arrays para armazenar os endereos dos dispositivos
DeviceAddress Term1, Term2;
```

```

RTC_DS1307 RTC; // define the Real Time Clock object

// for the data logging shield, we use digital pin 10 for the SD cs line
const int chipSelect = 10;

// the logging file
File logfile;

void error(char *str)
{
  Serial.print("error: ");
  Serial.println(str);

  // red LED indicates error
  digitalWrite(redLEDpin, HIGH);

  while(1);
}

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println();

  // use debugging LEDs
  pinMode(redLEDpin, OUTPUT);
  pinMode(greenLEDpin, OUTPUT);

#ifdef WAIT_TO_START
  Serial.println("Type any character to start");
  while (!Serial.available());
#endif //WAIT_TO_START

  // initialize the SD card
  Serial.print("Initializing SD card...");
  // make sure that the default chip select pin is set to
  // output, even if you don't use it:
  pinMode(10, OUTPUT);

  // see if the card is present and can be initialized:
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    error("Card failed, or not present");
  }
  Serial.println("card initialized.");

  // create a new file
  char filename[] = "LOGGER00.CSV";
  for (uint8_t i = 0; i < 100; i++) {
    filename[6] = i/10 + '0';
    filename[7] = i%10 + '0';
    if (!SD.exists(filename)) {
      // only open a new file if it doesn't exist
      logfile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
      break; // leave the loop!
    }
  }

  if (!logfile) {
    error("couldnt create file");
  }
}

```

```

}

Serial.print("Logging to: ");
Serial.println(filename);

// connect to RTC
Wire.begin();
if (!RTC.begin()) {
  logfile.println("RTC failed");
#ifdef ECHO_TO_SERIAL
  Serial.println("RTC failed");
#endif //ECHO_TO_SERIAL
}

logfile.println("datetime,Tbra,Tcin,Hm,vcc,luz");
#ifdef ECHO_TO_SERIAL
  Serial.println("datetime,Tbra,Tcin,Hm,vcc,luz");
#endif //ECHO_TO_SERIAL

// If you want to set the aref to something other than 5v
//analogReference(INTERNAL);

//inicia a biblioteca
sensors.begin();

//localiza os dispositivos no barramento
Serial.print("Locating devices...");
Serial.print("Found ");
Serial.print(sensors.getDeviceCount(),DEC);
Serial.println(" devices.");

if(!sensors.getAddress(Term1,0))
  Serial.println("Unable to find address for Device 0");
if(!sensors.getAddress(Term2,1))
  Serial.println("Unable to find address for Device 1");

}

void loop(void)
{
  DateTime now;

  // delay for the amount of time we want between readings
  delay((LOG_INTERVAL -1) - (millis() % LOG_INTERVAL));

  digitalWrite(greenLEDpin, HIGH);

  // log milliseconds since starting
  uint32_t m = millis();
  //logfile.print(m);      // milliseconds since start
  //logfile.print(", ");
#ifdef ECHO_TO_SERIAL
  // Serial.print(m);      // milliseconds since start
  // Serial.print(", ");
#endif

  // fetch the time
  now = RTC.now();
  // log time

```

```

//logfile.print(now.unixtime()); // seconds since 1/1/1970
//logfile.print(", ");
//logfile.print("");
logfile.print(now.year(), DEC);
logfile.print("/");
logfile.print(now.month(), DEC);
logfile.print("/");
logfile.print(now.day(), DEC);
logfile.print(" ");
logfile.print(now.hour(), DEC);
logfile.print(":");
logfile.print(now.minute(), DEC);
logfile.print(":");
logfile.print(now.second(), DEC);
logfile.print("");
#if ECHO_TO_SERIAL
//Serial.print(now.unixtime()); // seconds since 1/1/1970
//Serial.print(", ");
//Serial.print("");
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.print("");
#endif //ECHO_TO_SERIAL

int humReading = analogRead(humPin);
int luzReading = analogRead(intLuz);

//chama sensor.requestTemperature() para emitir uma solicita o de temperatura
//global a todos os dispositivos no barramento

sensors.requestTemperatures();

// imprime as informa es do dispositivo

float T1 = sensors.getTempC(Term1);
float T2 = sensors.getTempC(Term2);

// converting that reading to voltage, for 3.3v arduino use 3.3, for 5.0, use 5.0
float voltageH = humReading * aref_voltage / 1024;
float umidade = 32 * voltageH - 26;
float Luz = luzReading * aref_voltage / 1024;

logfile.print(", ");
logfile.print(T1);
logfile.print(", ");
logfile.print(T2);
logfile.print(", ");
logfile.print(umidade);
logfile.print(", ");

```

```

logfile.print(Luz);

#if ECHO_TO_SERIAL
  Serial.print(", ");
  Serial.print(T1);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(T2);
  Serial.print(",");
  Serial.print(umidade);
  Serial.print(",");
  Serial.print(Luz);
#endif //ECHO_TO_SERIAL

// Log the estimated 'VCC' voltage by measuring the internal 1.1v ref
analogRead(BANDGAPREF);
delay(10);
int refReading = analogRead(BANDGAPREF);
float supplyvoltage = (bandgap_voltage * 1024) / refReading;

logfile.print(", ");
logfile.print(supplyvoltage);
#if ECHO_TO_SERIAL
  Serial.print(", ");
  Serial.print(supplyvoltage);
#endif // ECHO_TO_SERIAL

logfile.println();
#if ECHO_TO_SERIAL
  Serial.println();
#endif // ECHO_TO_SERIAL

digitalWrite(greenLEDpin, LOW);

// Now we write data to disk! Don't sync too often - requires 2048 bytes of I/O to SD card
// which uses a bunch of power and takes time
if ((millis() - syncTime) < SYNC_INTERVAL) return;
syncTime = millis();

// blink LED to show we are syncing data to the card & updating FAT!
digitalWrite(redLEDpin, HIGH);
logfile.flush();
digitalWrite(redLEDpin, LOW);

```