

# Propostas para o Ensino de Ciências Naturais e Educação Ambiental

Volume Número Ano

ISSN 0000-0000



## ESTUDO DO CALOR: SEQUÊNCIA DE ENSINO ASSOCIADA À CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

MARCIA HELENA RIBEIRO

Mestrado em Ensino de Ciências

Instituto de Física

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



## **Apresentação**

O produto aqui apresentado é resultado da dissertação intitulada: Estudo do calor: Sequência de ensino associada à conservação de alimentos

Este produto foi elaborado com o objetivo de propor uma contextualização dos conceitos relacionados ao estudo do calor para um contexto específico de um curso profissionalizante Técnico em Alimentos, visando verificar a potencialidade significativa junto aos estudantes do curso, quando aplicados em uma situação diferenciada, no caso a secagem de alimentos.

Este produto é composto por uma sequência de ensino elaborado de acordo com os aspectos norteadores da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, e três textos: 1) História da Ciência; 2) Conceito Físico associado à temperatura, equilíbrio térmico, calor e suas formas de propagação e 3) Aplicação do estudo do calor nos equipamentos da indústria alimentícia utilizados na conservação dos alimentos.

Faz parte também, desse produto, o material necessário à aplicação da sequência de ensino, tais como: mapa conceitual, slides de aulas da História da Ciência, bem como matérias de coleta de dados (Avaliação Diagnóstica Inicial e Final).

Quanto à secadora solar artesanal de frutas construída para discussão dos conceitos de calor na secagem de alimentos, foram disponibilizadas fotos e um roteiro para construção da mesma.

Campo Grande, dezembro de 2015.

Marcia Helena Ribeiro

## Sumário

|  |    |
|--|----|
| <b>UNIDADE 1</b> .....   | 5  |
| <b>AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA INICIAL</b> .....   | 5  |
| 1.1 ETAPA 1- APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA INICIAL - AVI.....                                       | 5  |
| <b>UNIDADE 2</b> .....   | 6  |
| <b>SEQUÊNCIA DE ENSINO</b> .....   | 6  |
| 2.1 ETAPA 2 - AULAS DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA .....   | 6  |
| <b>Plano de aula 1</b> .....   | 6  |
| 2.2 ETAPA 03 - ABORDAGEM CONCEITUAL DO ESTUDO DO CALOR.....  | 7  |
| <b>Plano de aula 3</b> .....   | 7  |
| 2.3 ETAPA 04 - ELABORAÇÃO DE UMA PROPOSTA DE APARATO EXPERIMENTAL<br>PARA A SECAGEM DE FRUTAS.....       | 8  |
| <b>Plano de aula 4</b> .....   | 8  |
| 2.4 ETAPA 05 - DISCUSSÃO DOS CONCEITOS FÍSICOS PRESENTES NUMA<br>SECADORA SOLAR ARTESANAL DE FRUTAS..... | 9  |
| <b>Plano de aula 5</b> .....   | 10 |
| <b>UNIDADE 3</b> .....   | 11 |
| <b>AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA FINAL</b> .....   | 11 |
| 3.1 APLIAÇÃO DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA FINAL (ADF).....   | 11 |
| APÊNDICE 1 .....   | 12 |
| AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA INICIAL .....  | 12 |
| APÊNDICE 3.....  | 17 |
| MAPA CONCEITUAL DE ESTRUTURA DA MATÉRIA .....  | 17 |
| APÊNDICE 4.....  | 18 |
| HISTÓRIA DO CONCEITO DE TEMPERATURA E CALOR.....   | 18 |
| APÊNDICE 5 .....   | 30 |
| SLIDES DAS AULAS ABORDANDO A HISTÓRIA DO CALOR.....  | 30 |
| APÊNDICE 6.....  | 42 |
| ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA .....   | 42 |
| APÊNDICE 7 .....   | 57 |
| MAPA CONCEITUAL DO ESTUDO DO CALOR .....   | 57 |
| APÊNDICE 8.....  | 58 |
| ROTEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE PRÁTICA .....  | 58 |
| APÊNDICE 9.....  | 59 |

|  |     |
|--|-----|
| AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA FINAL .....                              | 59  |
| APÊNDICE 10 .....  | 68  |
| APLICAÇÃO DO ESTUDO DO CALOR NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS ..... | 68  |
| ANEXO 1 .....  | 104 |
| ORIENTAÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO DA SECADORA .....                 | 104 |
| ANEXO 2 .....  | 106 |
| ORIENTAÇÃO PARA PREPARAÇÃO DAS FRUTAS.....                     | 106 |
| ANEXO 3.....   | 108 |
| FOTOS DA SECADORA SOLAR ARTESANAL .....                        | 108 |
| REFERENCIAS .....  | 109 |

# **UNIDADE 1**

## **AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA INICIAL**

### **1.1 ETAPA 1- APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA INICIAL - AVI**

Esta aula é destinada à aplicação de uma avaliação diagnóstica, composta de seis questões (apêndice 1) com os seguintes objetivos:

1) identificar a presença dos seguintes conceitos subsunçores, na estrutura cognitiva dos sujeitos que participaram da pesquisa: estrutura da matéria: agregação e vibração das partículas nos estados sólido, líquido e gasoso, e o conceito de densidade;

2) identificar a presença do conceito de temperatura, equilíbrio térmico e dos tipos de propagação da energia sob a forma de calor;

3) procurou indícios de aplicação do calor na conservação de alimentos, especificamente na secagem de frutas.

Para a realização dessa avaliação, deverá ser disponibilizada uma aula de 45 minutos para que os sujeitos possam responder às questões.

Os sujeitos devem ser orientados de que as questões que porventura eles não souberem responder deverão deixá-las em branco para facilitar a posterior análise desse instrumento de coleta de dados.

Será por meio dessa avaliação, que o professor reconhecerá o nível de conhecimento dos sujeitos participantes da pesquisa e assim verificar a necessidade ou não de elaboração de um material introdutório, ou seja, apresentar os organizadores prévios.

Também será analisado o nível de conhecimento, compreensão e aplicação dos conceitos abordados, com a finalidade de verificar em que categorias do domínio cognitivo, cada um dos sujeitos se enquadram para posterior classificação da mesma e comparação com uma Avaliação Diagnóstica que será aplicada após a sequência de ensino.

## UNIDADE 2 SEQUÊNCIA DE ENSINO

### 2.1 ETAPA 2 - AULAS DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

As aulas explorando aspectos da história da ciência foram planejadas com o objetivo de fornecer organizadores prévios aos sujeitos e também para ser um elemento motivador no desenvolvimento inicial da sequência de ensino. Ela foi elaborada a partir do texto do apêndice 3 que explora evolução histórica do conceito de calor, temperatura e equilíbrio térmico.

Nos primeiros quarenta e cinco minutos o professor pode explorar a história da evolução do conceito de calor, iniciando com o pensamento dos gregos, abordando o experimento de Thompson nas fábricas de canhões e finalizando com a experiência de Joule do equivalente mecânico do calor. A apresentação da evolução histórica até o experimento de Joule se justifica pelo fato de que foi a partir desse experimento que o conceito de calor foi concebido como uma forma de energia, tal como aceito atualmente pela comunidade científica, e transposto para os livros didáticos de Física, utilizados no Ensino Médio.

No tempo restante, o professor deve explorar a apresentação da evolução histórica do conceito de temperatura e do processo de construção do termômetro, assim como a influência desses no desenvolvimento conceitual de equilíbrio térmico. Nesta abordou-se também os processos de transferência de energia sob a forma de calor.

Os slides de apresentação da aula da História da Evolução do conceito de temperatura e calor encontram-se no apêndice 5.

#### **Plano de aula 1**

|  |
|--|
| <b>Tema:</b> Estudo do calor   |
| <b>Assunto:</b> História da evolução do conceito de calor, temperatura e equilíbrio térmico.   |
|  |
| <b>Objetivo Geral</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>Utilizar a História da Ciência como elemento motivador para o início da sequência de ensino.</li></ul> |
| <b>Objetivos Específicos</b>   |
| A final das 02 (duas) aulas o estudante deverá ser capaz de:   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>Reconhecer que para a construção de um conceito demanda-se tempo e estudo;</li></ul>                   |

- Descrever os principais fatos históricos relacionados à construção do conceito de calor e temperatura;

#### **Procedimentos de Ensino**

- Aula expositiva e dialógica empregando apresentação PowerPoint.

#### **Recursos Didáticos**

- Lousa digital
- Quadro de vidro
- Canetas
- Notebook

#### **Avaliação**

Como instrumento de avaliação, será considerado o envolvimento dos estudantes, que pressupõe a sua participação na construção do debate e dinâmicas, bem como a apropriação do conhecimento acerca da história da construção dos conceitos relacionados acima que será de grande importância para a continuidade da sequência de ensino.

#### **Referências**

Encontram-se no final desse produto.

### **2.2 ETAPA 03 - ABORDAGEM CONCEITUAL DO ESTUDO DO CALOR**

Para a elaboração do planejamento das duas aulas destinadas à apresentação conceitual do estudo do calor, utilizou-se o texto do apêndice 6 que trata da abordagem do conceito estabelecido para temperatura, calor e tipos de propagação da energia sob a forma de calor, hoje aceitos pela comunidade científica e materializados na transposição presente em livros didáticos de física, utilizados no ensino superior.

A primeira aula foi destinada à apresentação do conceito de temperatura, dos diferentes tipos de termômetros e sua aplicação, principalmente aqueles que podem ser utilizados na indústria alimentícia.

A segunda aula abordou o conceito de calor, equilíbrio térmico e os tipos de propagação da energia sob a forma de calor.

Fazendo uso da reconciliação integrativa e diferenciação progressiva, utilizou-se nesta etapa da sequência de ensino os mapas conceituais de Estrutura da Matéria e o de Calorimetria, disponíveis nos apêndices 3 e 7.

#### **Plano de aula 3**

**Tema:** Estudo do calor.

**Assunto:** Conceitos Físicos associados ao conceito de temperatura, calor, equilíbrio térmico e dos tipos de propagação da energia sob a forma de calor.

### **Objetivo Geral**

- Apresentar o conceito físico de temperatura, calor, equilíbrio térmico e dos tipos de propagação da energia sob a forma de calor.

### **Objetivos Específicos**

A final das 02 (duas) aulas o estudante deverá ser capaz de:

- Estabelecer a diferença entre o conceito de temperatura e calor;
- Enumerar os diferentes tipos de termômetros utilizados atualmente;
- Diferenciar as três formas de propagação do calor.

### **Procedimentos de Ensino**

- Aula expositiva e dialógica.
- Exposição oral do conteúdo

### **Recursos Didáticos**

- Lousa digital
- Quadro de vidro
- Canetas
- Notebook
- Mapa conceitual da estrutura da matéria (figura 2)
- Mapa conceitual da Calorimetria (figura 1)

### **Avaliação**

Como instrumento de avaliação será considerado o envolvimento dos estudantes, que pressupõe a sua participação na construção do debate e dinâmicas, bem como a apropriação do conhecimento acerca da história da construção dos conceitos relacionados acima de será de grande importância para a continuidade da sequência de ensino.

### **Referências**

Encontram-se no final desse produto.

## **2.3 ETAPA 04 - ELABORAÇÃO DE UMA PROPOSTA DE APARATO EXPERIMENTAL PARA A SECAGEM DE FRUTAS**

Essa etapa é composta de duas aulas: na primeira os estudantes são solicitados a elaborar uma proposta de um aparato experimental para a secagem de frutas, aplicando conceitos relacionados ao estudo do calor, por meio do roteiro do apêndice 8. O objetivo dessas duas aulas é verificar a capacidade de uso dos mesmos, dos conceitos apresentados em sala de aula em uma nova realidade, uma atividade problema: elaborar um aparato, fazendo uso dos tipos de propagação da energia sob a forma de calor visando a secagem de frutas.

### **Plano de aula 4**

**Tema:** Calorimetria

**Assunto:** Atividade de aplicação do estudo do calor associada à conservação de alimentos.

### **Objetivo Geral**

- Verificar a aplicação dos conceitos abordados na sequência de ensino em uma atividade concreta diferenciada.

### **Objetivos Específicos**

A final das 02 (duas) aulas o estudante deverá ser capaz de:

- Apresentar o aparato idealizado para secagem de alimentos;
- Justificar o formato e os itens componentes do aparato por meio dos tipos de propagação da energia sob a forma de calor;
- Escolher os materiais ideais para fabricação do aparato;
- Justificar por meio do estudo do calor, a escolha dos materiais.

### **Procedimentos de Ensino**

- Trabalho em grupo
- Utilização de recursos audiovisuais.
- Exposição oral do material elaborado por cada grupo de estudantes

### **Recursos Didáticos**

- Lousa digital
- Quadro de vidro
- Canetas
- Notebook
- Roteiro para o desenvolvimento da atividade de aplicação

## **2.4 ETAPA 05 - DISCUSSÃO DOS CONCEITOS FÍSICOS PRESENTES NUMA SECADORA SOLAR ARTESANAL DE FRUTAS**

Nesta etapa deve ser apresentada uma secadora solar artesanal (anexo 3) com a finalidade de explorar os conceitos de propagação da energia sob a forma de calor na secagem de frutas. Esta aula de 45 minutos é destinada para que os estudantes possam comparar o aparato idealizado na etapa anterior com uma secadora construída para secagem de alimentos, com a mediação do professor.

Nesta aula deve ser abordado o porquê do formato da secadora, a finalidade das aberturas, o posicionamento e material da fabricação da bandeja para disposição das frutas, bem como o material da caixa da secadora.

Deverão ser tratados os tipos de propagação da energia sob a forma de calor como forma de secagem de alimentos, bem como o seu posicionamento, ao sol, para obter uma desidratação mais eficiente do alimento.

Caso o professor deseje fazer a secagem de alimentos, poderá fazer uso do roteiro para preparação das frutas que se encontra no anexo 2.

Como forma de contextualização o professor poderá trabalhar com o texto do apêndice 10, onde são descritos os tipos de conservação de alimentos realizados pela indústria alimentícia.

Para a construção de uma secadora solar o professor poderá realiza-la por meio do roteiro descrito no anexo 1.

## **Plano de aula 5**

**Tema:** Aplicação do estudo do calor em uma secadora artesanal de alimentos

**Assunto:** Funcionamento de uma secadora artesanal solar de frutas

### **Objetivo Geral**

- Verificar a aplicação dos conceitos do estudo do calor em uma secadora artesanal de alimentos.

### **Objetivos Específicos**

Ao final da aula os estudantes deverão estar aptos a:

- Descrever o funcionamento de uma secadora artesanal de alimento (anexo 1), por meio da aplicação do estudo do calor;
- Justificar o porquê de cada tipo de material usado na fabricação da uma secadora (metal, vidro, tela de plástico, e etc.);
- Indicar a melhor posição para colocar a secadora ao sol e obter uma secagem eficaz dos alimentos.

### **Procedimentos de Ensino**

- Discussão em grupo

### **Recursos Didáticos**

- Secadora artesanal de alimentos

### **Avaliação a ser realizada pelo professor**

- Como instrumento de avaliação será considerado o envolvimento dos estudantes, para as perguntas elaboradas pelo professor.

### **Referências**

Encontram-se no final deste produto.

## **UNIDADE 3**

### **AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA FINAL**

#### **3.1 APLIAÇÃO DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA FINAL (ADF)**

Esta aula é destinada à aplicação de uma avaliação diagnóstica, composta das mesmas seis questões da Avaliação Diagnóstica Inicial (apêndice 9) com os seguintes objetivos:

1) Verificar a assimilação dos conceito de temperatura, calor, equilíbrio térmico e das formas de propagação da energia sob a forma de calor;

2) Verificar a ocorrência da aprendizagem significativa pela aplicação dos conceitos abordados em sala de aula (na questão 6) na idealização de uma secadora de frutas.

Para responder às questões dessa avaliação os sujeitos deverão dispor de uma aula de 45 minutos. .

Os sujeitos devem ser orientados de que as questões que porventura eles não souberem responder, deixá-las em branco para facilitar a posterior análise desse instrumento de coleta de dados.

## APÊNDICE 1

### AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA INICIAL

Nome: \_\_\_\_\_

1 - Toda matéria é composta por pequenas partículas que ao serem agrupadas formam as moléculas. Essas moléculas possuem a capacidade de vibração em torno de seu próprio eixo, com maior ou menor intensidade. Essa vibração, dependendo da forma de organização da estrutura da matéria, classifica a matéria em sólida, líquida e gasosa.

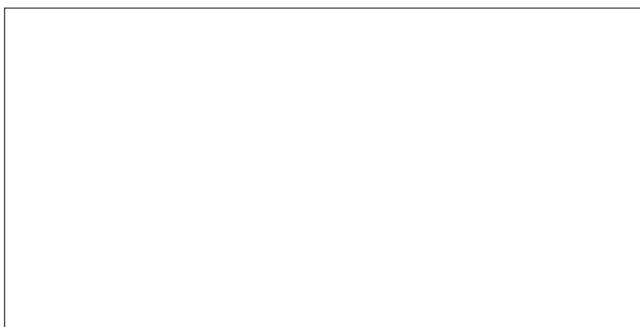
Para cada um dos estados de agregação da matéria apresentado abaixo, desenvolva a seguinte atividade:

- descreva (fazendo uso de um desenho) a forma como as partículas estão organizadas;
- descreva as principais características da matéria em cada uma das fases:

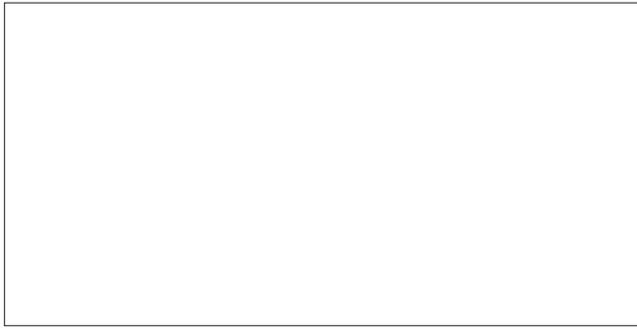
Sólido:



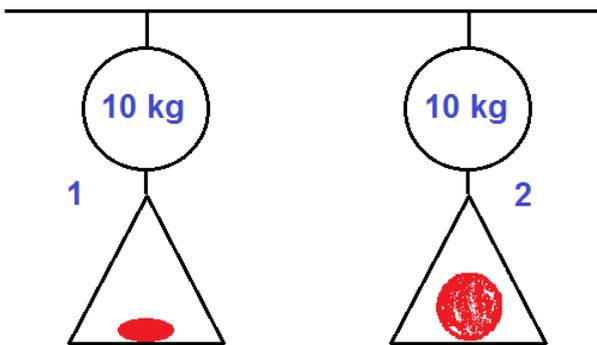
Líquido:



Gasoso:



2 – Observe as figura 1 e 2 abaixo. Massas de uma substância estão colocadas sobre os pratos de duas balanças.



Por meio de um texto, diga qual a relação existente entre as massas, os volumes e as densidades da substância na primeira e na segunda situação.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3 – Em embalagens alimentícias é comum encontrar, nas especificações do produto, a sua densidade. Em determinadas circunstâncias verifica-se que essa embalagem pode ficar deformada (estufada).

Elabore um texto apontando o que ocorreu com a massa, o volume e a densidade do produto resultando do processo em que a embalagem ficou estufada.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4 – Durante a preparação de uma geleia faz-se necessário verificar a sua temperatura para que o processo seja bem sucedido, usando para tal um instrumento denominado termômetro espeto, específica para a indústria alimentícia.

Desta forma, responda às questões abaixo:

- a) Demonstre de que maneira a vibração das partículas que constituem uma substância influencia na temperatura da mesma?

---

---

---

---

---

---

---

Descreva o que ocorreu com a massa, o volume e a densidade da geleia quando foi alterado o valor da sua temperatura, por exemplo, de 30°C para 100°, que é o ponto médio de preparação da mesma?

---

---

---

---

---

---

b) Qual a relação existente entre a intensidade de vibração das partículas do mercúrio, que estão dentro do bulbo do termômetro, com as moléculas que constituem a geleia, após o contato desse instrumento com a mesma, para que possa indicar sua temperatura.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

5- Para aquecer certa quantidade de água para preparar um café, por exemplo, coloca-se esta água em um recipiente que é levado à chama do fogão. Isso resulta no aumento da temperatura do líquido que está dentro do recipiente, ou seja, provocando seu aquecimento.

a) Durante o processo de aquecimento da água evidenciamos a formação de bolhas que se inicia no fundo do recipiente e sobe para a superfície do líquido, originando uma “troca” de posição entre as moléculas de água. Elabore um texto explicativo para o processo, buscando demonstrar o que ocorreu com o volume e densidade das moléculas de água devido ao aumento da sua intensidade de agitação e o que provocou esse aumento.

---

---

---

---

b) O processo acima pode ser explicado pelo termo Calor. Desta forma descreva o que é calor.

---

---

---

c) Descreva as formas de propagação do calor?

---

---

---

---

6 – Com a finalidade de evitar que um alimento possa deteriorar com maior rapidez, utiliza-se técnicas para prolongar o seu tempo de vida útil. Um desses métodos consiste em retirar a água contida no mesmo, promovendo a sua secagem e assim evitando o desenvolvimento de micro-organismos que facilitam a sua perda. Uma forma de realizar esse processo é utilizando a energia do sol para desencadear outros processos de transferência de energia na forma de calor. Proponha a construção detalhada de um equipamento simples para realizar o processo de secagem de frutas, levando em consideração os conceitos de densidade, volume, temperatura, calor e as formas de propagação do calor.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

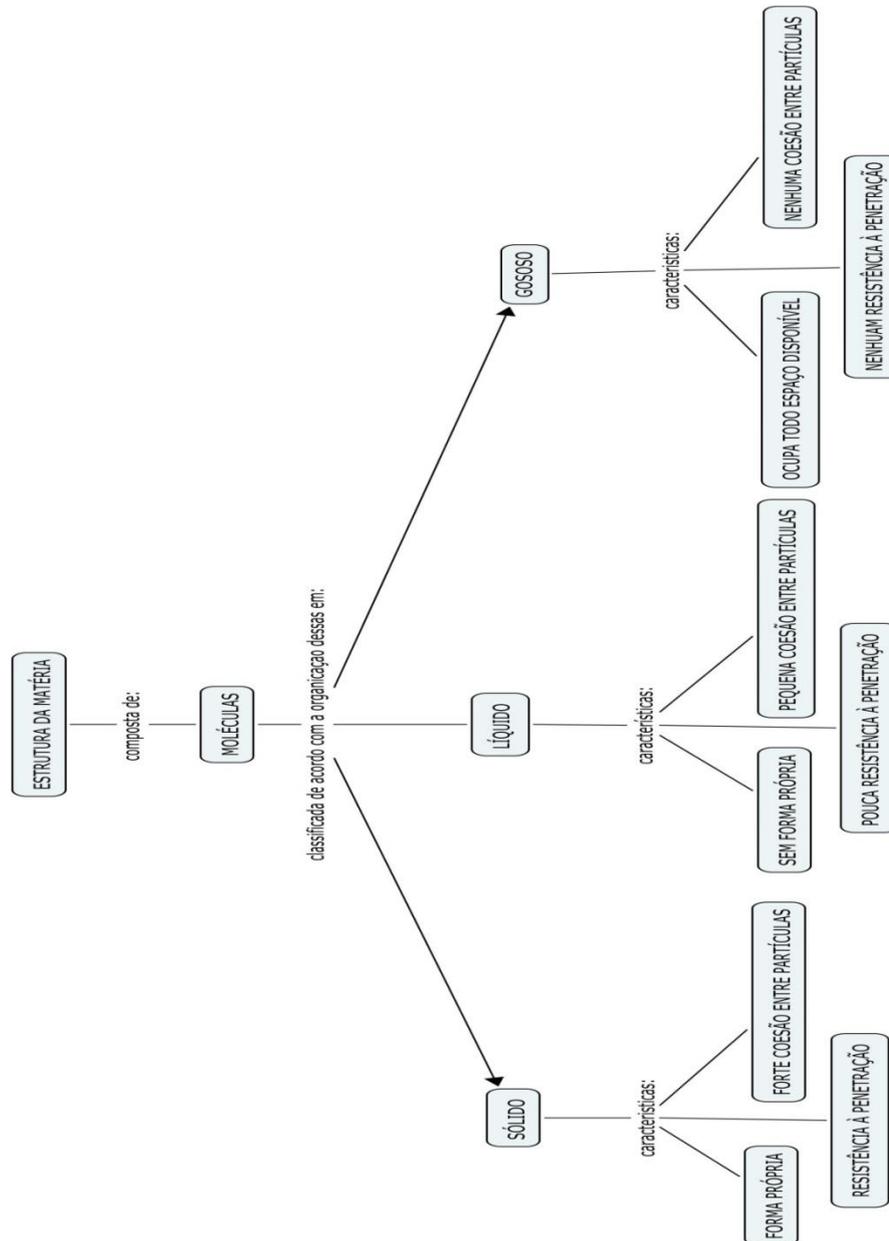
---

---

---

# APÊNDICE 3

## MAPA CONCEITUAL DE ESTRUTURA DA MATÉRIA



## APÊNDICE 4

### HISTÓRIA DO CONCEITO DE TEMPERATURA E CALOR

Assim como temos uma história de vida, a Física também tem a sua, pois é uma ciência que passou por um processo evolutivo com o passar dos tempos. O que conhecemos atualmente faz parte de uma longa transformação/construção que basicamente começou com os grandes pensadores da história antiga, que tentaram explicar a natureza e os fenômenos que a envolviam. Esses conhecimentos foram sendo aprimorados cada vez mais, principalmente entre os séculos XVI e XIX (CINDRA E TEIXEIRA, 2004).

A forma de se fazer ciência passou por grandes mudanças no século XVIII, o chamado “século da razão”, época em que foi estabelecida a necessidade de se definir uma sistematização das observações e de se comunicarem as ideias adquiridas.

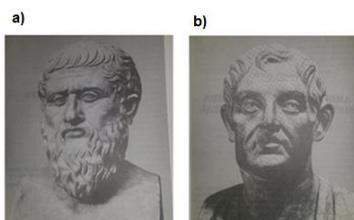
Essas mudanças possivelmente foram advindas das necessidades criadas pela revolução industrial, com a busca crescente de combustíveis para o funcionamento das indústrias (SILVA, FORATO E GOMES, 2013).

Atualmente, com a possibilidade de pesquisas em laboratórios, esses fenômenos possuem explicações cada vez mais apuradas e consistentes.

O conceito de calor e temperatura, assim como todos os demais conceitos físicos que são abordados no Ensino Médio, evoluiu com o desenrolar da história.

Grupos de pensadores como Aristóteles (figura 1a), Platão (figura 1b) e mais tarde Galileu e Newton, dentre tantos outros, cada qual na sua época, procuraram definir cada uma dessas grandezas de acordo com as experiências vividas em seu tempo, com os pensamentos e conhecimentos que possuíam e de acordo com os acontecimentos da sociedade da época.

Assim, a partir do próximo tópico, será feita uma abordagem histórica.



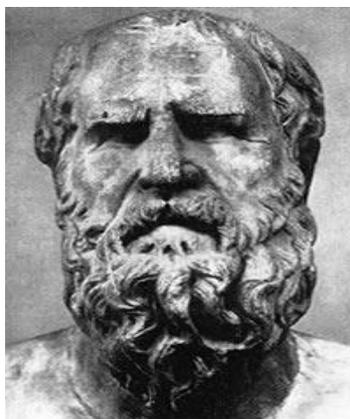
**Figura 1-** (a) Platão e (b) Aristóteles – Fonte: (REALE e ANTISERI, 1990).

## 1.1 O CONCEITO DE CALOR

Dentre todos os conceitos elaborados pela ciência, talvez o calor tenha sido um dos mais difíceis de ser estabelecido e também um dos mais complexos para se ensinar (SILVA, LABURÚ e NARDI 2008). Foram muitos os estudos com relação a este tema para que se pudesse chegar ao conceito atual de calor.

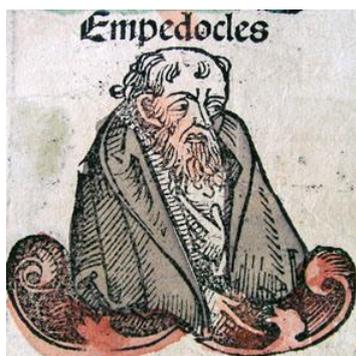
A tentativa de explicar os fenômenos térmicos é bem antiga. Desde o ano 600 a.C. já existia uma preocupação com o conceito de calor, e posteriormente com o de temperatura. Segundo Bassalo (1991), Teodoros (VI a.C.), ele teria construído um sistema de aquecimento central no templo de Diana, em Éfeso, utilizando a expansão do ar quente. Nessa época, o conceito de calor estava associado ao de um corpo quente.

Essa evolução teve início a partir do entendimento de Heráclito de Éfeso (figura 2), filósofo pré-socrático da escola de Mileto, que viveu entre os séculos VI e V a.C. Para ele, o fogo consistia na origem de tudo o que existia e também era considerado como principal fator para explicação do movimento. Para Heráclito, o mundo estaria em constante transformação, como algo dinâmico. Ele analisava o fogo como sendo o responsável pelas transformações do universo (BRITO, 2008).



**Figura 2-** Heráclito de Éfeso - FONTE: [www.brasilecola.com/filosofia](http://www.brasilecola.com/filosofia).

Empédocles (figura 3), filósofo, médico, professor e profeta que viveu durante o século V a.C, fez uma associação do calor e do fogo, por meio de um esquema explicativo. Para ele, todas as coisas eram constituídas dos quatro elementos essenciais relacionados ao estado físico da matéria. Esses elementos primordiais eram: água (líquido), ar (gás), terra (sólido) e fogo (energia), considerados imutáveis e indestrutíveis (GOMES, 2013).



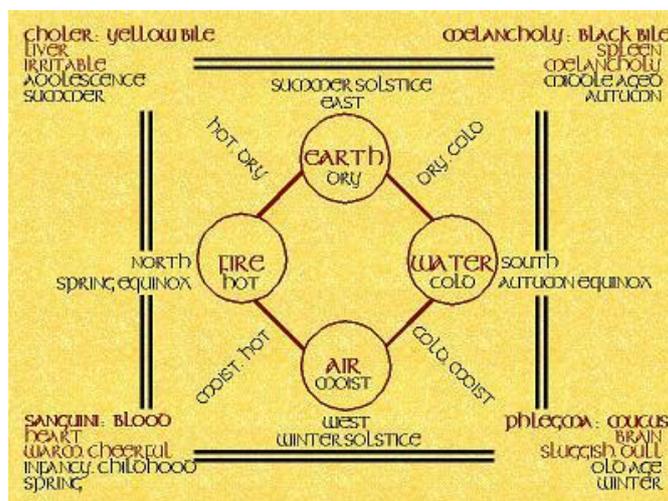
**Figura 3** - Empédocles - [www.projeto-phronesis.com](http://www.projeto-phronesis.com). (Acesso em 02/08/2014).

Mais tarde, usando o mesmo esquema (figura 4), Aristóteles, filósofo grego, aluno de Platão e professor de Alexandre, o Grande, propõe a constituição de pares opostos com esses elementos, associando-os da seguinte forma: a) Terra e Fogo (seco); Fogo e Ar (quente); Ar e Água (úmido) e Água e Terra (frio), (SOUZA E JUSTI, 2012).

Para Aristóteles, os elementos possuíam um movimento natural: Terra e água para baixo e Fogo e Ar para cima. Esse filósofo, ao contrário de Empédocles, preocupava-se com a causa dos fenômenos (GOMES, 2013).

Durante esse mesmo período, os chamados atomistas entendiam que tudo que havia na natureza era formado por pequenos átomos, e que, de acordo com as suas combinações, formavam todo tipo de matéria.

Segundo eles, o calor seria proveniente do movimento de certos átomos nos espaços vazios existentes entre os átomos que formavam a matéria, o que era fortemente criticado por Aristóteles (GOMES, 2013).



**Figura 4**- Os quatro elementos de Aristóteles - [www.projeto-phronesis.com](http://www.projeto-phronesis.com). Acesso (02/08/2012)

Platão, filósofo e matemático grego, juntamente com Aristóteles, que viveram entre os séculos V e IV a.C, formularam explicações consideradas um pouco mais elaboradas para o conceito de calor e temperatura. Para eles, as partículas de um corpo entravam em movimento quando o fogo penetrava neste, fazendo com que elas se separassem. Dessa forma, se houvesse um afastamento do fogo, o resfriamento e o novo ar que entrasse no seu lugar gerariam uma compressão das partículas (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Coube a Aristóteles acrescentar ao conjunto dos quatro elementos de Heráclito de Éfeso um quinto elemento, o éter, uma substância que se pensava como sendo constituinte de todos os corpos e que, ao entrar em movimento, produzia calor.

O entendimento de calor naquela época era ainda muito elementar, porém já existia certa necessidade de se estabelecer a diferença entre calor e fogo, apesar de já haver a reflexão de que o calor exercia certo efeito sobre o movimento das partículas de um corpo (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

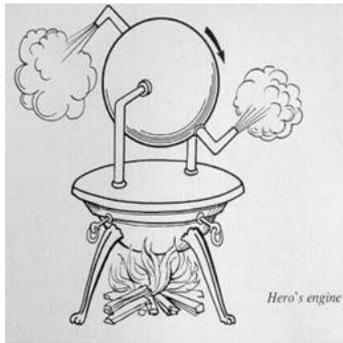
Aristóteles estabeleceu ainda que o frio e o quente eram qualidades contrárias que um corpo possuía, o que para Platão não podia ser considerado como entidades absolutamente contrárias (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Surgiu, no século II a.C., Heron de Alexandria, com a construção de uma “máquina” que recebeu o nome de aeolípia, procurando explicar que não existia o “tal vácuo”, como acreditavam os atomistas. A aeolípia (figura 5) consistia em um caldeirão tampado (onde a água era aquecida) e uma esfera (oca) constituída de dois canos encurvados ocupando posições opostas.

Quando aquecida, a água que se encontrava no caldeirão entrava em ebulição e o vapor passava para a esfera por tubos ligados a esta, fazendo-a girar em um eixo do pivô, com a saída do vapor pelos canos encurvados.

Com essa demonstração Heron mostraria que ao gerar movimento os elementos teriam que passar por uma associação, sendo que os espaços vazios estariam preenchidos por pequenas quantidades de elementos.

Com esse experimento, Heron teria sugerido uma forma de “abrir portas”, que ficou conhecido com “Portões de Alexandria” (GOMES, 2013).



**Figura 5** - Aeolípia de Heron de Alexandria – FONTE: [www.wbraga.usuarios.rdc.puc.rio.br](http://www.wbraga.usuarios.rdc.puc.rio.br) – Acesso (27/06/2014)

Pensamentos como esses perduraram, com pequenas modificações, até o século XVII (fim do renascimento).

Foi no século XVIII que o filósofo inglês Roger Bacon propôs a ideia do calor como um movimento das partes dos corpos, porém Galileu considerava o calor como sendo uma espécie de fluido. Segundo o que se deduz da obra *O Ensaiador*, de 1623, Galileu acreditava que o calor pudesse ser produzido pelo atrito entre dois corpos, como uma espécie de fluxo de corpúsculos de fogo com capacidade de moverem-se a grandes velocidades e que, ao penetrarem nos corpos, seriam capazes de produzir a sensação de quente e frio (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Para Pierre Gassendi (cientista e matemático francês), existiam duas matérias térmicas distintas: uma capaz de produzir o calor, na época entendido como corpo quente, e a outra capaz de produzir o frio, tal como foi sugerido por Lucrécio, no século I a.C., em sua obra *De Rerum Natura*: o calor está no Sol e o frio nos rios.

Francis Bacon dedicou-se ao estudo do calor, considerando-o não como um movimento de expansão, mas como um movimento vibratório das partículas de um corpo. Assim também pensava Robert Boyle, que considerava o calor como um estado de movimento das partículas (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Daniel Bernoulli, em sua obra *Hydrodynamica*, de 1738, aceitava o calor como sendo um movimento de partículas, no que era seguido por Leonhard Euler.

Isaac Newton (1642-1727) considerava o calor como sendo uma oscilação do éter, que partiria dos corpos celestes para penetrar em outros corpos.

Não é o calor transmitido através do vácuo pelas vibrações de um meio muito mais sutil do que o ar que, depois que o ar é retirado, permanecia vácuo? E não é este meio o mesmo que aquele pelo qual a luz é refratada e refletida e através de cujas vibrações a luz comunica calor aos corpos, e é facilmente

refletida e facilmente transmitida? (...) E os corpos quente não comunicam seu calor aos corpos contíguos frios pela vibração desse meio propagadas nos meios frios? E não é esse meio mais rarefeito e mais sutil que o ar, e extremamente mais elástico e ativo? (NEWTON, apud CINDRA E TEIXEIRA. 2004 p. 183).

## 1.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O EQUILÍBRIO TÉRMICO

A concepção de que as quantidades de calor demandadas para aumentar o calor de diferentes corpos no mesmo número de graus seriam diretamente proporcionais à quantidade de matéria de cada uma deles foi o pensamento do físico-químico escocês Joseph Black (1728-1799), até meados do século XVIII. Ele considerava que, quando os corpos eram de mesmo tamanho, as quantidades de calor seriam proporcionais às suas densidades (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Uma discussão importante ocorreu na primeira metade do século XVIII, para os cientistas que trabalhavam com os fenômenos térmicos. A questão seria quanto ao equilíbrio térmico resultante da mistura de água quente e fria. No tocante a quantidades iguais, a temperatura de equilíbrio térmico seria facilmente calculada pela média aritmética das temperaturas das duas quantidades de água da mistura. O problema surgiria quando a mistura dessas águas se desse em quantidades diferentes. O que fazer para calcular o equilíbrio térmico? (BASSALO, 1992).

Para tentar resolver a questão, o médico Hermann Boerhaave, no início do século XVIII, fez uma proposta para o físico Daniel Fahrenheit para que fosse feita uma experiência a respeito do assunto. Constatou-se então, por meio de misturas de diferentes quantidades de água e/ou água e mercúrio, que a temperatura de equilíbrio não mais seria a média aritmética das temperaturas das substâncias. Boerhaave explicou esse resultado dizendo que o calor se distribuía pelo volume da substância, e não pela sua massa, propondo, inclusive, fórmulas para esses cálculos, que não foram, contudo, suficientes para explicar os dados experimentais (BASSALO, 1992).

Foi Black (1728-1799) que, a partir do ano de 1760, percebeu que os entendimentos anteriores com relação ao calor estavam errados, ao observar que à mesma temperatura um bloco de ferro parece mais quente que um de madeira, sendo ambos do mesmo volume. Para ele, o ferro tinha uma capacidade maior para armazenar calor em relação à madeira (BASSALO, 1992).

Black entendia que o calor era uma espécie de fluido, que podia passar de um corpo para outro. Para ele, para se conseguir o equilíbrio térmico, ou seja, para se aumentar a temperatura de dois corpos em um mesmo número de graus, a quantidade de calor que cada corpo deveria receber não estaria ligada à quantidade de matéria de cada um, nem ao volume de cada um, e sim a uma proporção diferente dessa matéria. Mas ele ainda não conseguia estabelecer, no caso, que proporção estaria envolvida (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Para Black, essa proporção estaria relacionada com a “afinidade para receber o calor”, “faculdade de receber calor” ou “apetite para o calor” (BASSALO, 1992).

Essa proporção da quantidade de calor recebida por diferentes quantidades de diferentes substâncias foi proposta por Johan Gadolin ao introduzir, em 1784, o conceito de calor específico pela equação  $c=Q/m\Delta t$ , (calor específico é igual à razão entre a quantidade de calor fornecida ao corpo e o produto entre a massa e a variação de temperatura), quando foi possível estudar o calor específico de diversas substâncias (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Black teve um papel também importante na determinação do conceito de calor latente de fusão e ebulição da água, ao verificar que o calor poderia ser adicionado a uma mistura de água e gelo sem que houvesse um aumento da temperatura de ambos. Descobriu também que para transformar a água em vapor seria necessária uma quantidade de calor latente maior do que para transformar água em gelo (BASSALO, 1992).

Em conjunto, Black e James Watt (1736-1819) determinaram que a mesma quantidade de calor requerida para transformar a água em vapor também se fazia necessária para transformar a mesma quantidade de vapor em água. Dessa forma, surgia a ideia de “conservação de energia” (BASSALO, 1992).

Ao final do século XVIII, Lavoisier (1743-1794) e Laplace (1749-1827) construíram o calorímetro de gelo e conseguiram medir o calor específico de várias substâncias. Foi este último que introduziu o termo calórico para descrever uma suposta substância responsável pelos fenômenos térmicos. Ele aceitava, portanto, a ideia de calor como sendo um fluido. Assim, o calórico foi descrito por Roller (1950) e apresentado por Castro (1993, p. 43-44), por meio de cinco postulados básicos:

O calórico é um fluido elástico e auto-repulsivo; [...] As partículas do calórico são atraídas pelas partículas da matéria comum; [...] O calórico é indestrutível e não pode ser criado; [...] O calórico pode ser sensível ou latente; [...] O calórico não tem peso apreciável. (CINDRA e TEIXEIRA, 2004, p. 184).

Nesse mesmo período, entendia-se por equilíbrio térmico uma distribuição do calórico de acordo com o calor específico do corpo.

Foi no final do século XVIII e começo do século XIX que teve realmente início uma busca pela natureza do calor, com a afirmação de que ele não poderia ser considerado uma substância. A ideia foi apresentada pelo engenheiro norte-americano Benjamin Thompson, no ano de 1798, ao fazer inspeção em uma fábrica de canhões de bronze. Também chamado de Conde de Rumford, ele observou que os blocos utilizados para a fabricação dos canhões ficavam incandescentes à medida que eram perfurados pela broca, e que, mesmo a broca estando sem o fio, o bronze continuava a aquecer. Para ele, o calor que era liberado durante a perfuração dos canhões não estaria ligado ao calórico, mas ao trabalho executado pela broca sobre os canhões. Benjamin Thompson concluiu que o responsável pela geração do calor seria o atrito. Para que seu pensamento fosse confirmado, ele fez a perfuração de um canhão submerso em água, utilizando uma parelha de cavalos atrelados ao eixo da broca, o que fez com que a água fervesse durante os trabalhos. Dessa forma, ele estabeleceu que o trabalho poderia ser convertido em calor e vice-versa. Foi dessa forma que o conceito de calor como energia foi introduzido (MARQUEZ, 2009).

A ideia do calórico foi realmente abandonada com experimentos realizados pelo físico inglês James Prescott Joule, entre os anos de 1840 e 1849, quando realizou medições com grande precisão sobre a equivalência mecânica do calor. O calor passou, então, a ser considerado como uma forma de energia semelhante à que é aceita na comunidade científica atualmente. O físico inglês estabeleceu a equivalência entre calor e trabalho mecânico como sendo duas formas de energia, com uma demonstração de conversão de energia mecânica em calor em que uma determinada quantidade de energia correspondia à mesma quantidade de calor (MARQUEZ, 2009).

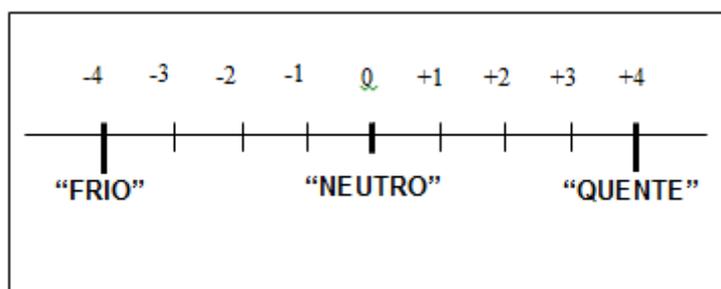
### 1.3 TEMPERATURA

Com relação ao conceito de temperatura, a necessidade de se estabelecer uma representação para a intensidade de quente e frio é também bastante antiga. As primeiras contribuições para a construção de um aparelho capaz de medir a temperatura,

encontradas nos escritos de Heron de Alexandria, datam do século I d.C. Neles, Heron descreve um invento que foi chamado de “fonte que goteja ao sol”, um aparato baseado na dilatação dos líquidos e utilizado como base para a construção dos primeiros termoscópios, aparelhos que indicavam a temperatura sem uma escala definida (PRANDEL, 2005).

O Termoscópio, assim como foi chamado, era constituído de um bulbo que continha um tubo longo com uma das extremidades mergulhada em um líquido. Esse líquido era geralmente água ou álcool. Posteriormente foi usado o vinho, pois este tornava mais fácil a leitura, devido à sua cor. Antes de colocar o líquido no tubo, retirava-se dele uma quantidade de ar, o que permitia que o líquido. Ao ser aquecido, o ar do bulbo e do tubo tinha o seu nível alterado, marcando a variação na temperatura do ar (PIRES, et al, 2006) .

Uma primeira tentativa de representação em escala (fig. 6) de graus numéricos do calor e do frio foi estabelecida pelo médico Galeno (129-200), em que ele considerou que as sensações de quente e frio estariam associadas a uma escala com quatro divisões para o frio e quatro para o quente. O “calor neutro” foi associado ao ponto zero, correspondente à mistura de água fervendo e gelo. Para o ponto mais “frio”, ele atribuiu “-4 “ graus e para o mais “quente”, “+4graus”.



**Figura 6** - Escalas de Temperatura propostas por Galeno. FONTE: (PRANDEL, 2005, p.13).

Foi bem mais tarde, entre os séculos XI e XII, que esse trabalho foi retomado e a palavra mistura de calor foi interpretada pelo termo “tempera”, ou seja, temperatura, porém com o sentido que entendemos nos dias de hoje (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Uma escala também foi estabelecida pelo médico Harme de Berna, no século XV, de acordo com a latitude terrestre. Ele atribuiu “4 graus de frio” aos polos e “4 graus quentes” ao equador.

Por meio dessa escala, era fácil estabelecer a mistura de drogas a ministrar ao paciente, de acordo com o local da Terra onde este se encontrava (PRANDEL, 2005).

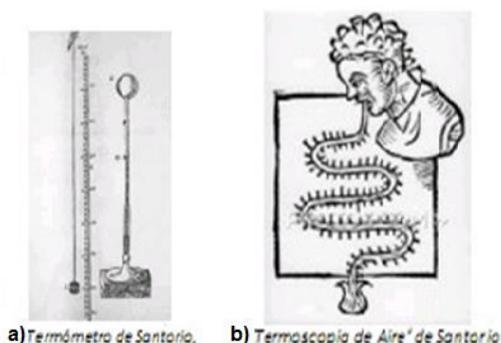
A definição de temperatura só foi possível a partir do momento em que foram sendo construídos termômetros cada vez mais precisos, o que possibilitou uma melhor compreensão de vários aspectos, tais como: pressão e volume, relacionados às propriedades térmicas dos materiais (PRANDEL, 2005).

É comum evidenciarmos na descrição dos tópicos de temperatura, em livros didáticos, a atribuição de inventor do primeiro termômetro de escalas a Galileu. O que ele criou, entretanto, foi na verdade um termoscópio, pois não associava a posição líquida a uma escala numérica (PRANDEL, 2005).

A construção dos termômetros baseou-se na condição de que esse instrumento deveria entrar em equilíbrio térmico com o corpo cuja temperatura desejava-se medir. Essa possibilidade ocorreu com o desenvolvimento da calorimetria, em meados do século XVIII. Naquela época, foi proposta a condição de equilíbrio térmico, usando diferentes corpos comparados com um corpo de prova, que, no caso, seria o termômetro. Para isso, foi necessário um melhor entendimento do que era capacidade calorífica dos corpos, aquelas relacionadas à capacidade térmica e ao calor específico (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Em Roma, no ano 1611, Bartolomeu Telioux propôs um Termoscópio dotado de uma escala. Por não possuir conhecimentos físicos necessários que envolviam as propriedades termométricas, como pressão e volume, o aparelho não pode ser considerado um termômetro.

Por isso, atribui-se o invento do primeiro termômetro (figura 7a), em 1612, ao médico italiano Santorio Santorre. Que desenvolveu um Termoscópio (figura 7b) a ar, equipado com uma escala para leitura de temperatura, considerado como o verdadeiro termômetro (PRANDEL, 2005).



**Figura 7** - (a) Termômetro de Santorio Santorre (b) Termoscópio de ar de Santorio Santorre: [www.portalesmedicos.com/publicaciones](http://www.portalesmedicos.com/publicaciones) – (28/06/2014).

Mais tarde, entre 1644 e 1660, Evangelista Torricelli descobria que o termômetro a ar avaliava não somente a variação de temperatura, mas também a variação de pressão, e que existia uma determinada proporção entre essas duas grandezas. Essa proporção entre temperatura e pressão foi confirmada, um pouco mais tarde, pela equação dos estados dos gases ideais (PRANDEL, 2005).

Dessa época em diante, outros termômetros foram construídos, com técnicas mais avançadas, o que contribuiu para o entendimento e a diferenciação entre calor e temperatura. O conceito de temperatura foi inicialmente concebido como graus de calor, e quando um corpo fornecia o calor ao termômetro, provocava uma variação na coluna termométrica. Isso levou à visão de que temperatura e calor fossem pelo menos proporcionais entre si.

Todo esse impasse começou a ser solucionado com o advento da calorimetria, em meados do século XVIII, quando foram desenvolvidos instrumentos para medir o calor, denominados de calorímetros (BASSALO, 1992). Foi nessa época que se utilizou um corpo de prova que pudesse entrar em equilíbrio térmico com outros corpos. Esse corpo de prova seria o termômetro (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

A condição de equilíbrio térmico foi utilizada na comparação da temperatura de diferentes corpos com um corpo de prova, que seria o termômetro (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

Todas as questões que envolviam calor e temperatura foram resolvidas por volta de 1760, por Black, por meio de experiências minuciosas. A conclusão a que se chegou à época foi: o calor distribuído sobre diferentes corpos não está relacionado às suas respectivas densidades; O calor não se distribui uniformemente em todo o volume ocupado por diferentes corpos; Ocorrendo o equilíbrio térmico, pode-se dizer que a grandeza comum a todos os pontos ocupados por diferentes corpos é a temperatura (CINDRA e TEIXEIRA, 2004).

A difusão/popularização do uso do termômetro proporcionou a elaboração de uma grande quantidade de escalas termométricas a partir da definição de dois pontos fixos: o de fusão do gelo e o da ebulição da água.

A primeira escala aceita universalmente foi proposta por Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736) em 1724. Ele definiu o ponto de temperatura mais baixa que conseguiu como sendo 32 graus, e a do corpo humano como 90 graus, que mais tarde

foi corrigida para 96, que seria múltiplo de 32. Devido a sua respeitabilidade, essa escala é ainda usada atualmente nos países de língua inglesa (PRANDEL, 2005).

Podemos dizer que a escala que se estabeleceu em nível de importância, após a de Fahrenheit, foi a de Anders Celsius (1701-1744), no ano de 1741, que utilizou os pontos fixos de fusão do gelo e ebulição da água. Nessa escala, Celsius associou o número zero ao ponto de ebulição da água e 100 para a fusão do gelo. Em 1747, porém, essa escala foi invertida. Por ser dividida em 100 partes iguais, foi denominada de escala “centígrada”, e em 1948 ela foi denominada de escala Celsius de temperatura. Por sua simplicidade, é usada em todos os países, inclusive no Brasil, não sendo oficial apenas nos países de língua inglesa (PRANDEL, 2005).

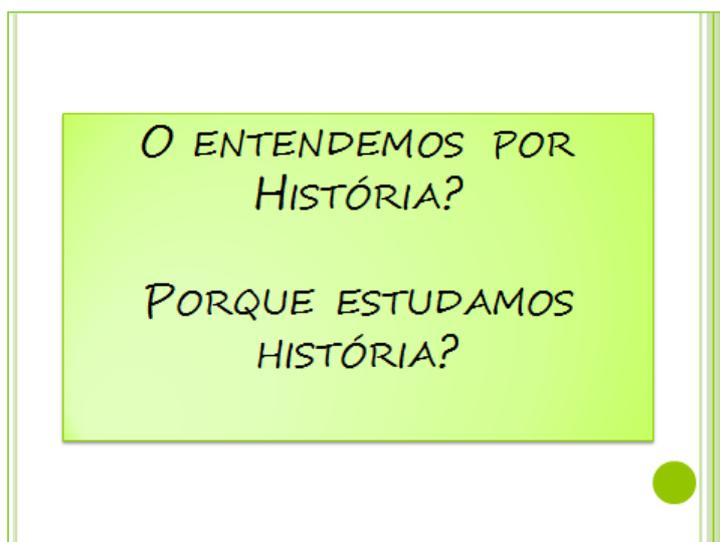
Várias escalas foram sendo construídas ao longo do tempo, mas foi Lorde Kelvin, em 1848, que desenvolveu a escala termodinâmica de temperaturas absolutas. Ele utilizou medições independentes do material termométrico, a partir das informações da eficiência térmica do ciclo de Carnot para as máquinas térmicas, em que as transformações dependiam da diferença de temperatura entre a fonte quente (caldeira) e a fonte fria (condensador). Assim, Kelvin poderia definir sua escala pela relação entre essas duas temperaturas absolutas. Para a definição do tamanho da unidade de sua escala, Kelvin adotou o mesmo princípio da escala Celsius, em que, para sua escala, escolheu o zero absoluto ao correspondente de  $-273^{\circ}\text{C}$ . O zero absoluto da escala de Kelvin seria atingido quando a energia cinética das moléculas se anulava. Ela foi concluída em 1856. Por ser muito conveniente ao estudo da Termodinâmica, a escala de temperatura absoluta de Kelvin obteve boa aceitação (BASSALO, 1991).

Considerando-se a evolução dos termômetros, podemos dizer que medir a temperatura com exatidão e precisão, atualmente, é algo muito comum. Os modernos termômetros utilizados nos vários setores da sociedade: na medicina, nos laboratórios, no uso doméstico e na indústria alimentícia, que usam a dilatação térmica, pressão etc., têm condições de fornecer a real temperatura de um corpo ou substância.

Como definição de temperatura, admite-se que:

A temperatura em um sólido está associada à energia de vibração das partículas. Além de um forte sentido microscópico, estados diferentes de temperatura podem significar estados diferentes de matéria observados macroscopicamente – sólido, líquido e gasoso (KAPP e KAPP, 2010, p. 4).

APÊNDICE 5  
SLIDES DAS AULAS ABORDANDO A HISTÓRIA DO CALOR



## EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS RELACIONADOS À CALORIMETRIA: CALOR

### SENSAÇÕES TÉRMICAS

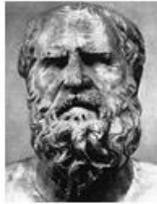
#### HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- o 600 a.C os pensadores já tentavam descrever esses fenômenos térmicos e que nessa época o conceito de calor estava associado a um corpo quente.



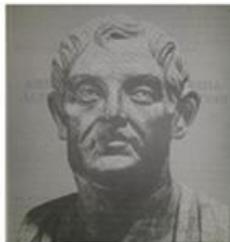
## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- o **Heráclito de Éfeso**: o fogo consistia a origem de tudo que existia e também era considerado como principal fator para explicação do movimento. De acordo com ele o mundo estaria em constante transformação. O fogo representava a causa das transformações do universo.

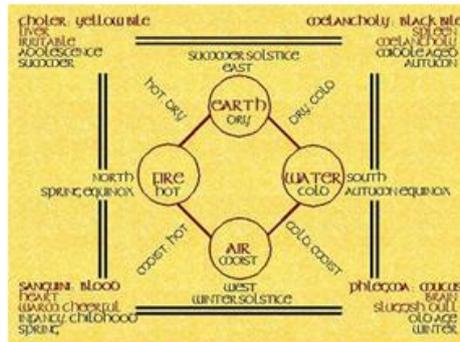


## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- o **Aristóteles**: fez uma associação desses elementos da seguinte forma: Terra e Fogo (seco); Fogo e Ar (quente); Ar e Água (úmido) e Água e Terra (frio), com um movimento natural de terra e água para baixo e fogo e ar para cima.



## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR OS QUATRO ELEMENTOS DE ARISTÓTELES



## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR OS QUATRO ELEMENTOS DE ARISTÓTELES

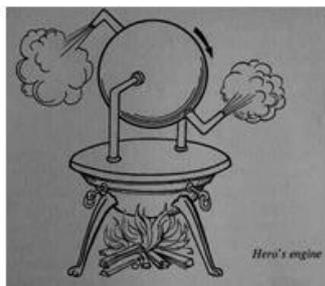


## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- o **Atomistas** (como Leucipo e Demócrito), tudo que havia na natureza era formado por pequenos átomos. O calor seria proveniente do movimento de certos átomos nos espaços vazios existente e
- o **Platão e Aristóteles** entre os séculos V e IV a.C., acreditavam que as partículas de um corpo entravam em movimento quando o fogo penetrava neste e ao ser afastado ocorria um resfriamento.
- o **Aristóteles** acrescentou um quinto elemento: o éter e que se pensava que ao entrar em movimento, produzia calor.

## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- Foi no século II a.C que **Heron de Alexandria** construiu uma máquina (aeolípia) para explicar que não existia o espaço vazio proposto pelos atomistas.



## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- Somente por volta do **século XVIII** que começaram a ocorrer **mudanças** com relação ao **conceito de calor**
- **Roger Bacon** acreditava na ideia de calor como sendo um movimento das partes de um corpo.
- Galileu, considerou o calor como uma **espécie de fluido**. Para ele o calor poderia ser produzido pelo atrito entre dois corpos como uma espécie de fluxo de pequenas quantidades de fogo, com capacidade de mover-se a grandes velocidades que ao penetrar nos corpos produzia a sensação de quente e de frio, semelhante ao pensamento de Aristóteles.

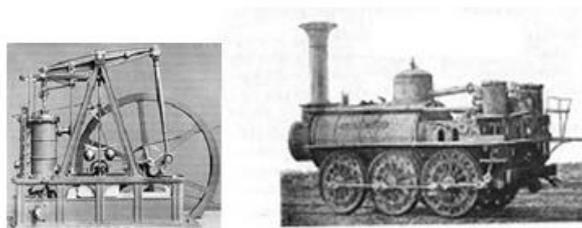
## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- **Francis Bacon** considerava o calor como sendo um movimento vibratório das partículas de um corpo.
- Para **Robert Boyle**, o calor seria um estado de movimento das partículas.
- **Isaac Newton** propôs que o calor seria uma oscilação do éter, que partiria dos corpos celestes e penetrava em outros corpos.

## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- Uma das prováveis causas do desenvolvimento mais aprofundado para o estudo do calor foi no séc. XVIII com a **revolução industrial**. Nessa época foram criadas máquinas com o objetivo de poupar o tempo do trabalho humano.
- Uma dessas máquinas é a **Máquina à Vapor**, que fez uso do calor para produzir movimento. Desta forma foram aprofundados os estudos a respeito desse conceito.

## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR



## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- Para dar sequência ao estudo do calor foram necessárias considerações sobre outro conceito denominado **equilíbrio térmico**.
- Em um primeiro momento foi considerado que para aumentar o calor de diferentes corpos no mesmo número de graus, deveria ser diretamente proporcional à quantidade de matéria de cada um deles, como por exemplo, para aumentar em dois graus a temperatura de um bloco de 1 Kg de cobre e outro de 1 Kg de zinco era necessário fornecer a mesma quantidade de energia.

### HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- Neste sentido o médico **Hermann**, no início do século XVIII fez uma proposta ao físico **Daniel Fahrenheit**, para resolver essa questão de que o equilíbrio térmico não estaria relacionado somente às quantidades de massas das misturas.
- Como agora a temperatura de equilíbrio não seria mais, a média aritmética das duas temperaturas, pois as quantidades de água seriam diferentes, ou seja, que haveria algo mais a ser considerado.
- **Hermann** explicou esse resultado dizendo que a energia na forma de calor se distribuía pelo volume da substância e não pela sua massa, pois nesse caso a temperatura de equilíbrio não poderia ser calculada como anteriormente já que as massas eram diferentes.

### HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- Em 1760, **Black** entendeu que o calor constituía-se de uma espécie de **fluido** que podia passar de um corpo para outro, tal como **Galileu**.
- Ele entendeu que o equilíbrio térmico, não estaria ligado à quantidade de matéria de cada corpo, nem aos seus volumes e sim a uma proporção diferente dessas, mas que ainda não foi possível estabelecer a proporção envolvida.
- Com base nos estudos anteriores sobre equilíbrio térmico, esta proporção somente foi estabelecida por **Johan Gadolin** quando introduziu o **conceito de calor específico**.

### HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- Foi somente no final do século XVIII **Lavoisier** e **Laplace** construíram um **calorímetro de gelo** e desta forma foi possível medir o calor específico de várias substâncias. Laplace introduziu o termo **calórico** para descrever uma suposta substância responsável pelos fenômenos térmicos e que então era adepto da ideia de calor como sendo um fluido.

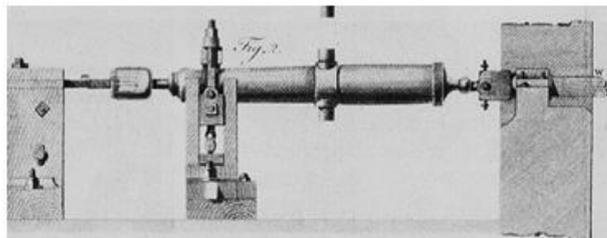
HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR:  
CALORÍMETRO DE GELO DE LAPLACE E  
LAVOISIER



HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR

- A teoria do calor como substância começou a ser abandonada no final do século XVIII e início do século XIX quando o Thompson fazia inspeção nas fábricas de canhões de bronze.

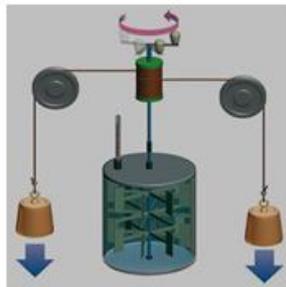
HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR:  
CANHÃO USADO POR THOMPSON



### HISTORIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR: CANHÃO USADO POR THOMPSON

- o No experimento de Thompson ficou estabelecido o calor como sendo uma forma de energia e a **ideia do calórico foi abandonada** definitivamente quanto **Joule** realizou medições com grande precisão sobre a **equivalência mecânica do calor**.

### HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR: EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR – JOULE



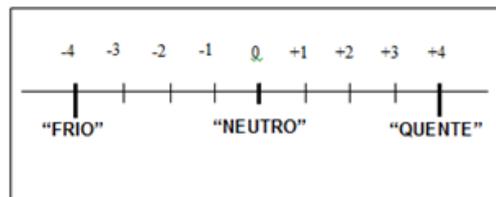
### EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS RELACIONADOS À CALORIMETRIA: TEMPERATURA

### HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE TEMPERATURA

- Datam de I d.C. as primeiras contribuições para **construção de um aparelho capaz de medir a temperatura**, também proposta por **Heron de Alexandria**.
- Ele descreve um **aparato** baseado na **dilatação dos líquidos** e que serviu de base para a construção dos primeiros termoscópios
- Foi **Galeno no século II** que **estabeleceu uma escala de graus numéricos do calor e do frio** considerando o “calor neutro” ao ponto zero, correspondente à mistura de água fervendo e gelo. Ao ponto “frio” (-4) à fusão da água e ao ponto “quente” (+4) à ebulição da água.

### HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE TEMPERATURA

- No século XV o médico **Harme de Berna** representou uma escala de acordo com a **latitude terrestre**.

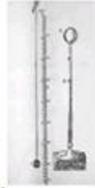


### HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE TEMPERATURA

- A **definição de temperatura** só foi possível a partir do momento em que foi sendo **construídos termômetros** cada vez mais **precisos**.
- Em vários livros podemos verificar a descrição da construção do **primeiro termômetro** à **Galileu**, porém o que ele construiu foi um **termoscópio**, pois este não possuía uma associação da posição para parte líquida a uma escala numérica.
- A **construção dos termômetros** só foi possível, em **meados do século XVIII** baseada na condição de que esse aparelho deveria entrar em **equilíbrio térmico** com o corpo cuja temperatura desejava-se medir.

## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE TEMPERATURA

- O primeiro termômetro foi inventado em 1612 pelo médico italiano **Santorio Santorre** que desenvolveu um aparelho a ar aquecido com uma escala para leitura de temperatura.



a) Termômetro de Santorio.



b) Termoscópio de Ar de Santorio

## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE TEMPERATURA

- Dessa época em diante, as técnicas foram ficando mais avançadas e **contribuiu** para o entendimento da **diferenciação entre calor e temperatura** o que proporcionou a construção de outros termômetros.
- Foi no século XVIII que utilizaram um **corpo de prova** que pudesse entrar em equilíbrio térmico com outros corpos. Esse corpo de prova seria o **termômetro**.
- Ocorrendo o **equilíbrio térmico** podia-se dizer que a grandeza comum a todos os pontos ocupados por diferentes corpos seria a **temperatura**.

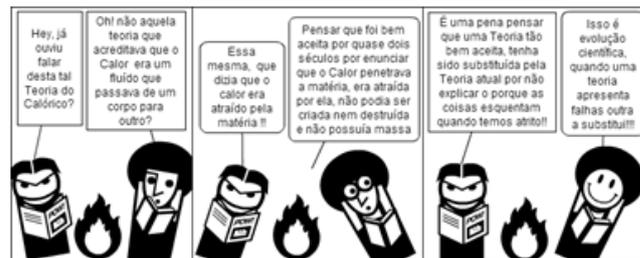
## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE TEMPERATURA

- A **primeira escala termométrica** aceita universalmente foi definida por **Daniel Fahrenheit** em 1724.
- Esta escala é ainda utilizada até os dias de hoje nos países de língua inglesa.
- Outra escala é a de **Celsius** em 1747, também chamada de centígrada, por ser dividida em 100 partes
- Foi **Lord Kelvin** que desenvolveu uma **escala termométrica de temperaturas absolutas**.

## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE TEMPERATURA

- Devido a grande evolução dos termômetros, podemos atualmente medir com exatidão e precisão a temperatura de um corpo ou de uma substância. Desta forma o termômetro é utilizado em vários setores como: medicina, laboratórios, uso doméstico e indústria alimentícia.

## HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DO CALOR E TEMPERATURA



## APÊNDICE 6

### ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA

O objetivo do presente capítulo é apresentar o conceito de temperatura, de calor, da propagação da energia sob a forma de calor e de calor sensível e latente, com o intuito de oferecer aos estudantes do curso Técnico em Alimentos condições necessárias para o entendimento e a aplicação desses conceitos na conservação de alimentos<sup>1</sup>.

#### 5.1 Temperatura

A sensação de quente e frio é percebida pelo homem desde a época em que este morava nas cavernas, por meio dos fenômenos térmicos da natureza presenciados por ele, pela radiação solar, pela neve, pelo fogo etc. Mesmo não possuindo o entendimento do que seria calor, o homem primitivo já possuía essas impressões.

Pode-se dizer que essas sensações já são percebidas pelas crianças desde a sua infância. Por meio do tato, elas conseguem dizer se um corpo está quente ou frio; ou se está “fazendo calor” ou se “está fazendo frio”.

Uma das formas de se verificar a temperatura de um corpo, ou seja, dizer se um corpo está quente ou não, é usar o tato, porém essa forma pode não ser muito preciso. A avaliação do quente ou frio pode variar de pessoa para pessoa, ou de uma mesma pessoa em situações diferentes.

Tomemos com exemplo uma cozinheira que lida com fogão à lenha e panelas de ferro por um longo período de sua vida. Ela está acostumada a manusear as panelas quentes, pois suas mãos já não são mais sensíveis a altas temperaturas, tendo em vista esse manuseio lhe trouxe certa mudança quanto à sensibilidade térmica. Ela consegue, sem maiores problemas, deslocar uma panela “quente” de lugar, sem uma proteção especial e sem se queimar. Já uma pessoa que não está acostumada com tal procedimento, encontrará certa dificuldade para realizar o mesmo trabalho. Perceberá que a panela está a uma temperatura, para ela, muito alta, não conseguindo mudá-la de lugar, podendo, inclusive, queimar-se. Temos, portanto, um exemplo de que, verificar a temperatura pelo tato não é a forma mais adequada, pois os sentidos podem nos enganar.

---

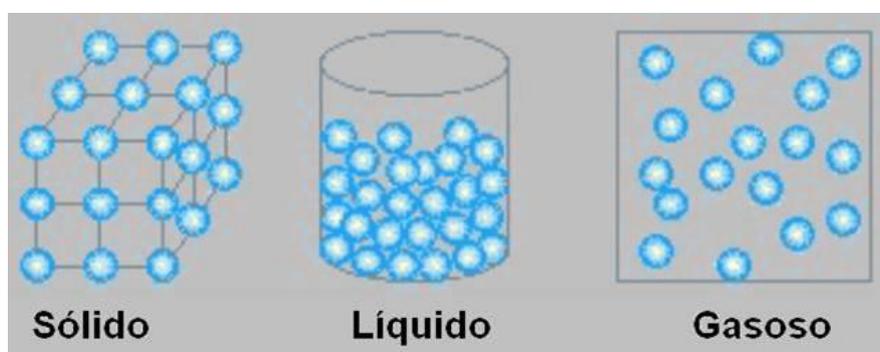
<sup>1</sup> Os livros técnicos do curso de alimentos trazem como conservação dos alimentos pela propagação de energia sob a forma de calor com sendo: conservação de alimentos pela ação do frio e do calor.

Segundo Young e Freedman (2003), o conceito de temperatura tem a sua origem nas ideias qualitativas de “quente” e “frio” quanto se usa o tato (YOUNG E FREEDMAN, 2003).

Mas afinal, o que se entende por temperatura? Como medir precisamente a temperatura de um corpo?

Para responder a essas perguntas faz-se necessária uma breve discussão acerca da estrutura da matéria.

Segundo Young e Freedman (2003), toda matéria sólida, líquida e gasosa é constituída por moléculas que, por sua vez, são compostas de pequenas partículas denominadas átomos, conforme figura 8.



**Figura 8** - Estado de Agregação da matéria. - Fonte: [www.quimicaparatodosuevora.com.br](http://www.quimicaparatodosuevora.com.br). Acesso em: 14/07/2014.

As moléculas que constituem um sólido vibram em torno de pontos mais ou menos fixos, formando uma rede cristalina devido à grande força de interação entre elas. Essa rede cristalina é formada por agrupamentos de pontos que se repetem. As distâncias entre essas moléculas, na fase líquida, são ligeiramente maiores, dando a elas maior liberdade de movimento do que na fase sólida. Ocorre, portanto, uma diminuição da força de interação entre as moléculas na fase líquida. Em um gás, essas distâncias são geralmente muito grandes, e a força de atração entre as moléculas se torna muito pequena (YOUNG E FREEDMAN, 2003).

Ainda com relação à matéria na fase sólida, vale ressaltar que esta pode ser classificada de duas formas: sólidos cristalinos e não cristalinos ou amorfos. Os átomos que compõem um sólido cristalino se dispõem espacialmente numa forma geométrica ordenada. Os sólidos amorfos, porém, apresentam ausência de um padrão de cristalização, sendo que a disposição interna de seus componentes materiais é, em grande parte, aleatória, semelhante à dos líquidos, porém mantendo uma distância fixa

entre suas ligações moleculares. Dentre os sólidos amorfos, encontram-se os plásticos, os vidros, os sabões e as parafinas, entre outros. (Disponível em [www.biomania.com.br](http://www.biomania.com.br). Acesso em 05/04/2015).

Quer seja na fase sólida, líquida ou gasosa, cada uma das moléculas possui um movimento de vibração em torno de seu próprio eixo, ou seja, possui energia cinética<sup>2</sup> de vibração.

Segundo Knight (2009), associado à energia cinética, aparece também a energia potencial<sup>3</sup> dos átomos e das moléculas que constituem um sistema, no caso um sólido, um líquido ou um gás. A soma das energias cinética e potencial de um sistema recebe o nome de energia térmica. Pode-se dizer que um sistema está “quente” quando possui mais energia térmica do que quando está “frio”.

De acordo com Tipler e Mosca (2006), temperatura é uma grandeza que mede a energia cinética média de rotação e vibração das moléculas que constituem uma substância, ou seja, a energia cinética média de translação dessas partículas.

## 5.2 CALOR E EQUILÍBRIO TÉRMICO

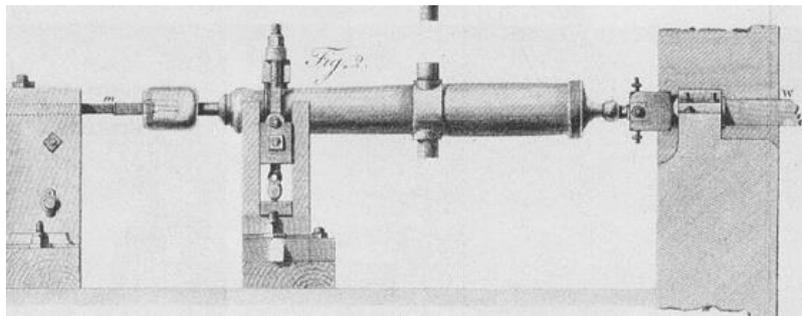
O conceito de calor é bastante evasivo, pois usualmente é tratado de maneira muito vaga, na maioria das vezes como sinônimo de “quente”, tal como na época em que era entendido como um fluido (KNIGHT, 2009).

Historicamente, a teoria do calor como fluido começou a perder efeito, ou seja, iniciou-se uma nova fase na construção de seu conceito, a partir das experiências realizadas por Benjamim Thompson, ao inspecionar as fábricas de canhões, nas oficinas do arsenal militar de Munique, quando observou que, ao ser perfurada, uma arma de bronze adquiria um alto grau de “calor” em um espaço de tempo muito pequeno. À medida que refletia sobre esse “fenômeno”, Thompson questionava a existência ou não do fluido denominado calórico (PESSOA JR, 2004).

---

<sup>3</sup> Energia potencial: por definição, é a energia associada à posição (TORRES, FERRANO E SOARES, 2010, p 214).

O experimento de Thompson consistiu em perfurar, com uma broca, um canhão de bronze fundido, fixo na horizontal de forma que este pudesse girar em torno de seu próprio eixo (figura 9). Assim, o canhão podia ser perfurado ao mesmo tempo em que lhe era dado um acabamento externo que o transformava em um cilindro. A broca foi posta para girar de forma a gerar atrito e, mesmo quando estava cega, era forçada contra o fundo desse cilindro. Para medir a temperatura durante a perfuração, Thompson “derramou” água sobre o canhão que estava sendo perfurado e, de tempos em tempos, media a temperatura dessa água, que era armazenada em uma caixa. Para seu espanto, a água começou a aquecer e ferver sem a presença de fogo. Dessa forma, constatou-se que o calor fora gerado pelo atrito de duas superfícies metálicas. A quantidade desse calor resultante do atrito foi emitida de forma contínua, sem interrupção e sem quaisquer indícios de diminuição. Vale ressaltar que qualquer coisa que um sistema ou corpo isolado forneça de forma contínua não poderá ser considerada uma substância material. A partir de então, ficou estabelecida a condição de movimento para a geração do calor (PESSOA JR, 2004).



**Figura 9** - Experimento de Joule nas fábricas de canhões. Fonte: MAGIE, E.F. (org.) (1935. Acesso em 26/06/2014)

Experimentos realizados pelo físico James Prescott Joule, como o do equivalente mecânico do calor, contribuíram para essa descoberta. Ao constatar que seria possível aumentar a temperatura da água aquecendo-a por meio de uma chama ou realizando trabalho sobre ela por meio de uma roda de pás em rápida movimentação, Joule verificou que nos dois casos o estado final da água era exatamente o mesmo. Isso significa que calor e trabalho são praticamente equivalentes. Joule constatou então que calor é energia (KNIGHT, 2009).

Atualmente, entende-se que o calor é uma forma de energia que se transfere entre sistemas ou entre um sistema e o ambiente, devido à diferença de temperatura entre eles. Essa energia é transferida quando as moléculas do corpo de maior

temperatura (quente), que estão mais agitadas, colidem com as do corpo de menor temperatura (frio), que estão com menor agitação. Dessa forma, as partículas mais agitadas perdem energia durante a colisão, a qual é recebida pelas do corpo mais frio (KNIGHT, 2009). Pode-se dizer que existe, no caso, a realização de um trabalho<sup>4</sup> das partículas do corpo de maior temperatura sobre as do corpo de menor temperatura.

Mas até quando essa transferência de energia ocorre entre corpos de diferentes temperaturas?

Considere duas barras, A e B, de um mesmo metal, sendo que a temperatura da barra A é maior que a da B. A barra de maior temperatura possui moléculas com maior vibração que as da barra de menor temperatura. Colocando-as em contato, verifica-se que as suas partículas passam a vibrar com a mesma intensidade, provocando um resfriamento na de maior temperatura e um aquecimento na de menor temperatura. Diz-se então que essas barras estão em contato térmico. Ao final de certo tempo, a temperatura de cada uma delas terá o mesmo valor. Conclui-se, pois, que as barras estão em equilíbrio térmico (TIPLER e MOSCA, 2006).

Agora suponha três barras, A, B e C, do mesmo material. Constata-se que a barra A está em equilíbrio térmico com a barra B e que essa, por sua vez, está em equilíbrio térmico com C. Conclui-se, então, que a barra A está em equilíbrio térmico com a barra C. E se estabelece a Lei Zero da Termodinâmica: “Se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então eles estão em equilíbrio térmico entre si” (TIPLER e MOSCA, 2006, p. 598).

### 5.3 TERMÔMETRO E ESCALAS DE TEMPERATURAS.

E quanto à forma de medir a temperatura? Anteriormente, já foi verificado que o tato fornece apenas sensações térmicas, e que não é eficiente para medir o valor exato da temperatura de um corpo, ou seja, a agitação de suas partículas.

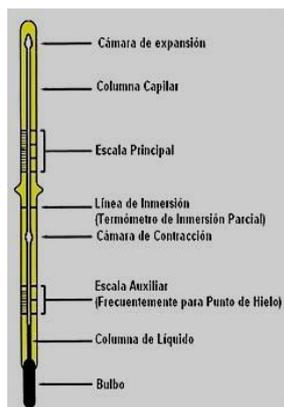
Foram muitas as tentativas de se construir um aparato para avaliar a temperatura de um corpo. Para medir essa agitação de um corpo ou substância qualquer, usa-se um aparelho chamado termômetro.

---

<sup>4</sup> Trabalho: por definição, realizar trabalho é usar força para mover um objeto por certa distância (TORRES, FERRANO E SOARES, 2010, p. 205).

## 5.4 TIPOS DE TERMÔMETROS

**Termômetro de líquido:** geralmente usa-se o mercúrio como fluido. Esse tipo de termômetro vem sendo usado ao longo de 300 anos na área da ciência, da medicina, da meteorologia e da indústria. Ele se baseia na dilatação do líquido com o aumento da temperatura (figura 10). O líquido usado está contido em um tubo de vidro graduado, onde se lê a temperatura (INMETRO).



**Figura 10** - Termômetro de líquido. FONTE: [www.quimicambientalust.com.br](http://www.quimicambientalust.com.br). Acesso (26/06/2014).

**Termômetros digitais:** são aqueles que fazem uso de dispositivos elétricos no lugar do líquido (figura 11). Eles utilizam a variação da resistência elétrica de um filamento de platina de alta pureza, que permite a medida da temperatura com grande precisão. Como são equipamentos muito sensíveis e sofisticados, permitem medir uma escala de temperatura da ordem de milésimos de grau Celsius (INMETRO).



**Figura 11** - Termômetro digital. FONTE: [www.quimicambientalust.com.br](http://www.quimicambientalust.com.br). Acesso (26/06/2014).

**Termopares:** São termômetros (sensores) mais usados nas indústrias. Os termopares são constituídos de dois condutores de diferentes metais ligados no ponto de medida (figura 12). A temperatura é determinada a partir do momento em que os condutores são aquecidos, o que gera uma diferença de potencial no circuito (INMETRO).



**Figura 12** - Termopar. FONTE: [www.quimicambientalust.com.br](http://www.quimicambientalust.com.br). Acesso (26/06/2014).

**Pirômetros:** Esse tipo de termômetro mede a temperatura mediante a radiação emitida por um corpo, partindo do pressuposto de que todos os corpos emitem radiação. A temperatura é medida em relação à quantidade de radiação emitida pelo corpo, de acordo com a Lei de Planck para a radiação. Com esse termômetro pode-se medir temperaturas a grandes distâncias (figura 13). É um instrumento utilizado para se medir a temperatura de corpos a grandes temperaturas e a grandes distâncias, ou em lugares que oferecem riscos para o ser humano (INMETRO).



**Figura 13** - Pirômetro. FONTE: [www.quimicambientalust.com.br](http://www.quimicambientalust.com.br). Acesso (26/06/2014).

**Termômetro para monitoramento de temperatura de alimentos:** para mantermos uma boa saúde, devemos levar em conta alguns fatores, dentre eles a temperatura dos alimentos durante a sua ingestão. Certos alimentos, quando consumidos crus, podem ser prejudiciais à saúde, porém se cozidos acima das normas estabelecidas podem perder o sabor e os nutrientes. Dessa forma, utiliza-se o termômetro espeto (figura 14) para uma leitura instantânea da temperatura do alimento, que pode variar de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $300^{\circ}\text{C}$  (<http://www.solucoesindustriais.com.br>).



**Figura 14** - Termômetro do tipo espeto. <http://www.solucoesindustriais.com.br>. Acesso em 26/06/2014.

O termômetro usado nas atividades do dia a dia consiste em um bulbo de vidro e um tubo afilado, onde se encontra certa quantidade de mercúrio e uma escala de graduação. Quando colocado em contato com um corpo quente, o mercúrio expande, aumentando o comprimento da coluna que o representa (TIPLER e MOSCA, 2006).

As escalas termométricas foram criadas colocando-se o termômetro primeiramente em contato com gelo e água em equilíbrio térmico, sob uma pressão de 1,0 atm, e marcando-se a posição da coluna de mercúrio no vidro. Obtém-se então a temperatura do ponto de fusão do gelo. A seguir, o termômetro é colocado em contato com a água em ebulição, também à pressão de 1,0 atm. Ao atingir o equilíbrio térmico, marca-se novamente a posição da coluna de mercúrio no vidro. Essa temperatura é chamada de ponto de ebulição da água (TIPLER e MOSCA, 2006).

Os exemplos mais comuns de escalas termométricas são as escalas Celsius e Fahrenheit, que são utilizadas em termômetros comuns, tendo o mercúrio como substância termométrica e o volume como propriedade termométrica (RESNICK, HALLIDAY E KRANE, 1996).

A escala Celsius (também chamada de centígrada) é dividida em cem partes iguais, tendo como 0°C o ponto de fusão do gelo e 100 °C para o ponto de ebulição da água. Quanto à escala Fahrenheit, dividida em 180 partes iguais, tem o ponto de fusão do gelo a 32°F e para ebulição da água, 212°F. A primeira é utilizada em quase todos os países do mundo, de forma doméstica ou comercial, enquanto a segunda é utilizada na maioria dos países de língua inglesa, como os Estados Unidos (RESNICK, HALLIDAY E KRANE, 1996).

Outra escala muito importante, é a escala Kelvin, usada no estudo dos gases. Estabelecida por Lorde Kelvin, essa escala não fez uso, na sua calibração, dos pontos de

fusão do gelo e da ebulição da água, mas trabalhou com a pressão de um gás. Sem se levar em consideração sua pressão ou volume inicial, esse gás sofre uma variação de  $1/273$  de seu volume a uma temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  para cada variação de  $1^{\circ}\text{C}$  em sua temperatura. Ao se reduzir a temperatura de um gás de  $0^{\circ}\text{C}$  em  $273^{\circ}\text{C}$ , o seu volume seria reduzido a zero, pois ele seria contraído em  $273/273$  de seu volume a  $0^{\circ}\text{C}$ . E o mesmo se daria em termos de pressão. Essa forma de diminuição de temperatura,  $1/273$ , leva a um valor de  $-273^{\circ}\text{C}$  para  $0\text{K}$ . Assim, um gás a uma temperatura de  $-273^{\circ}\text{C}$  não teria pressão alguma. Entende-se, portanto, que existe uma temperatura mínima. Essa temperatura é chamada de zero absoluto, e se dá quando os átomos e moléculas perdem toda a sua energia cinética disponível (HEWITT, 2011).

## 5.5 FORMAS DE PROPAGAÇÃO DO CALOR

O calor foi definido no tópico anterior como sendo uma forma de transferência de energia entre um sistema e seu ambiente ou entre dois corpos, devido à diferença de temperatura entre estes. Mas, de que forma ocorrem essas transferências de energia?

São três os principais processos de transferência de energia: condução, convecção e radiação (TIPLER, 1982).

### 5.5.1 Condução

Esse processo de propagação da energia sob a forma de calor pode ocorrer no interior de um corpo, ou quando dois corpos são colocados em contato. Nesse caso, as partículas da região que recebeu energia na forma de calor adquirem em média uma energia cinética maior do que a das partículas das regiões de sua vizinhança. A energia em excesso nessas partículas é transferida para outras, da região próxima, por meio de vibrações entre elas. Esse processo de colisão ocorre entre vizinhos ao longo de todo o material. O que ocorre é somente um aumento dessa vibração. As partículas não sofrem deslocamento de uma região para a outra do material; apenas a energia cinética é que se transfere de uma região para a outra.

Outra forma de condução, presente em quase todos os metais, ocorre graças à existência dos chamados “elétrons livres”, que ao se libertarem de seus átomos originais possuem a capacidade de circulação através da rede cristalina. Eles conseguem, assim, conduzir o calor com rapidez, da parte mais quente do material para a parte mais fria.

Essa característica dos metais é que os tornam bons condutores de calor (YOUNG E FREEDMAN, 2003).

A taxa com que a energia é transferida de um corpo para outro classifica os corpos em condutores e isolantes. Essa taxa é representada pela razão da quantidade de energia transferida por unidade de tempo. O isopor, a madeira, a cerâmica e outros elementos não são considerados bons condutores de calor, razão pela qual os cabos das panelas são fabricados com madeira, o que evita que os cozinheiros queimem as mãos.

A sensação de frio ou de quente está mais intensamente ligada à taxa de transferência de energia do que com a real temperatura de um corpo. Essa é a razão pela qual quando se toca em dois objetos à mesma temperatura, tem-se a sensação de que um está mais frio que o outro, como, por exemplo, um pedaço de metal e um pedaço de madeira (KNIGHT, 2009).

### **5.5.2 Convecção**

A convecção é o principal processo de transferência de calor nos fluidos (líquidos e gases), devido à capacidade que estes têm de fluir (movimentação da massa de uma região do fluido para outra). No processo de aquecimento, a temperatura do fluido aumenta, causando uma expansão volumétrica. Com esse aumento de volume, a densidade<sup>5</sup> do fluido diminui<sup>6</sup>, fazendo com que este suba e passe a ocupar o lugar do fluido mais frio, que irá descer por possuir uma densidade maior. A essa movimentação das massas do fluido, sendo que as massas mais quentes sobem e as mais frias descem, dá-se o nome de correntes de convecção. São essas correntes de convecção que mantêm o fluido em constante circulação.

O ar, por possuir certo afastamento entre as partículas que o constitui, não pode ser considerado como um bom condutor de calor, o que não é problema se o processo for convecção. Assim, para que o ar se torne isolante térmico, faz-se necessário o seu aprisionamento em pequenas bolsas, com o propósito de limitar a convecção. Dessa maneira, usam-se fibras de vidro para tornar o ar um isolante térmico (KNIGHT, 2009).

---

<sup>5</sup> - Densidade: Conceito estudado em Física “2” - Razão entre a massa e o volume ocupado por essa massa (TORRES, FERRANO e SOARES, 2010).

<sup>6</sup> - Densidade é inversamente proporcional ao volume, ou seja, se o volume aumenta a densidade diminui e vice e versa (TORRES, FERRANO e SOARES, 2010).

Um exemplo de isolante térmico é a luva utilizada pelos cozinheiros para retirada de recipientes a alta temperatura do forno e os casacos utilizados para adentrar as câmaras frias de conservação de alimentos. Todos esses acessórios são utilizados para evitar a transferência de calor indesejada, no caso da luva, a entrada de energia sob a forma de calor para o corpo e na câmara fria, a perda dessa pelo corpo. Todos esses equipamentos de segurança são fabricados com materiais isolantes térmicos.

Esta forma de convecção citada acima, por diferença de densidade provocada por uma expansão térmica, recebe o nome de convecção natural ou livre, fator importante na determinação do tempo ao longo do dia, e nos oceanos que se apresentam de grande importância no mecanismo de transferência de calor por todo o globo terrestre. Dependendo da intensidade dessas correntes podem ocorrer tempestades. Quando se usa uma bomba para forçar a movimentação do fluido, esta recebe o nome de convecção forçada, exemplo clássico de transferência de calor no corpo humano, onde o coração desempenha a função de uma bomba (YOUNG E FREEDMAN, 2003).

Considerando que o mecanismo de transferência por convecção é um processo um tanto quanto complicado, devem-se considerar alguns experimentos para melhor entendimento desse método:

- Uma das grandes influências quanto à propagação do calor por convecção é a área da superfície através da qual o calor será transferido. A taxa<sup>7</sup> por meio do qual o calor flui por convecção, é diretamente proporcional à área da superfície em questão.

- Outro ponto é com relação à viscosidade do líquido. Quanto maior a viscosidade<sup>8</sup> do líquido, mais demorada se torna a movimentação por convecção natural nas vizinhanças de superfície estacionária, o que causa a formação de uma película ao longo da superfície. A forma de diminuir a espessura dessa película é aumentando a taxa de transferência do calor, ou seja, forçar o processo de convecção (YOUNG E FREEDMAN, 2003).

### **5.5.3 Radiação**

---

<sup>7</sup> - Taxa – Relação entre duas grandezas. Disponível em <http://conceito.de/>. (Acesso em 03/02/2015)

<sup>8</sup> Viscosidade – por definição, estudado em Física “2”, facilidade ou dificuldade de escoamento de um fluido (TORRES, FERRANO e SOARES, 2010).

O processo de transferência de calor por radiação é feito na forma de ondas eletromagnéticas geradas por cargas elétricas oscilantes nos átomos que constituem o objeto, pois todo objeto emite energia na forma de radiação. Essa energia, por meio de ondas, é transferida do corpo emissor da radiação para o corpo que absorve. O sol é um exemplo de objeto emissor de energia. As ondas eletromagnéticas provenientes do Sol carregam consigo energia que é absorvida quando entra em contato com os corpos, de forma geral, fazendo com que eles aqueçam pelo aumento de sua energia térmica (KNIGHT, 2009).

A taxa de emissão de energia na forma de radiação depende da área e da natureza da superfície, descrita por uma grandeza denominada *emissividade*, que representa a taxa de radiação de uma superfície particular e a taxa de radiação de uma superfície de um corpo ideal com a mesma área e a mesma temperatura (YOUNG E FREEDMAN, 2003).

Todo e qualquer corpo emite radiação eletromagnética, desde que esteja a uma temperatura superior a 0K. O que determina a visibilidade da radiação é a temperatura do corpo, que é emitida em diferentes comprimentos de onda. A uma temperatura de 20°C ou 253K, por exemplo, a maior parte da energia emitida por um corpo é na faixa do infravermelho. Essa faixa do espectro eletromagnético possui um comprimento de onda maior do que o comprimento de onda da luz visível. Esse comprimento de onda aumenta à medida que a temperatura do corpo é elevada. Para que um corpo possa adquirir luminosidade própria, ou seja, para que seja visível, a sua temperatura deverá se encontrar na faixa de 800°C, quando assume uma cor “vermelha quente”, mesmo que a esta temperatura, maior parte da energia irradiada será por meio de ondas infravermelha. Para que a luz se torne “branca quente”, o caso característico do filamento de uma lâmpada incandescente, a temperatura deverá ser da ordem de 3000°C (YOUNG E FREEDMAN, 2003).

## 5.6 CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE DA SUBSTÂNCIA

Para melhor entendimento do que seja calor sensível e calor latente da substância, faz necessária uma reflexão a respeito da resposta para a seguinte pergunta: Toda vez que transferimos energia térmica a um corpo ou uma substância, sempre haverá um aumento ou diminuição de sua temperatura? Para responder a esta pergunta

precisamos estabelecer alguns conceitos, como: calor sensível, calor latente da substância, calor específico e capacidade térmica.

Para elevar ou diminuir a temperatura de um corpo ou de substância, precisa-se primeiramente conhecer qual o tipo de substância que se pretende trabalhar, pois para cada grama de diferentes substâncias variarem em 1°C a sua temperatura, necessita receber diferentes quantidades de calor. Esta quantidade de calor que cada substância necessita receber, com relação ao exposto acima, denomina-se calor específico de uma substância. A unidade de medida usada para expressar a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo ou substância é denominada caloria. Uma caloria foi estabelecida como sendo a quantidade de calor que 1,0 g de água necessita receber para variar sua temperatura de 14,5°C para 15,4°C, ou seja, 1°C. Já a capacidade térmica refere-se à quantidade de calor necessária para variar a temperatura de uma determinada massa de um corpo ou substância em 1,0°C (TIPLER, 1982).

Já o calor sensível está associado ao calor específico e à capacidade térmica de uma substância, pois implica em variação de temperatura. Assim a energia térmica que transfere para dentro ou para fora de um sistema e que está relacionada à variação de temperatura é denominada de calor sensível e para sua determinação utilizam-se as seguintes expressões:  $Q=C.\Delta t$  ou  $Q=m.c.\Delta t$  (TIPLER, 1982).

Na equação  $Q=C.\Delta t$ , tem-se:

$Q$ =calor cedido ou recebido, medido em caloria;

$C$ =capacidade térmica, medida em calorias por graus Celsius.

$\Delta t$ = variação de temperatura, em graus Celsius.

Substituindo  $C$  por  $m.c$ , obtém-se  $Q=m.c.\Delta t$ , onde:

$m$ = massa em gramas;

$c$ = calor específico em calorias por grama por graus Celsius.

Quando certa quantidade de energia sob a forma de calor é fornecida a uma substância sem que ocorra uma variação na sua temperatura, constata-se que ocorre uma mudança de fase na mesma. Na solidificação, fusão, vaporização, condensação, etc., as substâncias recebem ou perdem calor sem que ocorra uma variação de sua temperatura (TIPLER e MOSCA, 2006). Mas, o que ocorre então para que não haja a variação de temperatura?

Utiliza-se o estudo da interação entre as partículas que compõem um corpo ou substância como forma de conhecer o processo de recebimento de calor sem variação de temperatura. Em um sólido as partículas, que estão bem próximas umas das outras, exercem forças atrativas mútuas. Já em um líquido, por estarem mais afastadas, essa força interativa diminui. No aquecimento de um sólido o movimento das moléculas que o compõem aumenta, e a sua temperatura se eleva. Ao atingir o ponto de fusão, as partículas não podem aumentar sua energia cinética e permanecer no mesmo estado de agregação. À medida que o sólido funde, a energia térmica que ele recebe é utilizada para vencer as forças de atração entre as moléculas, tornando-as mais espaçadas e desta forma a substância passa para a fase líquida.

A quantidade de energia necessária para fazer a mudança de fase de uma substância de massa  $m$  sem que ocorra variação na sua temperatura é denominada de calor latente da substância. Para mudar de fase, a substância deve estar a certa temperatura e a uma determinada pressão. Como exemplo, pode-se citar a água. A uma pressão de  $1,0 \text{ atm}$  cada grama de água necessita receber  $80 \text{ cal}$  para passar de sólido para líquido e  $540 \text{ cal}$  de líquido para vapor. Verifica-se então que a quantidade de calor necessária na mudança de fase é proporcional à massa do corpo ou substância, desta forma estabeleceu-se uma tabela de calor latente para as substâncias (TIPLER e MOSCA, 2006).

## 5.7 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

O ser humano, desde o seu nascimento, passa por sensações de quente e frio, seja ao entrar em um ambiente refrigerado com aparelho de ar condicionado, seja ao colocar um agasalho para evitar a perda de energia sob a forma de calor, o que muitos pensam que o mesmo tem a função de esquentar, ou ainda ao tomar bebidas quentes ou geladas. O principal órgão relacionado às estes efeitos é o tato.

Procurou-se demonstrar que a verificação dessas sensações, ou seja, da temperatura que se deseja conhecer não é precisa quando usamos este sentido do corpo humano. A forma ideal de verificar o quão as partículas de um corpo ou substância estão vibrando, é por meio da utilização de um termômetro.

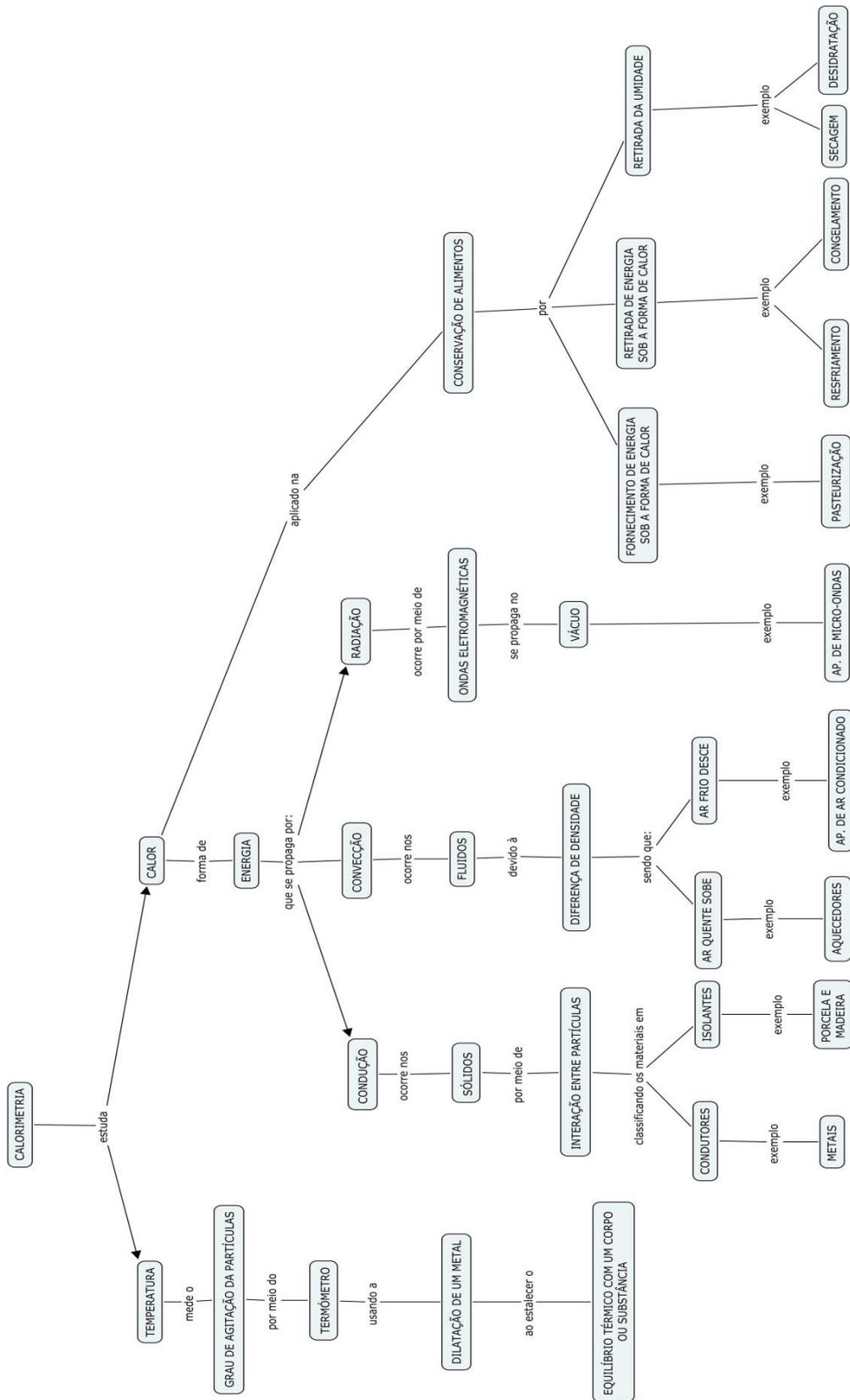
No desenvolvimento desse estudo foi apresentado o conceito aceito atualmente para o calor, temperatura e equilíbrio térmico. Foi exposta também a forma como os

termômetros foram construídos e os vários tipos que se dispõem para utilização em diversos segmentos, tais como: indústria, medicina, uso doméstico e no setor alimentício.

Com isso procurou-se oferecer um relato desses estudos como forma de utilização na disciplina de Física no curso Técnico em Alimentos, no preparo dos estudantes para a disciplina de Operações Unitárias, em que os equipamentos utilizados no processamento dos alimentos (conservação) fazem uso da transferência de energia sob a forma de calor para prolongar o tempo de vida útil desses alimentos.

# APÊNDICE 7

## MAPA CONCEITUAL DO ESTUDO DO CALOR



## APÊNDICE 8

### ROTEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE PRÁTICA

Aplicando o conceito de temperatura, calor e as formas de propagação da energia sob a forma de calor, em uma secadora de frutas.

Elabore um aparato a partir das questões abaixo que possa fazer uso da energia sob a forma de calor e ser usado para secagem de frutas.

1 – Qual o material de fabricação da caixa da secadora?

2 - O material de fabricação da caixa influi na secagem do alimento? Justifique.

3 – Que cor de tinta poderia ser usada para cobrir a caixa da secadora?

Justifique.

4 - Qual a finalidade das aberturas nas laterais frontal e posterior da caixa?

5 - Verifica-se que essas aberturas localizam, uma abaixo do centro de uma das faces e outra acima do centro da face posterior. Qual a finalidade dessa diferença de nível das aberturas?

6 – Qual o material usado para a fabricação da bandeja onde serão dispostas as frutas para secagem? Esse material influi na secagem do alimento? Justifique.

7 – Que outro material poderia ser usado nessa bandeja para facilitar a secagem das frutas. Justifique.

8 - A tampa de vidro da secadora possui alguma função na secagem dos alimentos? Justifique.

9 - Qual o melhor posicionamento dessa secadora ao sol, para a secagem das frutas? Justifique.

10 - Quais os tipos de propagação de energia sob a forma calor que essa secadora utiliza para a secagem de frutas? Descreva como cada forma contribui para esse processo.

## APÊNDICE 9

### AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA FINAL

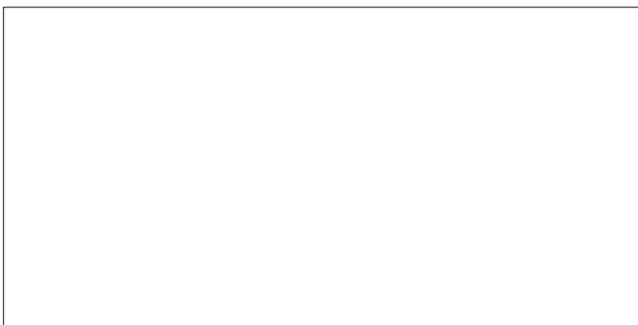
Nome: \_\_\_\_\_

1 - Toda matéria é composta por pequenas partículas que ao serem agrupadas formam as moléculas. Essas moléculas possuem a capacidade de vibração em torno de seu próprio eixo, com maior ou menor intensidade. Essa vibração, dependendo da forma de organização da estrutura da matéria, classifica a matéria em sólida, líquida e gasosa.

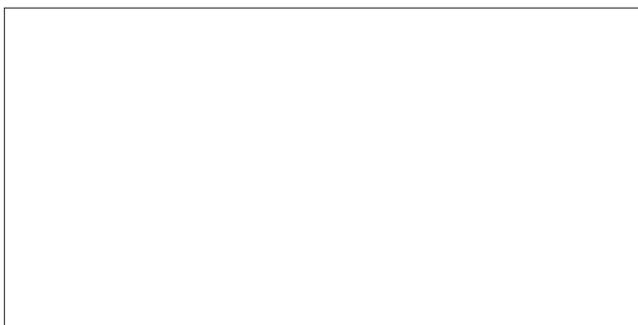
Para cada um dos estados de agregação da matéria apresentado abaixo, desenvolva a seguinte atividade:

- a) descreva (fazendo uso de um desenho) a forma como as partículas estão organizadas;
- b) descreva as principais características da matéria em cada uma das fases:

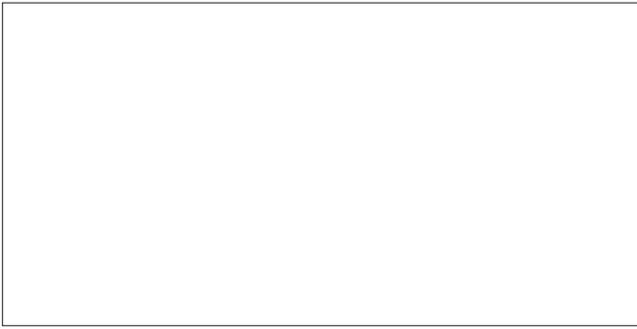
Sólido:



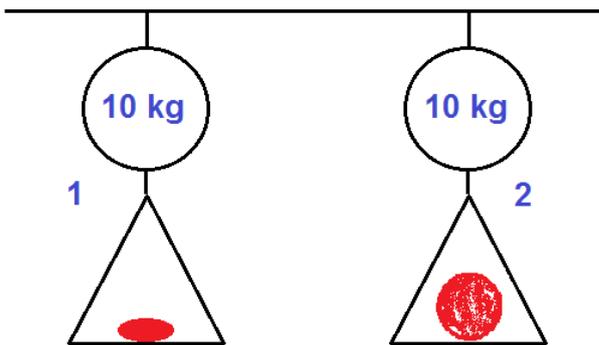
Líquido:



Gasoso:



2 – Observe as figura 1 e 2 abaixo. Massas de uma substância estão colocadas sobre os pratos de duas balanças.



Por meio de um texto, diga qual a relação existente entre as massas, os volumes e as densidades da substância na primeira e na segunda situação.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3 – Em embalagens alimentícias é comum encontrar, nas especificações do produto, a sua densidade. Em determinadas circunstâncias verifica-se que essa embalagem pode ficar deformada (estufada).

Elabore um texto apontando o que ocorreu com a massa, o volume e a densidade do produto resultando do processo em que a embalagem ficou estufada.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4 – Durante a preparação de uma geleia faz-se necessário verificar a sua temperatura para que o processo seja bem sucedido, usando para tal um instrumento denominado termômetro espeto, específica para a indústria alimentícia.

Desta forma, responda às questões abaixo:

- a) Demonstre de que maneira a vibração das partículas que constituem uma substância influencia na temperatura da mesma?

---

---

---

---

---

---

---

---

Descreva o que ocorreu com a massa, o volume e a densidade da geleia quando foi alterado o valor da sua temperatura, por exemplo, de 30°C para 100°, que é o ponto médio de preparação da mesma?

---

---

---

---

---

---

b) Qual a relação existente entre a intensidade de vibração das partículas do mercúrio, que estão dentro do bulbo do termômetro, com as moléculas que constituem a geleia, após o contato desse instrumento com a mesma, para que possa indicar sua temperatura.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

5- Para aquecer certa quantidade de água para preparar um café, por exemplo, coloca-se esta água em um recipiente que é levado à chama do fogão. Isso resulta no aumento da temperatura do líquido que está dentro do recipiente, ou seja, provocando seu aquecimento.

a) Durante o processo de aquecimento da água evidenciamos a formação de bolhas que se inicia no fundo do recipiente e sobe para a superfície do líquido, originando uma “troca” de posição entre as moléculas de água. Elabore um texto explicativo para o processo, buscando demonstrar o que ocorreu com o volume e densidade das moléculas de água devido ao aumento da sua intensidade de agitação e o que provocou esse aumento.

---

---

---

---











## APÊNDICE 10

### APLICAÇÃO DO ESTUDO DO CALOR NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Do ponto de vista fisiológico, todo organismo necessita se nutrir para que sejam asseguradas a sua sobrevivência e a perpetuação da espécie. Os alimentos consumidos pelo homem são provenientes dos reinos animal, vegetal e mineral. Um dos aspectos mais importantes com relação à nutrição do ser humano é, portanto, a qualidade dos alimentos processados que chegam à mesa do consumidor, em especial no que diz respeito às vitaminas e minerais, componentes importantes para que se possa ter uma boa saúde (ORDÓÑEZ, 2005).

Não é, contudo, somente o homem que procura por alimentos para assegurar o seu desenvolvimento. Os micro-organismos estão também à caça desses nutrientes, o que faz com que quanto mais abundante for a água disponível no alimento, maior seja a presença desses seres indesejáveis e mais rápida se dê a sua proliferação, o que o torna impróprio ao consumo humano (ORDÓÑEZ, 2005).

A água é um componente vital para todos os seres vivos e também para os alimentos. Dependendo do tipo do alimento, a quantidade de água existente pode variar de 60 a 95%. Ela representa uma fonte importante para a vida, por possuir substâncias nutritivas, constituir um meio no qual as reações acontecem e ser de fundamental importância para reações com outras moléculas (ORDÓÑEZ, 2005).

Segundo Ordóñez (2005), a água contida nos alimentos pode se apresentar de duas formas: a água intimamente ligada ao alimento e a água atividade (livre). Sua presença em quantidades adequadas e com localização definida é de grande importância para que os alimentos tenham uma boa aceitação pelo consumidor. No entanto, a água livre possibilita o aparecimento dos micro-organismos que, na maioria das vezes, deterioram os alimentos tornando-os perecíveis, fator que faz com que sejam necessários métodos efetivos de conservação quando armazenados por longos períodos.

De acordo com Ordóñez (2005), para colaborar com a forma de se evitar a proliferação desses microrganismos e de outros agentes que possam colocar em risco a saúde do ser humano, a indústria de Tecnologia de Alimentos dispõe de algumas técnicas e alguns procedimentos. Dentre eles, um é físico e visa à destruição desses seres. Esses processos, além de evitarem a proliferação dos micro-organismos, tendem

também a aumentar o tempo de vida útil dos alimentos. Em um primeiro momento, a intenção é impedir o aparecimento dos micro-organismos e, a partir daí, possibilitar o armazenamento do alimento por longo tempo, em temperatura ambiente, sem que haja alteração em sua composição.

O presente estudo tem como objetivo apresentar os principais procedimentos utilizados pela indústria alimentícia com relação à conservação de alimentos. Ele descreve os equipamentos utilizados e seu funcionamento e discute os conceitos físicos associados a cada um deles, com a finalidade de reduzir ou estabilizar a água contida nos alimentos de forma indesejável.

## 2.1 PROCEDIMENTOS PARA A CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS

Entre os procedimentos utilizados como forma de aumentar o tempo de vida útil dos alimentos, tem-se a conservação pela elevação e pelo decréscimo de temperatura<sup>9</sup>.

### 2.1.1 Conservação pelo Aumento de Temperatura.

Registros indicam que o tratamento pelo aumento de temperatura<sup>10</sup> foi inventado entre os séculos XVIII e XIX, por um confeitoiro francês denominado Nicolás Appert. Ele verificou que os alimentos que eram aquecidos em recipientes fechados tinham um tempo de conservação mais longo, desde que não fossem abertos, enquanto os que não passavam pelo processo se deterioravam rapidamente. Nicolás publicou, em 1810, um livro sob o título de “O livro de utilidades domésticas: ou a arte de preservar substâncias animais e vegetais por muitos anos”, contendo suas observações e resultados (GAVA, SILVA e FRIAS, 2008).

Cientistas da época não souberam explicar o porquê do sucesso do processo proposto pelo confeitoiro Nicolás, sendo preciso esperar aproximadamente meio século para que Pasteur pudesse elucidar esse fenômeno em que os alimentos que eram “apertizados” ficavam estáveis por determinado período (ORDÓÑEZ, 2005).

---

<sup>9</sup> - Os livros técnicos do curso de alimentos referem-se à conservação dos alimentos pelo aumento ou diminuição de temperatura como Conservação pela ação do calor e do frio.

<sup>10</sup> - Nos livros técnicos do curso de alimentos indicam o tratamento pela ação do calor.

Criador da técnica conhecida hoje como pasteurização, Louis Pasteur foi um cientista francês que viveu no século XIX e fez grandes descobertas nas áreas da química e da medicina. Ainda jovem, em pesquisas com cerveja e vinhos, descobriu, com o uso de um microscópio, que a presença de micro-organismos fazia com que tais bebidas se tornassem azedo (Disponível em: <http://www.todabiologia.com>, acesso em 07/09/21014).

A solução para o problema foi apresentada por Pasteur como “técnica da pasteurização”. Nesse processo, ele fez uso de um aquecimento leve, o que seria suficiente para matar os micro-organismos causadores da deterioração da cerveja e do vinho, evitando causar grandes alterações no sabor do produto. É o processo aplicado ao leite conhecido atualmente como leite pasteurizado (GAVA, SILVA E FRIAS, 2008).

Mesmo com o grande avanço tecnológico da atualidade, ainda hoje se utilizam os processos descritos por Pasteur: pasteurização e esterilização.

### 2.1.1.1 Esterilização

Segundo Gava, Silva e Frias (2008), o crescimento microbiano está diretamente relacionado à temperatura. A ação da temperatura em um primeiro momento inibe o crescimento desses micro-organismos, sendo que o aumento dela passa a ter uma ação letal.

A esterilização tem a função de destruir os micro-organismos mais Termorreristentes<sup>11</sup> para que se consiga um padrão comercial aceitável. A esterilização pode ser realizada de duas formas: nas embalagens já preenchidas, ou aquecendo-se o alimento antes de ser embalado, condicionando-o, logo após, assepticamente.

Embasados em Ordóñez (2005), seguem abaixo os processos de conservação dos alimentos pelo aumento de temperatura.

Para a **esterilização de alimentos acondicionados**, utilizam-se como embalagens latas, garrafas de vidro ou sacos plásticos. Em qualquer uma dessas embalagens, o tratamento térmico é feito após o preenchimento do seu interior com o

---

<sup>11</sup> Termorreristentes: que resiste a altas temperaturas. Disponível em: <http://www.infopedia.pt/>. Acesso em 22/09/2014.

alimento, a evacuação do ar e o fechamento dela. Após esse procedimento, a embalagem é aquecida e o alimento acondicionado no seu interior sofre uma expansão, aumento da pressão<sup>12</sup> do vapor d'água, e os gases dissolvidos deixam o produto. Dessa forma, cria-se uma pressão interna que se equilibra com a externa, mas que se for excessiva pode provocar o rompimento da embalagem. Com o propósito de se evitar esse problema, ela não é completamente preenchida com o alimento, ficando um espaço reservado para a expansão dos gases e líquidos. Esse espaço facilita também a transmissão de energia na forma de calor, por convecção, durante a agitação do produto em uma autoclave<sup>13</sup>.

Os métodos para a evacuação do ar de dentro das embalagens são os seguintes:

- a) Evacuação mecânica: após encher a embalagem com o produto, esta é fechada a frio sob o vácuo produzido mecanicamente.
- b) Preenchimento a quente em temperaturas próximas do ponto de ebulição: neste processo, gera-se uma pressão de vapor de aproximadamente 100 kPa no espaço não preenchido pelo alimento, de maneira que ao fechar a embalagem rapidamente produz-se um vácuo quando ela for resfriada.
- c) Evacuação a quente: neste procedimento, as embalagens são transportadas abertas por banho de água ou câmara de vapor. Dessa forma, a temperatura do produto fica entre 80°C e 90°C e ocorre a evacuação do ar. As embalagens são fechadas após a saída da câmara quente. Esse processo poderá ser longo, principalmente no caso de alimentos aquecidos por condução.
- d) Fechamento por corrente de vapor: com a embalagem já cheia, passa-se um jato de vapor na parte superior e, a seguir, coloca-se a tampa, que também foi aquecida por vapor. Como nesse caso não se eliminam os gases

---

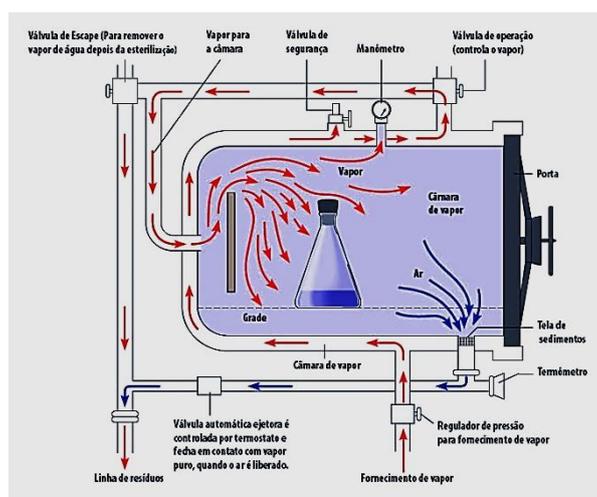
<sup>12</sup> - Pressão: por definição é a relação entre a força aplicada e a área de atuação dessa força, (Torres, Ferraro e Soares, 2010).

<sup>13</sup> - Autoclave: aparelho utilizado para esterilização através do vapor de água em temperatura elevada, por um tempo suficiente para matar os micro-organismos. Disponível em: <http://www.pontociencia.org.br>. Acesso em 07/09/2014.

retidos no produto, após o fechamento ele deve passar novamente por um aquecimento.

Para o aquecimento de embalagens fechadas, o método mais comum é a aplicação de vapor d'água saturado<sup>14</sup>. Visto que as temperaturas utilizadas para a esterilização de alimentos são superiores a 100°C, faz-se necessário o emprego de sistema sobrepressão<sup>15</sup>, com o uso de uma autoclave.

O esquema apresentado na figura 15 é de funcionamento de uma autoclave.



**Figura 15** - Esquema do funcionamento de uma autoclave. Disponível em: [www.blog.mcintifica.com.br](http://www.blog.mcintifica.com.br). Acesso em: 07/09/2014.

Após preencher todo o equipamento com as embalagens dos produtos que serão esterilizados, a tampa da autoclave é fechada e ajustada com fechos de rosca para aumentar a pressão no seu interior. Logo a seguir, o equipamento é colocado em funcionamento com uma injeção de vapor de água, com a finalidade de aquecer o produto por convecção e eliminar as bolhas de ar que por acaso possam existir dentro do equipamento. Após a eliminação de todas as bolhas de ar por uma válvula de escape que fica na parte inferior da câmara, esta é fechada. Em seguida, fecha-se o equipamento e, mantendo-se o volume constante, a temperatura começa a subir acima de

<sup>14</sup> Vapor d'água saturado: recebe esse nome, pois a sua temperatura equivale ao ponto de ebulição da água e é produzido pela combinação da energia que aquece a água com nível de pressão superior ao da pressão atmosférica. Disponível em: <http://www.portaleducacao.com.br/>. Acesso em: 07/09/2014.

<sup>15</sup> - Sobrepressão: pressão acima da pressão atmosférica. Disponível em: <http://www.portaleducacao.com.br/>. Acesso em: 07/09/2014.

100°C. Como consequência, a pressão aumenta até o valor estabelecido<sup>16</sup>. Assim que a pressão dentro do equipamento excede o estabelecido, a válvula de controle é aberta e a pressão e a temperatura permanecem nos valores calculados enquanto dura o processo. Após a conclusão do tratamento, começa-se o resfriamento de forma lenta, com a ajuda da injeção de ar comprimido a baixa temperatura. Nessa etapa, o fluxo de calor é do alimento que está quente para o ar que está frio, pelo processo de convecção. A partir do momento em que a pressão interna se equilibra com a pressão atmosférica e o produto é resfriado suficientemente, abre-se a autoclave (figura 16) e retiram-se as embalagens.



**Figura 16** - Autoclave. Disponível em [www.portuguese.alibaba.com.br](http://www.portuguese.alibaba.com.br). Acesso em: 07/09/2014.

Os conceitos físicos presentes no processo de esterilização de alimentos acondicionados são: variação de temperatura, processos de troca de calor por condução, quando se faz a evacuação da embalagem a quente; por convecção dentro da autoclave, pela circulação do vapor d'água que forma as correntes de convecção e variação de pressão e temperatura a volume constante, ou seja, uma transformação isovolumétrica, quando se inicia o processo dentro do equipamento.

No caso da **esterilização de alimentos sem acondicionamento**, o procedimento é aplicado quando o produto for líquido ou semilíquido, como, por exemplo, sopas, leite, nata etc. Esse processo é muito rápido. O alimento é aquecido instantaneamente a altas temperaturas (135°C a 150°C) por um tempo muito curto, em torno de 2 a 5 segundos, mediante processo térmico de fluxo contínuo. De acordo com Gava, Silva e Frias (2008), a taxa de transferência de energia sob a forma de calor para as partículas mais rápidas e o mais longo tempo necessário para essa transferência de

---

<sup>16</sup> Lei geral dos gases  $p.v/t=p.v/t$  – Apesar de não ser do nosso conteúdo devemos lembrar que está ocorrendo uma transformação isovolumétrica dos gases, ou seja, uma variação da temperatura e pressão a volume constante (TORRES, FERRARO e SOARES, 2010).

energia do líquido até o ponto central das partículas são utilizados em conjunto na determinação do tempo e da temperatura ideal do processo. Esse tratamento é denominado UHT (ultra high temperature), e pode ser realizado de forma indireta ou direta.

No **processo indireto**, o aquecimento é feito por meio de trocadores de calor<sup>17</sup>, que nada mais são do que equipamentos que promovem a transferência de energia sob a forma de calor de um sistema para a vizinhança, ou entre partes de um sistema. Esses trocadores de calor podem ser tubulares ou de placa. Nesse método, não há contato entre o vapor d'água que circula dentro do trocador e o alimento, ou seja, a troca de energia sob a forma de calor é feita através das paredes do trocador de calor. Assim, o alimento, ao entrar em contato com essas paredes, é aquecido por condução e com o próprio alimento, por correntes de convecção. Em um equipamento de UHT (figura 17), o produto é acondicionado em um tanque de armazenamento e impulsionado por uma bomba até o local onde começa o aquecimento por meio de trocadores de calor. A baixa pressão provoca o aquecimento de 80°C a 85 °C. O sistema mantém a temperatura entre 135°C e 150°C, por um curto intervalo de tempo, de 2 a 4 segundos. O processo continua e o produto é esterilizado e posteriormente levado ao resfriamento à temperatura entre 10°C e 14°C.



**Figura 17** - Equipamento de UHT. Disponível em: [www.quantum.vortex.com](http://www.quantum.vortex.com). Acesso em 07/09/2014.

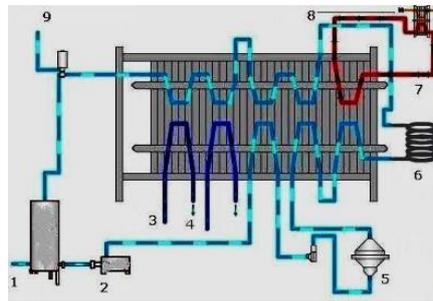
O esquema do trocador de calor, mostrado na figura 18, apresenta os seguintes componentes:

- 1 – Tanque de armazenamento;
- 2 – Bomba;

---

<sup>17</sup> Trocador de calor: Dispositivo utilizado para realizar processos de troca térmica entre dois fluídos em diferentes temperaturas. Disponível em <http://www.madeira.ufpr.br/>. Acesso em: 03/02/2015

- 3 – Água fria
- 4 – Água quente;
- 5 – Homogeneizador;
- 6 - Serpentina de controle;
- 7 – Água superaquecida;
- 8 – Vapor de aquecimento;
- 9 – Saída do produto esterilizado.



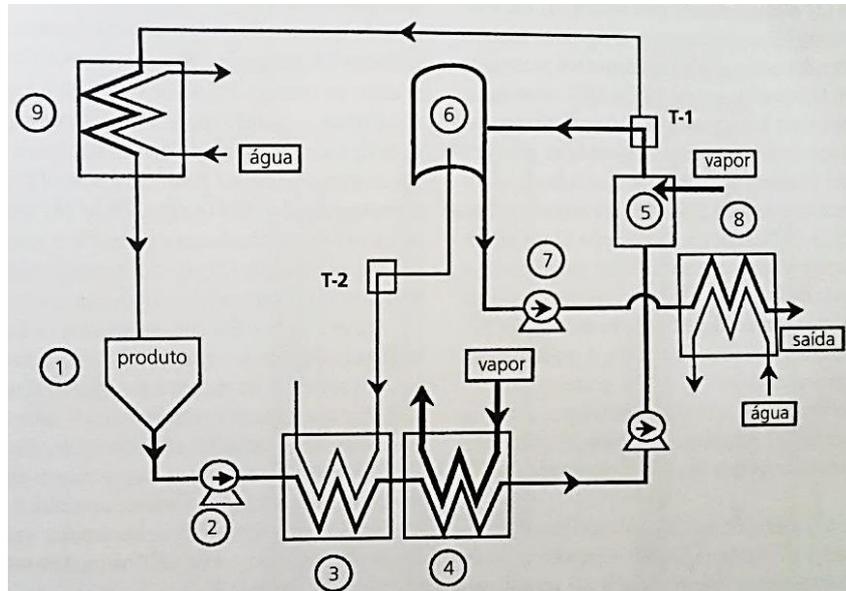
**Figura 18** - Esquema de funcionamento de um equipamento de UHT indireto. Disponível em: [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br). Acesso em 07/09/2014.

No **processo direto**, aplicado em bebidas lácteas de um modo geral, como leite, iogurte, achocolatados etc., o fornecimento de energia sob a forma de calor ocorre por meio da injeção de vapor d'água no alimento ou ao se injetar o alimento em vapor d'água. Nessa técnica, ocorre o contato entre o agente calefator e o alimento, e o aquecimento, pelo processo de convecção, de 85°C para 140°C, ocorre de maneira praticamente instantânea.

A figura 19 representa o diagrama de fluxo do processo UHT direto.

Nesse diagrama, o produto é levado do tanque de armazenamento (1) por uma bomba (2) até o trocador-regenerador (3), onde se inicia o aquecimento até uma temperatura de 80°C, para então ser levado ao trocador (4). A seguir, o produto é bombeado ao injetor de vapor (5), a uma pressão que varia de 800 a 1000 kPa. Nesse ponto, o vapor transfere a sua energia sob a forma de calor latente ao produto, que é esterilizado a temperaturas entre 140 °C e 150°C por um intervalo de tempo curto (entre 2 a 4 segundos) no tubo de manutenção. Por meio de um termômetro (T-1), a temperatura é controlada. A operação estando correta, o produto resfria-se até uma temperatura de 75°C, por expansão na câmara de vácuo (6), onde ocorre a eliminação

do vapor d'água que condensou. Ao deixar a seção (6), o produto é impulsionado por uma bomba (7) até o trocador estéril (8), onde ocorre o resfriamento até a temperatura da embalagem asséptica.



**Figura 19** - Diagrama do processo UHT direto. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p, 120)

A figura 20 apresenta um equipamento de UHT direto utilizado no processamento do leite.

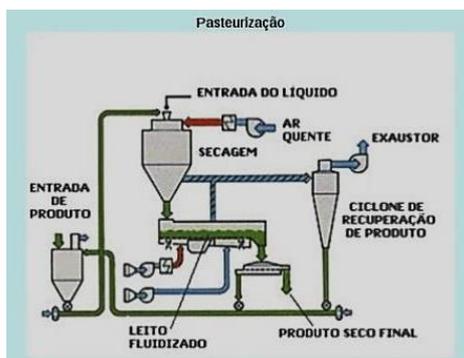


**Figura 20** - Equipamento de UHT direto. Disponível em: [www.didatech.com.br](http://www.didatech.com.br). Acesso em 07/09/2014.

Os conceitos físicos presentes no processo de esterilização de alimentos não acondicionados são: variação de temperatura, processos de transferência de energia sob a forma de calor por convecção, quando se coloca o alimento a ser esterilizado em contato com o líquido calefator, por meio de altas variações de temperatura. A condução se faz presente na transferência de energia sob a forma de calor. Esse processo é feito de partícula para partícula no método UHT.

### 2.1.1.2 Pasteurização

A pasteurização é um processo destinado a destruir os micro-organismos patogênicos, visando a oferecer ao consumidor um produto final com vida útil aceitável e seguro para ser consumido em pouco tempo. A figura 21 representa um esquema geral de pasteurização.

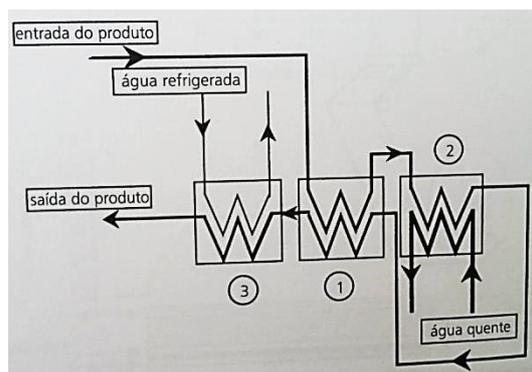


**Figura 21** - Esquema geral de um processo de pasteurização. Fonte: [www.educadores.diaadia.pr.gov.br](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br). Acesso em 22/09/2014.

Os tipos de pasteurização existentes no mercado são:

**Low Temperature holding (LTH):** também chamada de pasteurização baixa por fazer uso de baixas temperaturas. Empregado na pasteurização de leite, sucos, cerveja etc. Esse método consiste num processo descontínuo, viável para pasteurização de pequenos volumes de 100 a 500 litros. O tempo de duração desse processo é de 30 minutos, com temperaturas variando entre 62°C e 68°C. Esse procedimento é realizado em tanques de paredes duplas com a finalidade de se evitar o contato direto do alimento com o fluido calefator, fazendo uso de termômetro e de agitadores. O fluido calefator circula pelas paredes duplas do recipiente.

**High temperature/short time,** também chamada de pasteurização alta. Esse processo utiliza trocadores de calor em fluxo contínuo, empregando temperaturas elevadas por curto intervalo de tempo. As temperaturas variam de 72°C a 85°C e o tempo, entre 15 e 20 segundos. A figura 22 representa um diagrama de pasteurização alta. No trocador-regenerador (1) o produto é pré-aquecido e levado ao trocador (2), onde é feita a pasteurização. Após o processamento, o produto passa novamente para o trocador (1) e é transportado para o trocador (3), onde ocorre o processo de refrigeração para posterior acondicionamento em garrafas de vidro ou plástico, sacos plásticos, papelão etc.



**Figura 22** - Diagrama do fluxo de pasteurização. Fontes: (ORDÓÑEZ, 2005, p. 122)

### 2.1.1.3 Termização

O processo de Termização trata-se de fluxo contínuo semelhante à pasteurização, com um diferencial de tempo e temperatura. Esse tipo de tratamento é menos intenso, com o tempo variando de 10 a 15 segundos, e a temperatura entre 60°C e 65°C. Esse método é atualmente aplicado ao leite cru, visando a manter baixa a taxa de bactérias.

Os conceitos físicos apresentados no processo de pasteurização são: temperatura: quando os alimentos são submetidos à agitação dentro do equipamento, uma das causas do aumento da vibração dessas partículas, e, conseqüentemente, do aumento de temperatura. Transferência de energia na forma de calor por condução: quando o alimento entra em contato com as paredes do recipiente onde se encontra aprisionado o fluido calefator, e por convecção no próprio alimento, que ao ser aquecido forma as correntes de convecção.

### 2.1.2 Conservação pela diminuição da temperatura<sup>18</sup>

De acordo com Ordóñez (2005), a conservação de alimentos que utiliza o emprego de baixas temperaturas é bastante antiga. Possivelmente os homens das cavernas tenham armazenado suas caças em meio ao gelo no sentido de protegê-las para posterior consumo, porém relatos só existem a partir do século VIII a.C., época em que os chineses já conservavam o gelo em covas ou sob a terra para posterior uso durante o verão.

<sup>18</sup> - Nos livros específicos do curso de alimentos trazem esse procedimento com o título de conservação pela ação do frio.

A diminuição de temperatura para a conservação de alimentos teve início no século XIX, período em que ocorreu um grande avanço na indústria alimentícia. Somente a partir dessa época é que houve a possibilidade de armazenamento e transporte de alimentos perecíveis. Registros indicam que por volta de 1830 teve início o desenvolvimento de máquinas frigoríficas que foram instaladas em barcos para o transporte de carne congelada de países da América do sul para a Europa. Com esse processo, a carne chegava ao destino final em excelentes condições. Nesse sentido, a conservação de alimentos pela diminuição de temperatura melhorou muito a qualidade dos produtos ao longo da cadeia alimentar (ORDÓÑEZ, 2005).

Historicamente, podemos citar alguns fatos que contribuíram para o desenvolvimento da técnica de conservação de alimentos pela diminuição da temperatura:

[...] 1595 – Galileu utilizou um termômetro exato; 1622 – Boyle anunciou as Leis relacionadas com o volume e a pressão dos gases; 1823 – Faraday estudou as mudanças de estado das substâncias; 1824 – Carnot descreveu o chamado ciclo de Carnot (expansão e compressão dos gases); 1834 – Perkins usou a máquina de compressão; 1875 – Linde usou o amoníaco como substância refrigerante; 1881 – Formou-se na Nova Zelândia uma companhia para transporte de carne para a Inglaterra; 1920 – Birdseye iniciou nos Estados Unidos o congelamento rápido de alimentos (DESROSIER, apud GAVA, 2008, p.344).

A conservação de alimentos pela diminuição de temperatura tem a finalidade de inibir parcial ou totalmente os agentes responsáveis pela sua alteração, como a proliferação de micro-organismos. A refrigeração, como o congelamento, permite prolongar a vida útil dos alimentos durante longos períodos de tempo, sejam estes frescos ou processados, garantindo alterações mínimas nas suas características nutritivas e organolépticas<sup>19</sup> (ORDÓÑEZ, 2005).

De acordo com Ordóñez (2005), a conservação dos alimentos pela diminuição de temperatura é uma das técnicas mais utilizadas na indústria de alimentos, onde há também o emprego dos métodos de transmissão de energia sob a forma de calor. Neste caso, o processo é o inverso dos anteriores, como, por exemplo, a pasteurização, em que alimento recebe energia na forma de calor. Na conservação pela diminuição da temperatura, o alimento que se encontra quente transfere energia na forma de calor para o meio externo, frio, seguindo os métodos de congelamento e resfriamento.

---

<sup>19</sup> Características organolépticas: características de uma substância que podem ser percebidas com nossos sentidos, como cor, odor e sabor (SOUZA, et al, 2004)

Mesmo que o congelamento e o resfriamento tenham a finalidade de reduzir a temperatura do alimento para prolongar o seu tempo de conservação, existe, de acordo com Ordóñez (2005), uma diferença entre esses dois processos:

### 2.1.2.1 Refrigeração

Processo que visa à redução e à manutenção da temperatura do alimento acima do seu ponto de congelamento. As temperaturas mais utilizadas nesse processo estão entre 8°C e -1°C, com a finalidade de retardar o crescimento de micro-organismos. Nesse processo, ocorre uma mudança no calor sensível do produto, ou seja, apenas uma variação na sua temperatura. Como a refrigeração não evita totalmente o crescimento microbiano, dizemos que esse processo é limitado para prolongar o tempo de vida útil dos alimentos, haja vista que cada produto possui características e formas de armazenamento que diferem uns dos outros.

### 2.1.2.2 Congelamento

Segundo Ordóñez (2005), o congelamento é uma técnica em que a redução da temperatura é bem maior que no resfriamento. Como a maioria dos alimentos congelam a temperaturas inferiores a 0°C, é a essa temperatura que se inicia o processo. No caso do congelamento que visa à conservação dos alimentos por longo prazo, a temperatura varia de 0°C a -18°C. Esse processo provoca mudança na energia sob a forma de calor sensível do alimento (variação na sua temperatura), como também na energia sob a forma de calor latente associada à mudança de fase. Essa mudança de fase corresponde à transformação de uma parte da água líquida em gelo. Para esse tipo de congelamento, exige-se a liberação de energia na forma de calor para que a porção líquida sofra o processo de solidificação. A diferença entre o congelamento e o resfriamento reside nessa mudança de estado da água de líquido para sólido.

O processo de congelamento proporciona a formação de cristais de gelo, o que faz com que grande parte da água seja imobilizada, evitando-se o crescimento e a atividade dos micro-organismos. Nessa técnica, o processo de metabolismo celular é inibido por completo. Assim, para o congelamento de vegetais, é necessário que antes do processo os alimentos estejam em um grau de amadurecimento apropriado para o consumo logo após ser descongelado. Caso se queira uma melhor qualidade do alimento

congelado, sugere-se que o congelamento seja feito de forma rápida, a temperaturas inferiores a  $-18^{\circ}\text{C}$ , quando a água contida nas suas partes interna e externa congela à mesma velocidade, assegurando as qualidades de sabor e textura desse alimento.

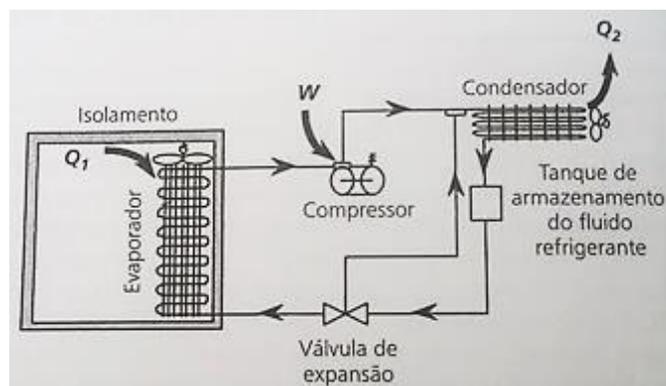
Os conceitos físicos presentes nos processos de refrigeração e congelamento são: variação de temperatura, processos de transferência de energia sob a forma de calor, por convecção, quando se faz a retirada de energia do alimento sob a forma de calor em uma câmara fechada com correntes de convecção; calor sensível associado à variação de temperatura do alimento antes e após o congelamento; calor latente da substância no ponto de solidificação da água livre contida no alimento.

De acordo com Ordóñez (2005), o processo de conservação pela diminuição de temperatura é dividido em dois grupos:

**1. Sistema mecânico:** necessariamente esse processo ocorre em sistemas fechados, em que uma bomba retira a energia na forma de calor do alimento ou do ambiente onde este se encontra a baixa temperatura e a transfere a outra parte do sistema, em que ela é dissipada. Esse processo ocorre devido à utilização de fluidos refrigerantes. Esses fluidos, como, por exemplo, o gás fréon, que circula através do sistema mecânico constituído de compressor, condensador e tanque de armazenamento do fluido refrigerante, trabalha por meio de um circuito fechado em que ocorre a sua transformação sucessiva em vapor e de vapor em líquido. Em um trocador de calor denominado evaporador, o gás que está no estado líquido evapora por meio da retirada de energia sob a forma de calor de um meio mais quente, no caso o alimento, provocando o seu resfriamento (ver figura 23). O gás que foi evaporado flui para o compressor, onde aumenta a sua temperatura por meio de compressão a uma pressão suficientemente alta para ser condensado em um condensador (também chamado de trocador de calor), com o uso de água fria. Nesse ponto, ocorre a eliminação do calor cedido pelo alimento ao gás, para a sua evaporação, como também aquele adquirido no processo de compressão. Ao passar por uma válvula de expansão, o gás se expande e sua temperatura diminui para que seja reiniciado o processo. Nesse método, o fluido refrigerante nunca entra em contato com o alimento, mas resfria o meio em contato com este.

Esses fluidos possuem a temperatura de ebulição à pressão de 1,0 atm, inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ , e o calor latente de vaporização muito alto, ou seja, necessita receber muita energia sob a forma de calor para fazer a passagem de líquido para vapor, razão pela

qual a sua utilização é eficiente para resfriar alimentos. De acordo com Gava (2008), o gás fréon 12 tem o ponto de ebulição em  $-29,9\text{ C}$  e calor latente de vaporização de  $39,0\text{ cal/g}$ . O diagrama da figura 23 traduz o circuito de refrigeração mecânica, em que  $Q_1$  representa a quantidade de calor transferida ao refrigerante e  $Q_2$ , o calor cedido por este. O trabalho realizado pelo compressor é representado pela letra  $W$ .



**Figura 23** - Diagrama de circuito de refrigeração mecânica. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p. 178).

**2. Sistema criogênico:** é um sistema de refrigeração aberto que utiliza líquidos criogênicos<sup>20</sup> ou gases liquefeitos. Esses compostos possuem ponto de ebulição muito baixo e elevado calor latente de vaporização. Neste processo, o alimento resfria por contato direto com esses líquidos. Nessa interação, os líquidos absorvem energia na forma de calor dos alimentos para fazer a evaporação ou sublimação, ou seja, passar do estado líquido para vapor ou diretamente de sólido para vapor, possibilitando a refrigeração do alimento, caso em que se dá o abaixamento de sua temperatura, já que ele forneceu calor ao fluido refrigerante.

Os conceitos físicos associados a esses dois processos são: propagação da energia sob a forma de calor na forma de convecção no sistema mecânico por meio de trocadores de calor, compressor e condensador, em que não há contato direto do fluido com o produto a ser resfriado. Mudança de fase no caso do gás fréon, em que passa do estado líquido para vapor quando retira energia do alimento sob a forma de calor e de vapor para líquido, no momento em que é condensado no condensador. Calor latente de vaporização e temperatura de ebulição, apresentados para o gás fréon na justificativa de sua utilização para o resfriamento de alimentos. Propagação da energia sob a forma de

<sup>20</sup> Gases criogênicos: líquidos com ponto de vaporização inferior a  $-150\text{ °C}$ . Disponível em: <http://books.google.com.br/>. Acesso em: 18/09/2014.

calor por condução no sistema criogênico em que o fluido entra em contato com o alimento.

### 2.1.2.3 Equipamentos Empregados na Refrigeração

A convecção forçada (ar em movimento) é um dos processos mais utilizados pela indústria alimentícia para a refrigeração dos alimentos sólidos, como carnes, frutas e produtos acondicionados.

Um dos métodos bastante utilizados na indústria alimentícia é a refrigeração a vácuo, por ser rápida e econômica.

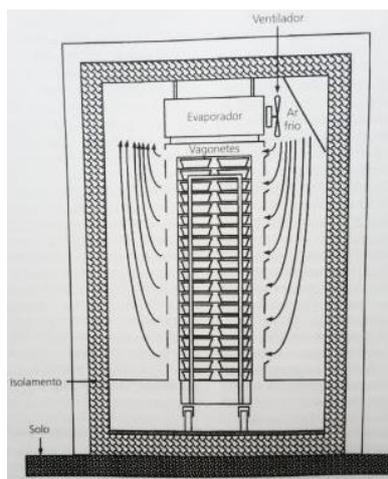
Essa técnica é empregada para alimentos porosos e tem uma alta relação entre o volume e a superfície ocupada por eles (figura 24).

Neste caso, os alimentos são colocados em uma câmara (compartimento fechado,) e resfriam por refrigeração (evaporação da água) quando se aplica vácuo (0,5 kPa), ou seja, é feita a retirada do ar do interior do ambiente, sob pressão (ver figura 25).

Esse processo é muito utilizado na refrigeração de produtos pré-cozidos, porém deve-se fazer o controle da pressão empregada com a finalidade de não modificar a textura do alimento. O fator negativo desse procedimento é o alto custo total do equipamento (ver figura 25).



**Figura 24** - Câmara de refrigeração. Disponível em: [www.jmcrefrigeracao.com](http://www.jmcrefrigeracao.com). Acesso em 22/09/2014.



**Figura 25** - Esquema em corte transversal de uma câmara de refrigeração. As flechas indicam o movimento do ar no interior da câmara. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, P. 184)

Para o transporte de alimentos resfriados, realizados por caminhões equipados com baú térmico, o produto deve ser acondicionado no veículo, obrigatoriamente já com as temperaturas reduzidas, pois o sistema de refrigeração utilizado nesse processo não permite fazer transferências de energia sob a forma de calor<sup>21</sup>, mas apenas manter a temperatura do alimento a ser transportado. Como o sistema não possui equipamento para a retirada do ar quente que possa porventura entrar em contato com a carga, faz-se necessário o uso de uma boa logística para a entrega dos produtos a fim de se evitar o abrir e fechar das portas do compartimento por várias vezes até a entrega total da carga (PEREIRA, et al, 2010).

Em resumo, os conceitos físicos associados aos equipamentos de refrigeração de um modo geral são: processo de transferência de energia sob a forma de calor por convecção nas câmaras de resfriamento, possibilitando a evaporação de água do alimento por meio das correntes de convecção. Isolante térmico, no caso dos caminhões para transporte de produtos refrigerados, com a finalidade de se evitar as transferências de energia sob a forma de calor com o meio externo.

#### 2.1.2.4 Equipamentos Empregados para o Congelamento por Ar

Segundo Ordóñez (2005), os equipamentos empregados para o congelamento de alimentos são classificados em:

<sup>21</sup> - Nos livros do curso técnico em alimentos utilizam-se a expressão: trocas de calor.

#### 2.1.2.4.1 CONGELAMENTO POR CONVECÇÃO NATURAL<sup>22</sup>

Nesta classe de procedimentos, os instrumentos mais simples são as **câmaras frigoríficas** denominadas de *Sharp freezers*. Neste método, o ar move-se por convecção natural a temperaturas entre -20°C e -30°C.

Nessa forma de congelamento, a transmissão de energia na forma de calor é pequena e a velocidade de congelamento é lenta, razão pela qual a perda da qualidade dos alimentos é significativa.

Para um congelamento rápido, utilizam-se os **congeladores de convecção forçada** (*blast freezers*), onde o ar circula a grandes velocidades, aumentando a transmissão de energia sob a forma de calor, ou seja, quanto maior a velocidade de propagação do ar, mais rápido o alimento é congelado.

Para o processamento de grandes variedades de produtos, usam-se os **túneis de congelamento**, por terem baixo custo de funcionamento.

Nesse tipo de procedimento, os alimentos são transportados em bandejas empilhadas em vagonetes (carrinhos) que se movimentam em trilhos ao longo do túnel, ou também por esteiras rolantes. O movimento de ar pode ser perpendicular ou paralelo (do mesmo sentido ou em sentido contrário) ao alimento.

Devido à alta velocidade<sup>23</sup>, há grande diferença de temperatura entre o alimento morno, o ar frio e a baixa umidade relativa do ar. Os alimentos não acondicionados podem sofrer queimaduras pelo frio. Esse processo de queimadura ocorre devido ao fato de a água passar do estado sólido para vapor sem antes passar pela fase líquida, fazendo com que o produto adquira grandes quantidades de cristais de gelo.

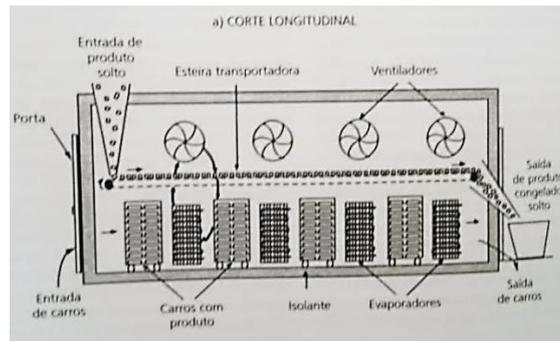
Para se evitar tal inconveniente, deve-se borrifar o alimento com água na zona de carga, com a finalidade de formar uma camada de gelo que irá protegê-lo.

Como exemplo de túneis de congelamento, tem-se o túnel de congelamento de Frick. As figuras 26 e 27 apresentam os esquemas de seu funcionamento.

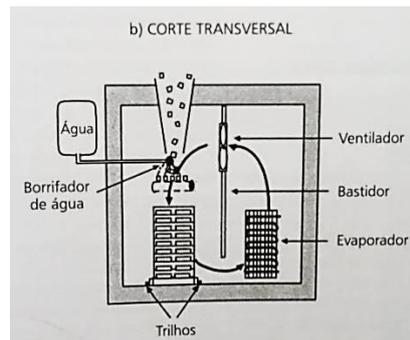
---

<sup>22</sup> - Nos livros que tratam deste assunto no curso técnico em alimentos trazem essa técnica com o nome de Congelamento por ar.

<sup>23</sup> -Velocidade: por definição: relação entre o deslocamento de um corpo em determinado tempo. Disponível em <http://www.sofisica.com.br/>. Acesso em 03/02/2015.

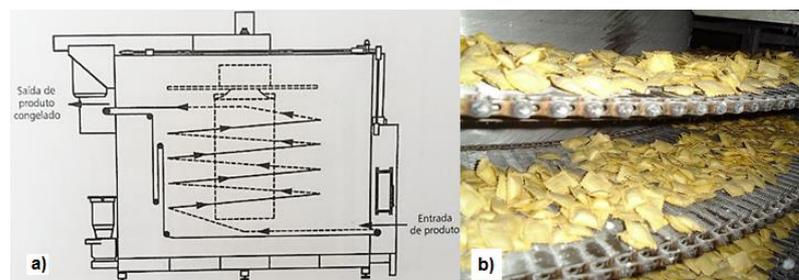


**Figura 26** - Corte longitudinal de um túnel de congelamento Frick. Fonte; (ORDÓÑEZ, 2005, P. 186)



**Figura 27**- Corte transversal de um túnel de congelamento Frick. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p. 186)

Outra modalidade de equipamento utilizado no congelamento de alimentos são os **congeladores em espiral**. Esses aparelhos, devido ao seu formato, têm a finalidade de aumentar a capacidade de congelamento ocupando o menor espaço possível. Os produtos são colocados em uma esteira transportadora metálica flexível e auto-empilhável, a qual descreve uma trajetória espiral, figura 28 a. O processo é feito com o fluxo de ar em contracorrente em relação ao produto, para que haja uma eficiência maior na transmissão da energia sob a forma de calor, ou seja, a perda de energia sob a forma de calor é maior quando o ar circula no sentido oposto ao do alimento. Há também as vantagens do funcionamento automático e da capacidade de congelar diversos tipos de produtos de uma só vez, conforme mostra figura 28 b.



**Figura 28** (a) Esquema de congelamento em espiral. Fonte (ORDÓÑEZ, 2005, P.187); (b) Congelamento em espiral, usado para massas. Disponível em: [www.portuguese.alibaba.com.br](http://www.portuguese.alibaba.com.br). Acesso em: 20/09/2014.

Nesses processos de congelamento por convecção natural, os conceitos físicos associados são: propagação da energia sob a forma de calor por convecção natural e forçada nos casos onde se deseja o congelamento mais lento ou mais rápido, com a utilização de correntes de convecção a favor ou contra a movimentação do alimento. Mudança de estado da água de sólido para vapor sem antes passar pela fase líquida nos túneis de congelamento.

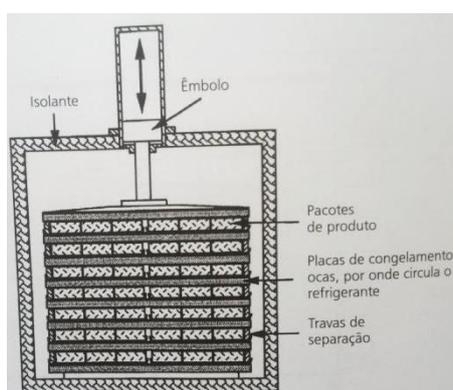
#### 2.1.2.4.2 CONGELAMENTO POR CONTATO

No congelamento por contato, o equipamento mais utilizado é o **congelador de placas paralelas**.

Conforme a figura 29, o produto a ser congelado é colocado em cima de placas paralelas e ocas, sendo que em seu interior circula o fluido refrigerante.

As placas são colocadas em uma cabine isolada, onde recebem o produto. Em seguida, faz-se uma leve pressão para melhorar o contato entre o alimento e as superfícies frias, ou seja, para aumentar a força com que o alimento irá aderir à superfície para facilitar a propagação da energia sob a forma de calor pelo processo de condução.

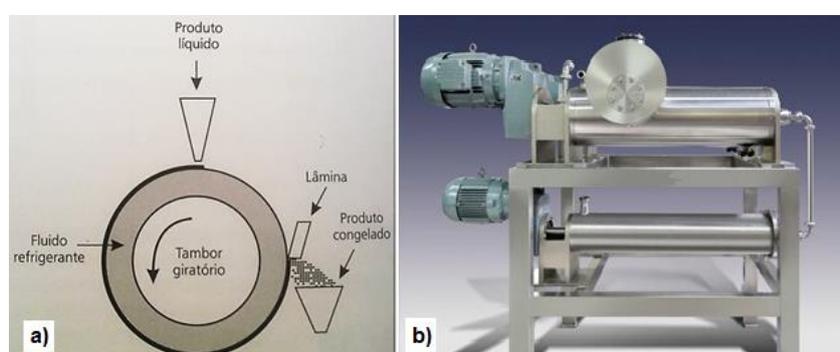
Esse melhor contato do alimento com as placas facilita a transmissão da energia sob a forma de calor e a velocidade do congelamento. Esse dispositivo é muito utilizado para o congelamento de filés de peixe ou de carne, por serem planos e de pequena espessura.



**Figura 29** - Esquema de congelador de placas horizontais de funcionamento descontínuo. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p, 188)

Já o congelamento indicado para produtos a granel que podem deformar, ou de produtos em formato de bloco, utilizam-se os **congeladores de placas verticais**. Para os

produtos pastosos (purês, sorvetes, etc.) e líquidos, são recomendados os **congeladores de tambor ou de superfície raspada**, conforme figura 30 (a e b). No interior do tambor, circula um fluido refrigerante semelhante a um trocador de energia sob a forma de calor<sup>24</sup>. Uma fina camada do produto é colocada sobre a superfície do tambor. O produto é congelado rapidamente e retirado por meio de uma lâmina raspadora, figura 30. Os produtos são congelados até a consistência pastosa para depois serem bombeados e acondicionados em recipientes. Após esse processo, são colocados em câmaras de armazenamento para então se completar o congelamento. Como exemplo desse tipo, podemos citar o congelamento de sorvetes.



**Figura 30** – (a) Esquema de congelador de superfície raspada. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p. 188); (b) Congelador de superfície raspada. Disponível em: [www.maquinaindustrial.com.br/](http://www.maquinaindustrial.com.br/). Acesso em: 20/09/2014.

Portanto, os conceitos físicos associados ao congelamento por contato são: propagação da energia sob a forma de calor por condução, quando os alimentos são colocados sobre placas para melhor contato com a superfície fria e, conseqüentemente, a retirada de energia sob a forma de calor, ou quando aderem ao tambor de superfície raspada. Propagação da energia sob a forma de calor por convecção nos fluidos refrigerantes dentro das placas, onde os produtos são acondicionados.

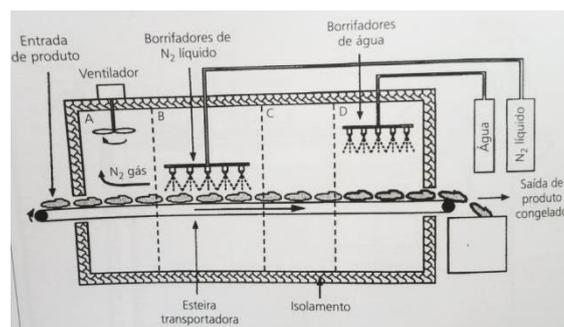
### 3. Congelamento criogênico<sup>25</sup>

O sistema utilizado nesse processo consiste no uso de túneis de funcionamento contínuo, divididos em seções e dotados de esteiras rolantes de malha metálica para transportar o produto a ser congelado, de bocas para aspergir o composto criogênico e

<sup>24</sup> - O termo técnico usado nos livros do curso de alimentos é trocador de calor.

<sup>25</sup> - Líquido Criogênico: substâncias que, em condições normais de temperatura e pressão, encontra-se em estado gasoso e que para serem liquefeitas precisam ser submetidas à temperatura inferiores a  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em 04/10/2014.

de um sistema de ventilação suave para distribuir de forma homogênea o fluido no túnel. Como exemplo, tem-se o congelamento de filés de pescados, de marisco, de filés de carne, de embutidos em rodela etc., que utiliza o nitrogênio como fluido criogênico. Na área de congelamento (ver figura 31), os alimentos recebem um jato bem fino desse fluido no estado líquido, pois como seu ponto de vaporização é  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ocorre uma redução drástica da temperatura na superfície do alimento. Na zona seguinte, sua temperatura se estabiliza, ou seja, a temperatura interna se iguala à temperatura da camada externa. Isso quer dizer que, por condução, a parte interna do alimento também será congelada, permanecendo ambas com a mesma temperatura e dessa forma atingindo o equilíbrio térmico. O último passo é a vitrificação, por meio da água borrifada, em que é aproveitado o frio residual do alimento, ou seja, ao entrar em contato com a superfície fria do alimento a água passa da fase líquida para sólida, formando uma fina camada de gelo sobre este. Neste caso, o alimento já se encontra preparado para ser armazenado a uma temperatura aproximada de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com sua superfície protegida da desidratação por uma camada de gelo. Esse processo é indicado para produtos que apresentam grande relação superfície/volume. Para estes, a difusão interna do calor não restringe a transferência de energia sob a forma de calor do alimento para o meio refrigerante, e também para a parte interna deste. Nesse procedimento, o produto adquire uma camada considerável de gelo, o que facilita o seu manuseio e acondicionamento.



**Figura 31** - Congelador criogênico de Nitrogênio líquido; Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p. 190).

No congelamento por contato e com o uso de líquidos criogênicos estão associados os seguintes conceitos físicos: propagação da energia sob a forma de calor por condução, no momento em que os alimentos são colocados em contato com as placas metálicas que irão retirar energia do alimento sob a forma de calor, bem como nos trocadores de energia sob a forma de calor nos tambores com raspagem. Neste

último, o alimento, por ser pastoso, adere à superfície do tambor, que também irá retirar energia dele sob a forma de calor. Há também o equilíbrio térmico, momento em que a parte interna do alimento iguala a sua temperatura com a externa. Em ambos os casos, um fluido refrigerante circula entre as paredes duplas das placas ou do tambor, pelo processo de convecção. No processo criogênico, o líquido refrigerante que é borrifado sobre o alimento, ao entrar em contato com este, retira a energia sob a forma de calor dele, por condução, para que possa evaporar.

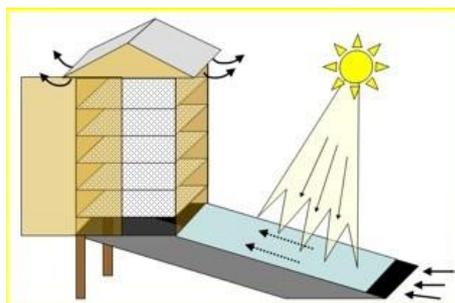
### 2.1.3 Conservação pelo Controle de Umidade

Segundo Gava, Silva e Frias (2008), o método de conservação de alimentos pelo processo de controle da umidade é um procedimento antigo que consiste na diminuição da umidade do produto. O homem aprendeu a utilizar a secagem dos alimentos com a própria natureza, onde quase todos os vegetais podem ser secados no seu próprio campo de cultivo. Esse processo natural é considerado muito eficiente e muitas vezes dispensa a ajuda do homem por acontecer espontaneamente.

Segundo Oetterer (2010), a conservação de um alimento pelo controle da sua umidade recebe o nome de secagem ou desidratação. Secar ou desidratar um alimento consiste na retirada parcial ou total da água dele. A secagem normalmente ocorre em condições ambientais e a desidratação, por meio de equipamentos.

#### 2.1.3.1 Secagem Natural

Essa forma de se conservar o alimento consiste em se eliminar a umidade destes de forma natural, ou seja, não forçada (OETTERER, 2010). A secagem natural, como mostra a figura 32, em que o alimento é colocado sob a exposição de luz solar, é indicada para pequenas quantidades, pois depende de fatores que o homem não pode controlar, como o clima e a presença de insetos e roedores.



**Figura 32** - Secador solar. Disponível em [www.sempresustentavel.com.br](http://www.sempresustentavel.com.br). Acesso em 20/09/2014.

Durante algum tempo, a secagem natural foi indicada somente para frutas que possuíam grande valor em açúcares, que após a colheita poderiam secar rapidamente sem apresentar prejuízos provocados por fungos ou pela fermentação.

De acordo com Oetterer (2010), são poucas as regiões do mundo que adotam a técnica da secagem natural, pois são vários os fatores envolvidos no favorecimento de uma boa prática desse procedimento, tais como: regiões com baixa precipitação pluviométrica, clima seco, boa evaporação, baixo grau higrométrico, regimes favoráveis de ventos, muitas horas de radiação solar e elevadas temperaturas. Dentre os países que cultivam essa técnica, podemos citar Estados Unidos, Turquia, Grécia e Chile. De acordo com Rezende *et al.*,(2007) o nordeste brasileiro possui algumas regiões que podem favorecer esse procedimento, pois apresenta, em determinadas épocas do ano, as características citadas acima.

De Um modo geral, esse processo consiste na transferência de energia sob a forma de calor<sup>26</sup> com a finalidade de remover a maior parte da água normalmente presente nos alimentos pelo processo de evaporação. O ar aquecido, ao passar sobre o alimento a ser secado, transfere energia sob a forma de calor para a sua superfície e a retirada da umidade é feita pela propagação da energia sob a forma de calor latente e vaporização.

Nesse processo, o vapor de água é carregado pelo ar em movimento, que cria uma região de menor pressão na superfície do alimento, onde um gradiente<sup>27</sup> de pressão deste se estabelece no interior úmido do alimento para o ar seco. Esse gradiente é que favorece o aparecimento da força para a retirada da água do interior do alimento (OETTERER, 2010).

Os conceitos físicos associados à secagem natural são: transferência de energia sob a forma de calor por convecção, quando o ar quente passa sobre o alimento, de forma natural, retirando a umidade deste pela propagação da energia sob a forma de calor latente de vaporização da água. O ar em movimento proporciona as correntes de convecção para retirar o vapor d'água do interior da secadora.

### **Equipamentos e técnicas a para secagem ao sol.**

---

<sup>26</sup> - Os livros técnicos do curso de alimentos utilizam a expressão “aplicação de calor”.

<sup>27</sup> - Gradiente: Variação de uma grandeza ao longo de uma dimensão espacial, ao longo de uma determinada direção. Disponível em: [www.infopedia.pt/](http://www.infopedia.pt/). Acesso em 07/02/2015.

De acordo com Oetterer (2010), neste processo, os alimentos são acondicionados em bandejas de aço inoxidável e são expostos ao sol durante o tempo suficiente para a perda de 50% a 70% da sua umidade. As bandejas são protegidas com telas de nylon, que têm a função de arejar os alimentos, e de um tecido (talagarça) que tem a finalidade de evitar o contato de insetos com o produto que se deseja secar.

Após a retirada do percentual de água, o produto é transportado para a sombra, em local ventilado, até que se alcance o produto final, ou seja, a retirada do percentual desejado de água desse alimento.

### 2.1.3.2 Secagem Solar Mecânica

O processo de secagem solar mecânica é um método que permite o controle mais apurado das condições ambientais e mais higiênico que o método anterior. Nesse sentido, pode-se dizer que é um método mais sofisticado que a secagem ao sol, conforme mostra a figura 33. Nesse método, faz-se uso de um coletor de radiação solar<sup>28</sup> que vai absorver a radiação proveniente do sol sob a forma de ondas eletromagnéticas<sup>29</sup> e transformá-la em energia sob a forma de calor, com o intuito de aumentar a temperatura entre 11 e 17°C em relação à temperatura ambiente: interior do equipamento fechado (OETTERER, 2010).



**Figura 33** - Desidratador solar. Disponível em [www.cubasolar.cu](http://www.cubasolar.cu). Acesso em: 19/09/2014.

---

<sup>28</sup> Radiação solar: quantidade de energia eletromagnética emitida pelo sol, de natureza variável que se propaga pela atmosfera. Disponível em: <http://pt.scribd.com/>. Acesso em 03/02/2015.

<sup>29</sup> - Ondas eletromagnéticas: pulsos energéticos capazes de se propagarem no vácuo, criados a partir da interação entre um campo elétrico e um campo magnético. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/>. Acesso em 02/10/2014.

A fim de aumentar o tempo de secagem, alguns desidratadores possuem ventiladores que conservam a circulação do ar, enquanto outros trabalham com a convecção a partir de um sistema que aquece o ar, ligado ao equipamento. Nesse caso, o aparelho possui duas aberturas, sendo que a primeira está localizada na parte inferior e a segunda na parte superior. A primeira abertura permite a entrada de ar aquecido e a segunda elimina o vapor proveniente da retirada de água dos alimentos. Esse processo utiliza o princípio de propagação da energia sob a forma de calor por convecção, pois o ar mais aquecido, que é menos denso, tende a subir, saindo pela abertura existente na parte superior do equipamento.

Esse procedimento é muito utilizado para a secagem de plantas medicinais e de condimentos, de acordo com a figura 34, em que se trabalha com temperaturas mínimas de aproximadamente de 30°C e com baixa umidade relativa do ar, para que não se modifiquem as propriedades medicinais das plantas (OETTERER, 2010).



**Figura 34** - Desidratador de ervas medicinais. Disponível em: [www.jornalagricola.wordpress.com](http://www.jornalagricola.wordpress.com). Acesso em 19/09/2014.

### 2.1.3.3 Desidratação ou Secagem Artificial.

Para Oetterer (2010), esse método tem como vantagens a rapidez, o controle das condições de desidratação e o pequeno espaço a ser utilizado. Em contrapartida, tem um investimento relativamente alto e necessita de mão de obra especializada. A secagem artificial consiste na passagem de ar aquecido sobre o alimento, que tem controlada a sua umidade relativa, ou seja, a passagem desse ar aquecido retira a

umidade do alimento de acordo com a quantidade de água que se deseja evaporar. Nesse caso, o alimento pode estar parado ou em movimento.

Nesse procedimento, pode-se controlar a circulação e a velocidade do ar quente, a temperatura e a umidade, de acordo com o produto a ser trabalhado, bem como o grau de umidade desejado.

A quantidade de ar empregada na desidratação de alimentos é proporcional à temperatura utilizada, que possibilita a condução de energia sob a forma de calor através do alimento e a remoção da umidade contida no interior do produto.

Esse método, de acordo com Oetterer (2010), é muito utilizado na secagem de feijões, chás, especiarias e sopas desidratadas em que, à custa do equipamento, a desidratação corresponde à eliminação de quase toda a água contida no alimento, variando de 3% a 5% a umidade do produto final.

#### 2.1.3.3.1 TIPOS DE SECADORES

A escolha do equipamento a ser utilizado na secagem deverá estar de acordo com o produto a ser desidratado, com a forma como se deseja o produto final e com a disponibilidade financeira.

Esses secadores podem ser adiabáticos ou de contato. Os adiabáticos fornecem energia sob a forma de calor ao alimento por meio de ar quente, a exemplo dos secadores de cabine, de túnel, os atomizadores e os fornos secadores. Os de contato são aparelhos que utilizam uma superfície sólida como meio de transferência da energia sob a forma de calor aos alimentos (OETTERER, 2010).

A função de um desidratador por ar quente é fazer com que o alimento entre em contato com a corrente de ar quente, que faz a propagação da energia sob a forma de calor sensível para aumentar sua temperatura até o valor estabelecido para o calor latente de evaporação, sobretudo por convecção.

Como outra função, possibilita o arraste do vapor d'água liberado pelo alimento (ORDÓÑEZ, 2005). Isso quer dizer que o alimento sofre uma elevação da sua temperatura até atingir o valor do calor latente de evaporação da água. Por convecção, o vapor d'água é removido do alimento.

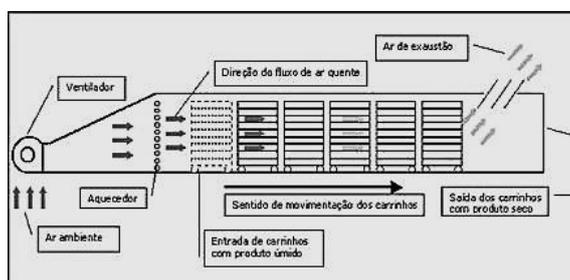
A figura 35 apresenta um exemplo de desidratador de frutas fatiadas, na secagem de maçãs.



**Figura 35** - Desidratador de frutas. Disponível em: [www.tecnutriconservacao.blogspot.com/](http://www.tecnutriconservacao.blogspot.com/) Acesso em 22/09/2014.

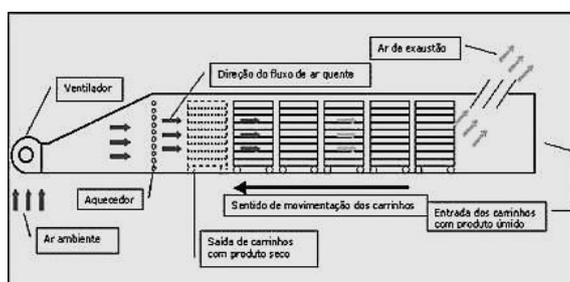
A escolha do equipamento a ser utilizado na secagem de alimentos está diretamente ligada à velocidade da desidratação e às características finais que se deseja obter do produto.

A figura 36 mostra um esquema de **secadores de fluxo concorrente**. Nesse equipamento, a movimentação do produto e do ar segue o mesmo sentido, o que possibilita uma secagem rápida devido à alta da temperatura no ponto de entrada do produto, tornando mais fácil a retirada da água do alimento.



**Figura 36** - Secador de fluxo concorrente. Disponível em [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br). Acesso em 20/09/2014.

- **Secadores de contracorrente**: o produto e o ar movimentam-se na mesma direção e em sentidos contrários, conforme figura 37.

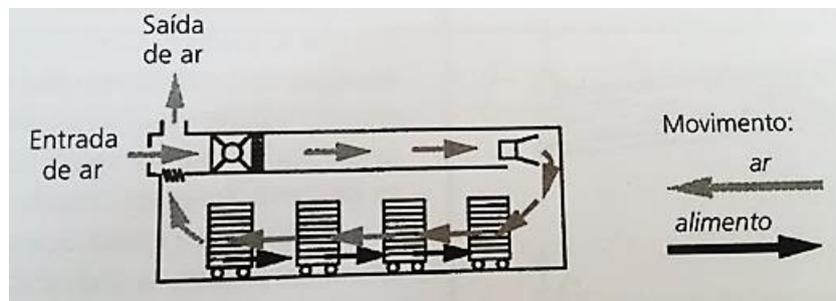


**Figura 37** - Secador de fluxo contracorrente. Disponível em [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br). Acesso em 20/09/2014.

Nesta técnica, o ar que o alimento encontra ao ser introduzido no equipamento tem pouca capacidade de secagem, o que torna o processo lento. Na saída do

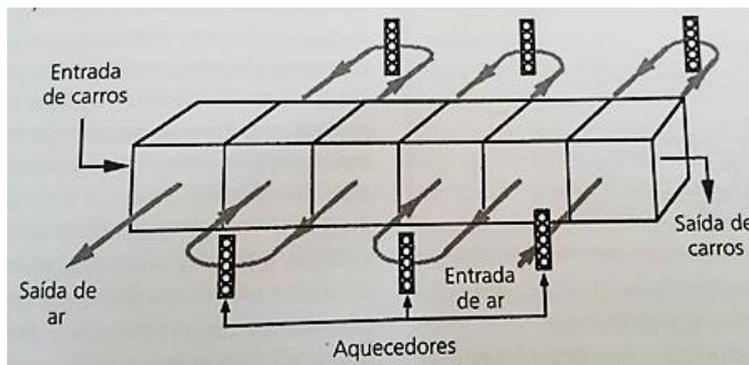
equipamento, o produto entra em contato com o ar quente e seco, que retira a umidade do alimento por transferência de energia na forma de calor na sua superfície, o que possibilita um alto grau de secagem. Isso faz com que o produto final tenha baixa quantidade de água.

- **Secadores de fluxo com evacuação central de ar:** esse método consiste na aplicação das duas técnicas anteriores, combinando o fluxo concorrente em um primeiro momento e, logo após, a contracorrente, encurtando os tempos de secagem, aumentando a capacidade de produção e com a facilidade de poder controlar a condições do processo. A figura 38 apresenta o esquema de um secador de fluxo com evacuação central de ar.



**Figura 38** - Secador de fluxo com evacuação. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p. 231)

-**Secadores de fluxo transversal:** o movimento do ar é perpendicular ao do produto (figura 39).



**Figura 39** - Secador de fluxo transversal. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p. 231)

Por possuir diversos aquecedores nas várias zonas, o equipamento possibilita a redução do tempo de secagem e a umidade do produto final é mais homogênea que nos processos anteriores, pela mudança na direção e sentido do ar ao longo do equipamento. Há, porém, um custo mais elevado por ser uma técnica muito complexa.

### **Secadores adiabáticos**

Basicamente os secadores adiabáticos<sup>30</sup> fazem uso do ar como meio de transferência de energia sob a forma de calor por condução que, quando em contato com o alimento, libera energia sob a forma de calor e simultaneamente conduz o vapor de água formado para fora da câmara. Como exemplo do tipo, Oetterer (2010) cita os seguintes secadores abaixo relacionados:

**-Secadores de armário ou cabine:** compostos de câmaras que recebem as bandejas com o produto a ser secado, conforme figura 40. O ar passa através de um sistema de aquecimento e, por impulso de ventiladores, passa em camadas finas pelo produto que está sendo seco. Esse procedimento é utilizado em pequena escala. Na secagem de frutas, recomenda-se que o aquecimento seja gradual no início, para que os frutos não enrijeçam externamente e nem ocorra o seu rompimento. Neste método, a temperatura varia de 50 a 70°C.



**Figura 40** - Secador de cabine. Disponível em [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br). Acesso em 20/09/2014.

**-Secadores do tipo forno:** Esse tipo de secador é de grande proporção (figura 41), geralmente de dois pavimentos. No pavimento inferior, é feito o aquecimento do ar que passa pelo produto, localizado no pavimento superior, por convecção natural, com a ajuda de uma chaminé.

O material a ser secado é disposto em camadas que, frequentemente, deverão ser revolvidas a fim de se obter um produto final com secagem uniforme. Esse equipamento trabalha com baixas temperaturas e exposição prolongada, sendo de grande utilização na secagem de alimentos em pedaços, cereais, erva etc.

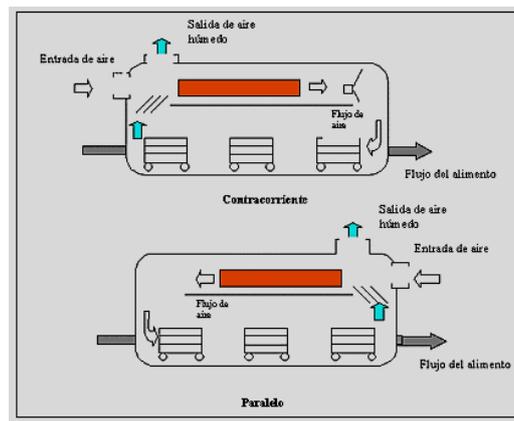
---

<sup>30</sup> - Adiabático: processo que ocorre sem que haja troca de calor com o ambiente. Disponível em: <http://www.dicionarioinformal.com.br/>. Acesso em 22/09/2014.



**Figura 41-** Secador do tipo forno. Disponível em: [www.forteusi.com.br](http://www.forteusi.com.br). Acesso em 22/09/21014.

**-Secadores de túnel:** equipados com um túnel de comprimento geralmente acima de 10 m, no qual o alimento a ser desidratado é disposto em bandejas que se movimentam sobre vagonetes (carrinhos) que entram por uma das extremidades e saem pela outra, com o nível de umidade previamente estabelecido (figura 42).

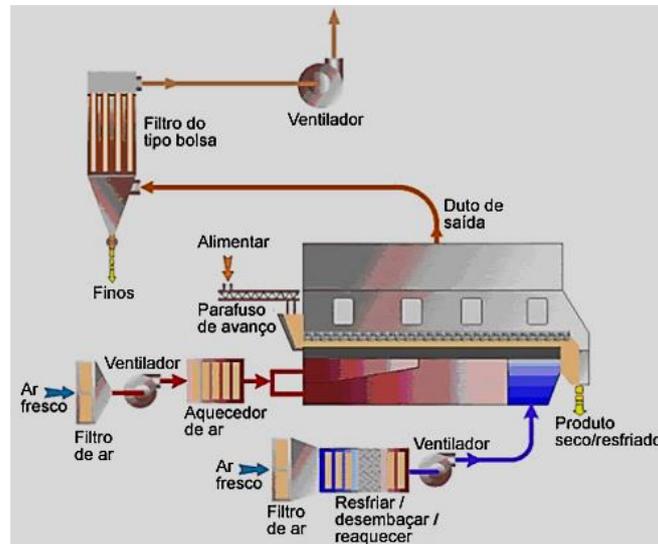


**Figura 42** - Secador de túnel. Disponível em: [www.virtual.uanl.edu.co](http://www.virtual.uanl.edu.co). Acesso em; 20/09/2014

A retirada da umidade é feita pelo ar, que pode se movimentar em relação ao produto de forma paralela, oposta ou combinada. De acordo com o isolamento térmico, a eficiência do equipamento pode chegar a 70%, dependendo da temperatura de operação, do tipo do produto e do teor de umidade a ser retirada. Esse processo é muito utilizado na secagem de frutas, cebola, alho, batata e massas alimentícias.

**-Secadores de leito fluidizado:** constituído de câmaras onde o material a ser desidratado é colocado em placas perfuradas através das quais o ar quente passa a alta velocidade, pelo processo de convecção: o ar mais quente sobe por ser menos denso (figura 43). O alimento é mantido em suspensão e em movimentos circulares, permanecendo em movimento similar ao processo de ebulição, ou seja, um movimento

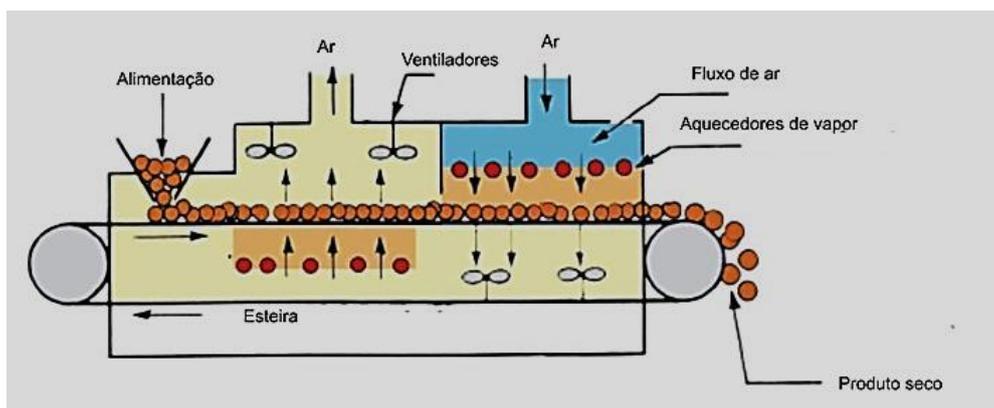
de subida e descida. São utilizados na secagem de alimentos em pedaços, como batata e cenoura, ou ervilha.



**Figura 43** - Secador de leito fluidizado. Disponível em [www.barr-rozin.com](http://www.barr-rozin.com). Acesso em 20/09/2104.

**-Secadores de esteiras:** o alimento é colocado sobre esteiras de 20 m de comprimento por 3 m de largura, em camadas que podem variar de 5 a 15 cm, de acordo com a figura 44.

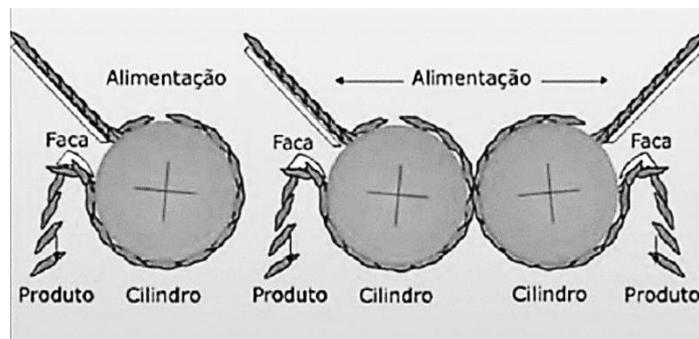
O ar flui de forma forçada, de baixo para cima, pelas malhas da esteira de forma a atingir o produto. Nos estágios finais, o processo é inverso para se evitar que o alimento seco se solte da esteira.



**Figura 44** - Secador de esteira. Disponível em: [www.ufrgs.br](http://www.ufrgs.br). Acesso em 20/09/2014.

**-Secadores de cilindro:** o alimento é introduzido na parte superior de um cilindro de 20 m de comprimento e 4 m de diâmetro, equipado com um sistema de paletas rotativas que têm a finalidade de deslocar o material a ser secado,

movimentando-o para baixo de modo a tornar eficiente a troca de energia sob a forma de calor (figura 45).



**Figura 45** - Esquema de funcionamento de um secador de cilindro simples e duplo. Fonte: [www.slideplayer.com.br](http://www.slideplayer.com.br). Acesso em 22/09/2014.

O ar é introduzido no cilindro em corrente paralela, ou entre as paredes interna e externa, quando se utilizam modelos de camisa dupla, ou seja, paredes duplas com espaço entre uma e outra. O ar atinge o interior do cilindro devido a perfurações na camisa interna. Esse tipo é usualmente empregado na secagem de farelos, conforme o esquema representado na figura 46.

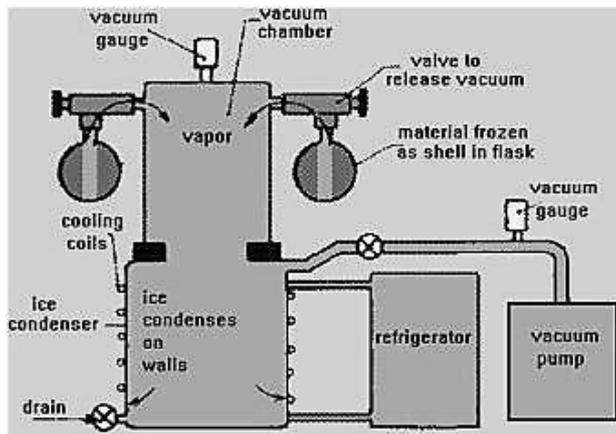


**Figura 46** - Secador de cilindro. Disponível em: [www.motrice.com.br](http://www.motrice.com.br). Acesso em: 20/09/2014.

**-Secadores por aspersão:** Processo pelo qual um líquido diluído ou concentrado é transformado em produto seco em curto espaço de tempo.

Esse processo por atomização, pulverização ou *spray drying* consiste na atomização (redução do todo em parte) do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente. São utilizados na indústria de suco em pó, café solúvel, leite em pó, etc. A forma rápida com que a água evapora possibilita manter baixa a temperatura das partículas de forma que a elevada temperatura do ar de secagem não influencie demasiadamente no produto final. A figura 47 apresenta o esquema de uma operação de atomização que é dividida em fases distintas: atomização do líquido, contato do líquido

atomizado com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem.



**Figura 47** – Esquema de um secador por aspersão. Disponível em: [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br). Acesso em 20/09/2014.

O processo consiste na pulverização do líquido na câmara de secagem por meio de discos ou bicos atomizadores. O ar aquecido entra em contato com o líquido pela parte superior, através de um dispersor. Por meio de ciclones, o produto seco é separado do ar de secagem. A figura 48 apresenta um equipamento denominado *spray dryer* utilizado para o processamento de líquidos em pó.



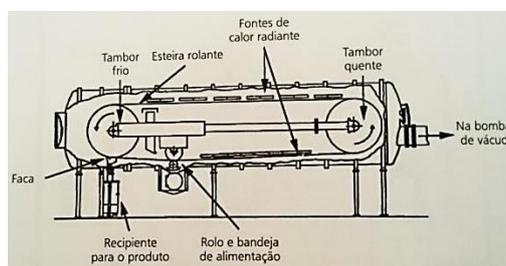
**Figura 48-** Spray dryer. Disponível em: [www.niro.com](http://www.niro.com). Acesso em: 22/09/2014.

**-Secadores com transferência de energia sob a forma de calor por superfície sólida:** também chamados de secadores de contato direto com uma superfície quente. Esses equipamentos fornecem energia sob a forma de calor ao alimento pelo processo de condução. As vantagens desse processo seriam: a possibilidade de se desidratar um produto na ausência de oxigênio para se proteger os alimentos com facilidade de oxidação, e a necessidade de se aquecer grande volume de ar antes do

início do aquecimento. Também conhecidos como rolo secador, os secadores de tambor são constituídos de um ou dois tambores rotativos medindo de 2m a 5m de comprimento, diâmetro variando entre 0,5 a 1,5 m e aquecimento interno com vapor d'água de 120 a 170 °C. O alimento disposto em finas camadas na superfície do tambor recebe a energia sob a forma de calor através de suas paredes. À medida que o cilindro gira em baixa rotação, o produto seca, sendo retirado por meio de uma lâmina disposta abaixo e ao longo do cilindro (figura 49). Esse equipamento é utilizado para a secagem de sucos, massa de tomate, sopas, farinhas lácteas e cereais matinais (figura 50). O material seco possui umidade inferior a 5%.



**Figura 49** - Secador de esteira a vácuo. Disponível em: [www.manutencaosuprimentos.com.br/](http://www.manutencaosuprimentos.com.br/). Acesso em: 22/09/2010.



**Figura 50** – Esquema do secador à vácuo de esteira rolante. Fonte: (ORDÓÑEZ, 2005, p. 238)

Associados à desidratação artificial, tem-se os seguintes conceitos físicos: transferência de energia na forma de calor de maneira forçada ao alimento que se deseja secar/desidratar. Essa transferência de energia sob a forma de calor pode ser de contato ou não.

Os secadores que não fazem o contato direto com o alimento, como o caso dos secadores adiabáticos, fornecem energia sob a forma de calor ao alimento, por meio da circulação de ar quente. Já nos de contato, o fornecimento de energia sob a forma de calor é realizado por condução por, meio de contato do alimento com uma superfície sólida, no caso, bandejas de metal. Acontece então a mudança de fase no caso dos

atomizadores que, ao receberem a energia sob a forma de calor, passam da fase líquida para a fase sólida, a exemplo do leite em pó.

#### 2.1.3.4 Instantaneização

Esse processo necessita de uma tecnologia sofisticada, com a utilização de secadores especiais ou de equipamentos de aglomeração em combinação com secadores por atomização. A Instantaneização é utilizada para produtos como o cacau e a banana, entre outros com alto teor de açúcar.

#### 2.1.3.5 Liofilização

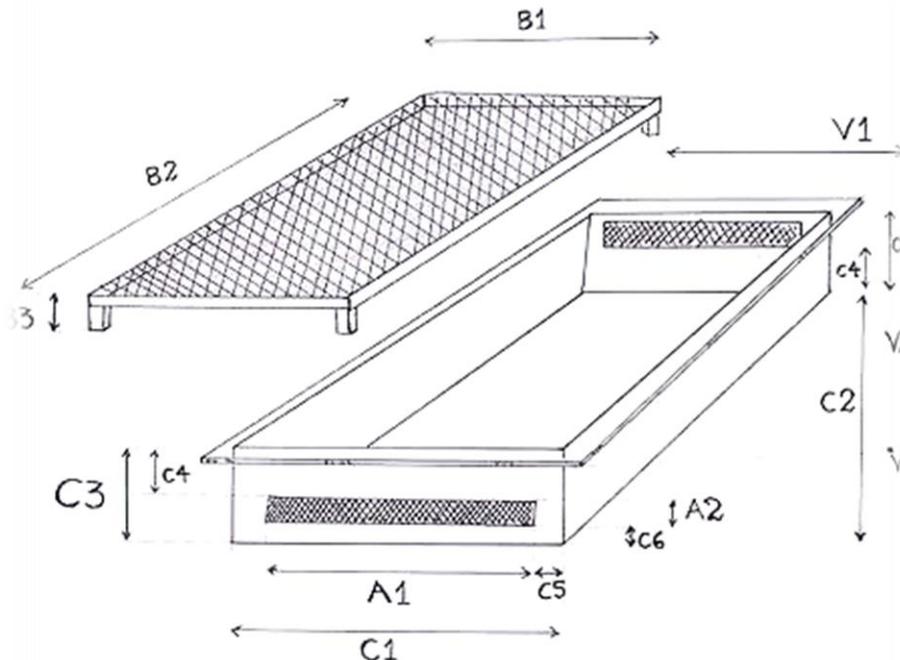
Esse método necessita de uma aparelhagem específica e de alto vácuo (figura 51). O produto que inicialmente é congelado é submetido à sublimação, em que a parte líquida contida no alimento passa diretamente do estado sólido para o estado de vapor. Quando a umidade é retirada do produto, ocorre uma redução no seu volume. Esse processo é utilizado na secagem de couve-flor, cogumelos, cebola, ervilha, condimentos, banana, morango, pêsego, tomate, sucos prontos, refeições prontas, alimentos infantis etc. Esse procedimento possibilita a conservação do produto por longo prazo.



**Figura 51** - Liofilizador de bancada. Disponível em: [www.newrote.com](http://www.newrote.com). Acesso em 20/09/2014.

Associados ao Liofilizados, tem-se conceitos físicos de transferência de energia sob a forma de calor por convecção. Mudança da água contida no alimento da fase sólida para vapor (sublimação). Pressão: este aparelho necessita trabalhar com alto vácuo, portanto com grandes valores de pressão, razão pela qual o alimento diminui de tamanho.

**ANEXO 1 –  
ORIENTAÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO DA SECADORA  
DESIDRATADOR SOLAR DE ALIMENTOS - PARTE 1**



**CAIXA DE ZINCO GALVANIZADO**

C1: 80,0cm C4: 7,5cm C6: 3,5cm  
C2: 90,0cm C5: 4,0cm A1: 72,0cm  
C3: 15,0cm C6: 3,5cm A2: 4,0cm

**BANDEJA PARA ALIMENTOS**

B1: 76cm B2: 86,0cm B3: 7,5cm

**VIDRO**

V1: 83,0cm V2: 93,0cm V3: 4mm de espessura

Figura 52 - Desidratador solar de alimentos. Disponível em: <http://www.vidasustentavel.net/>. Acesso em: 08/10/2014.

A fabricação da caixa deve ser realizada em locais especializados em fábrica de calhas e de acordo com a lista de materiais abaixo. O arremate da caixa e da tela de nylon nos furos, na parte da frente e no fundo da caixa, deve ser feito com arrebites. É aconselhável que seja feita uma moldura de madeira na parte superior da caixa para suporte da placa de vidro com a finalidade de evitar que a mesma sofra um deslizamento.

As aberturas para a circulação do ar frio e do ar quente devem ser feita da seguinte forma: para a circulação do ar frio (frente da secadora) a abertura deverá ser

feita abaixo da metade da altura da caixa e a do ar quente (fundo da secadora), acima da metade da altura da caixa.

A bandeja deverá ser instalada na metade da altura da caixa para facilitar a circulação de ar pelas partes de baixo e de cima da mesma.



Figura 53 - Desidratador solar de alimentos. Disponível em: <http://www.vidasustentavel.net/>. Acesso em: 08/10/2014.

### **Materiais**

1-Caixa de zinco galvanizada (chapa de 1,0 m de comprimento por 1,2 m de largura, cortada e dobrada conforme especificações anteriores).

2-Placa de vidro de 4,0 mm de espessura.

3-Tela para fechamento das aberturas e revestimento da bandeja (própria para alimentos)

## ANEXO 2

### ORIENTAÇÃO PARA PREPARAÇÃO DAS FRUTAS

Para<sup>31</sup> a se obter uma boa desidratação de frutas, o primeiro passo é a escolha da mesma. Algumas frutas precisam de cuidados especiais como, o tipo de corte e sistema de pré-tratamento. Por isso faz-se necessário a escolha da fruta para posterior verificação das técnicas a serem usadas para secagem.

Os procedimentos para o tratamento dos frutos devem ser efetuados em local com baixa intensidade de luz para evitar o escurecimento, principalmente no caso das maçãs. Para os frutos que não receberem o tratamento inicial, os mesmo devem permanecer em um local escuro após a secagem.

Antes de iniciar o pré-tratamento, as frutas devem ser lavadas e se for o caso o miolo dever ser retirado. Para o processo de secagem, as frutas devem ser cortadas em pedaços. A quantidade de cortes deverá ser de acordo com a fruta a ser secada, pois cada fruta permite um tipo de corte. Existe a opção de secar as frutas com casca, porém o tempo será maior do que as que foram retiradas as cascas. As bandejas onde as frutas serão colocadas para secagem deverão ser untadas com óleo, principalmente no caso de frutas ácidas.

Para o pré-tratamento das frutas encontramos vários métodos, tais como: banho de sulfito, enxofre, ácido ascórbico, banho de suco de fruta, banho de mel, xarope para branqueamento, vapor branqueador, etc.

Outro tipo de tratamento é o banho de mel. Fácil de aplicar e não envolve a utilização de produtos químicos com os citados anteriormente. Apesar de elevar o poder calórico das frutas, o banho de mel é muito usado comercialmente. Para o seu preparo, mistura-se ½ copo de açúcar com ½ copo de água fervente e em seguida adicionar ½ copo de mel em temperatura ambiente ou morno. Colocar as frutas na mistura por 3 a 5 minutos. As frutas devem ser retiradas da mistura e após serem secas, levar para a secadora. As frutas devem ser colocadas nas bandejas da secadora em camadas finas e que não sejam tocadas com a mão ou sobrepostas.

---

<sup>31</sup> Tecnologia demonstrada pela Echo: Desidratador solar. Texto traduzido por: Dra. Valéria Cristiana Campos. Original em inglês disponível em: <http://www.echotech.org/technical/technotes/Solar%20Dehydrator.pdf>. Acesso em 20/09/2014.

Para verificação do ponto de secagem das frutas deve-se cortá-las ao meio após as mesmas terem sido esfriadas. A constatação da secagem é feita de modo que ao cortá-la, a umidade não deve ser visível e deve estar em torno de 20%. A fruta deve ser capaz de suportar qualquer pressão, permanecer flexível e não se apresentarem gomadas ou pegajosas. As partes que estiverem, por ventura, dobradas, deverão permanecer desta forma. Após a secagem, aguardar entre 30 e 60 minutos para que as mesmas sejam embaladas. Desta forma as frutas podem ser consumidas. Para testagem da secadora pode se utilizar maçã, abacaxi, etc.

ANEXO 3  
FOTOS DA SECADORA SOLAR ARTESANAL

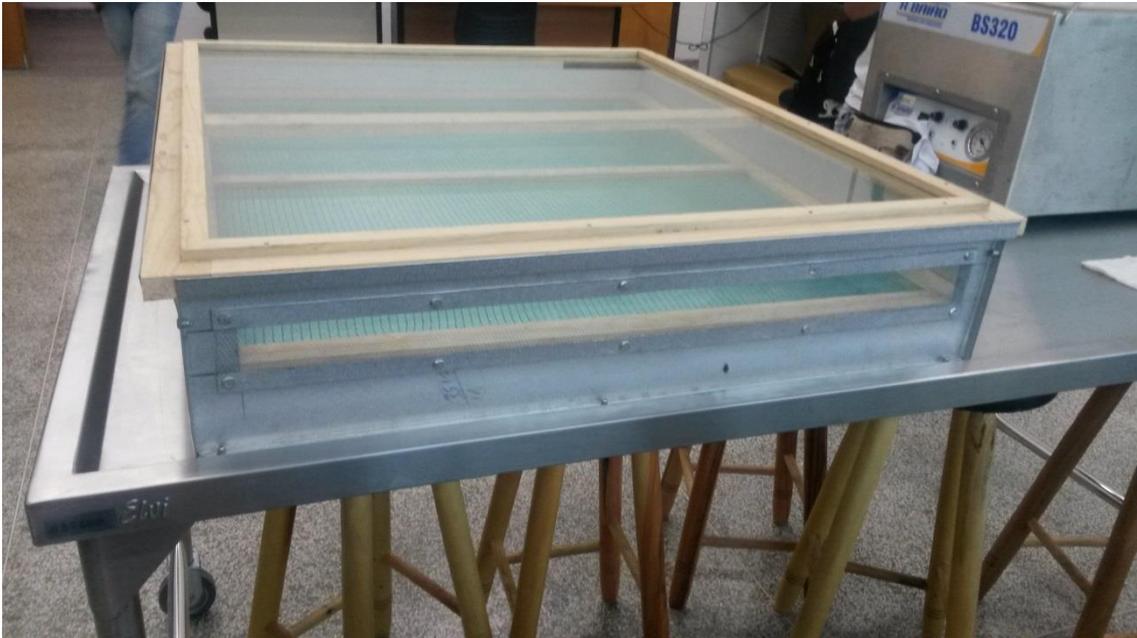


Figura 54 - Secadora solar artesanal. Fonte: a autora

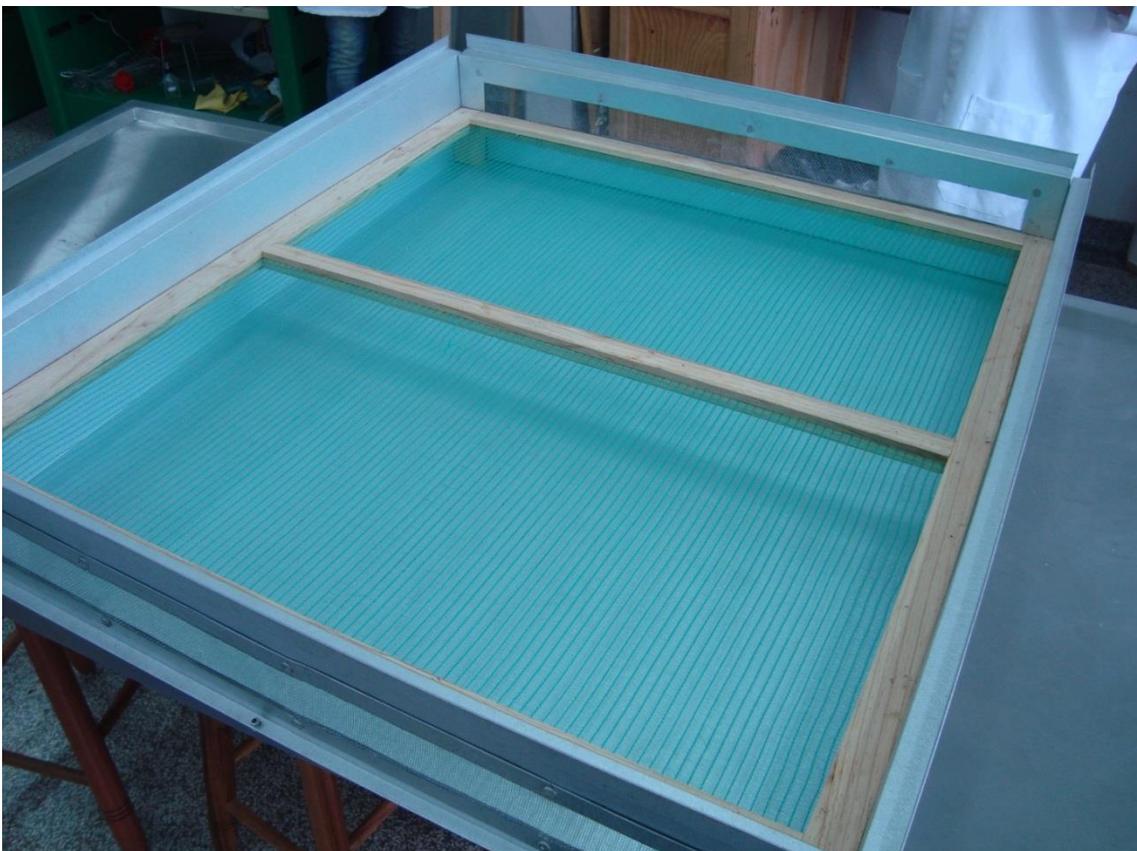


Figura 55 - Secadora solar artesanal. Fonte: a autora.

## REFERENCIAS

- AGUIAR JR, O. *Calor e Temperatura no Ensino Fundamental: Relações entre o ensino de aprendizagem numa perspectiva construtivista*. Revista Investigação em Ensino de Ciências, V4(1), pp. 73-90 (1999).
- AGUIAR JR, O.; MORTIMER, E. F. *Tomada de Consciência de Conflitos: Análise da atividade discursiva em uma aula de ciências*. Revista Investigação em Ensino de Ciências, V10(2), pp. 179-207, (2005).
- AUSUBEL, D. *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. Tradução: Lígia Teopisto, 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana. 2003, 242 p
- BASSALO, J. M. F. *A Crônica do Calor: Calorimetria*. Revista Brasileira de Ensino de Física. V14(1), (1992).
- BASSALO, J.M. F. *A Crônica do Calor: Termometria*. Revista de Ensino de Física. V13, pp. 135-161, (1991).
- BRITO A. S. “Flogístico”, “Calórico” & “Éter”. Revista Ciência e Tecnologia dos Materiais. V20(3/4), pp. 51-63, (2008).
- BOSS S, L. B.; FILHO M. P. S.; CALUZI J. J. *Fontes primárias e aprendizagem significativa: aquisição de subsunçores para a aprendizagem do conceito de carga elétrica* - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência. Florianópolis, nov., 2009.
- CÂMARA, H. R. *Análise de Conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. Gerais*. Revista Interinstitucional de Psicologia, 6 (2), jul – dez, 2013, 179-10, (2013).
- CARDOSO, S. O. O.; DICKMAN, A. G. *Ensinando o Efeito Fotoelétrico por meio de Simulações Computacionais: Roteiro de aula de acordo com Teoria da Aprendizagem Significativa*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PPECM, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011. 118 p.
- CASTRO, R. S. *Historia da Epistemologia da Ciência: investigando suas contribuições num curso de Física de segundo grau*. Dissertação (Mestrado em Física) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993. 48 p.
- CINDRA, J. L; TEIXEIRA, O. P. B. *Discussão Conceitual para o Equilíbrio Térmico*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. V21, pp. 176-193, (2004).
- ERROBIDART. N. C. G. *O Estudo Qualitativo das Transformações pelas quais passam os Saberes até Chegarem à Sala de Aula do Conteúdo de Física Ondulatória*. 2010. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2010. 140f.
- FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. *Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do Instrumento para definição de objetivos Instrucionais*. Revista Gestão e Produção. São Carlos, v 17, n.2, p. 421-431, 2010.
- GAVA, A. J; SILVA, C. A. B; FRIAS, J. R. G. *Tecnologia de alimentos. Princípios e aplicações*. V. único. Editor Nobel. São Paulo, 2008. 511 p.

- GOMES, J. L. A. M. C.; *Conceito de Calor: Contexto Histórico e Proposta para Sala de Aula*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013. 79p
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. *Física 2*. 4ª. ed. LTC Editora. Rio de Janeiro, 1996, pp. 166-234.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. V 2. 4ª. ed. LTC Editora. Rio de Janeiro, 1996, pp. 169-195.
- HEWITT, P. G. *Física Conceitual*. 11ª. ed. Porto Alegre. Ed. Bookman. 2011, pp. 271-379.
- KAPP, M. S. V; KAPP, J. S. *Os Conceitos Físicos de Temperatura e Calor Aplicados à Conformação Mecânica de Materiais: Uma proposta de abordagem motivadora*. Revista Eletrônica de Educação e Tecnologia do SENAI-SP. V4(8). <<http://revistaeletronica.sp.senai.br>>. Acesso em: 15/06/2014.
- KNIGHT, R. D. *Física: Uma Abordagem Estratégica*. V2. 2ª. ed. Bookman, 2009, pp. 480-533.
- KÖHNLEIN, J. F. K; PEDUZZI, S.S. *Estudo a Respeito das concepções Alternativas sobre Calor e Temperatura*. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. V2(3), pp. 84-96, (2002).
- MARCUSCHI, L.A. *Análise da Conversação*. Ed. 5ª. Ed. Ática. São Paulo 2003. 95p.
- MARQUEZ, N. L. R. *Formação dos Alunos do Curso Normal para o ensino de Ciências nas Séries Iniciais: Uma experiência em Física Térmica*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. 139f.
- MATTOS, C; DRUMOND I, A. *Sensação Térmica: Uma abordagem interdisciplinar* V. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. , V21(1), p. 7,34, (2004).
- MOREIRA, A.M. *Aprendizagem Significativa em Mapas Conceituais*. I Workshop sobre Mapeamento Conceitual, São Paulo, março de 2013. Publicado na série Textos de Apoio ao Professor de Física, Vol. 24, N. 6, 2013, do PPGEnFis/IF-UFRGS, Brasil.
- MOREIRA, M. A. *A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua implementação em sala de aula*. Editora UnB, Brasília, 2006.
- MOREIRA, M. A. *Subsídios teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa*. Porto Alegre, 2009.
- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem Significativa: Um conceito subjacente*. Revista Meaningful Learning Review – V1(3). Pp 25-46,2011.
- MOREIRA, M. A. *Mapas conceituais e Diagramas* V. Adaptado de uma conferência proferida na Terceira Reunião Nacional de Educação em Física, Argentina, out.1983. CONTACTOS, México, 3 (2):38-57, 1988, em *Monografias do Grupo de Ensino, Série Enfoques Didáticos*, N° 2, 1991 e na *Série Textos de Apoio ao Professor de Física*, N° 3, 1992. Revisado, atualizado e ampliado em 2006.
- MOREIRA, M. A; MASSINI, E. F. S. *APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: A Teoria de David Ausubel*. São Paulo, 1982. 109 p.

NUNES, J. M. V.; ALMOULOU, S. A.; GUERRA, R. B. *O contexto da História da Matemática como Organizador Prévio*. Rio Claro, SP, v. 23, n° 35B, p. 537-561, abril, 2010.

OETTERER, M; REGITANO-D'ACE, M. A. B; SPOTO, M. H. F. *Fundamentos de Ciências e Tecnologia de Alimentos*. V. único. Editora Manole. Barueri, 2010. 632 p.

ORDÓÑEZ, J. A. *Tecnologia de alimentos: Componentes dos alimentos processados*. V. I. Editora Artmed, São Paulo, 2005. 294 p.

PEDUZZI, L. O. Q.; ZYLBERSZTAJN, A.; MOREIRA, M. A. *As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa sequência de ensino de conteúdo em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 14, no. 4, 1992.

PEREIRA, C. L. N; SILVA, R. R. *A História da Ciência e o Ensino de Ciências*. Revista Virtual de Gestão de Iniciativas Sociais. Edição Especial, Março de 2009. Disponível em: <http://docslide.com.br/documents/-rv-gis-revista-virtual-de-gestao-de-iniciativas-sociais-.html>. Acesso em: 20/04/2014.

PEREIRA, et al. *Avaliação de temperaturas em câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos resfriados e congelados* Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos., V30(1), pp. 158-165, (2010).

PESSOA JR, Oswaldo. *Uma investigação concernente à fonte do calor que é excitada pelo atrito (1798)*. Tradução feita do inglês para o curso de Tópicos da História da Física Moderna, IFUSP, prof. Oswaldo Pessoa Jr., 1º, semestre de 2004. Extraído de Magie. W. F. (org.) (1935), *A Source Book in Physics*. Nova York: McGraw-Hill, pp. 151-61. Disponível em: <http://www.fflch.usp.br/> Acesso em: 03/03/2014.

PIRES, D. P. L; AFONSO, J. C; CHAVES, F. A. B.. *Do Termoscópio ao Termômetro Digital: Quatro séculos de termometria*. Revista Química Nova. V29(6), pp. 1393-1400 (2006).

PRANDEL, L. V. *Evolução do Conceito de Temperatura nas Diferentes Abordagens da Física*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Física), Departamento de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2005. 70 f.

*PROJETO POLÍTICO PEDAGÓGICO DO CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS*. Universidade Federal de Viçosa. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Viçosa, 2008.

REALE, G.; ANTISERI, D. *Historia da Filosofia: Antiguidade e Idade Média*. V. I. 4ª. Edição. Ed. Paulus. São Paulo, 1990 (p. 124 e 172).

REZENDE, et al. *Secagem de Alimentos por Fontes de Energia Renováveis: Possibilidade de geração de renda para o pequeno produtor rural do sudoeste baiano* Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural.. Londrina (2007).

RIBEIRO, R. J.; SILVA, S. C. R.; Koschiansdi, A. *Organizadores prévios para aprendizagem significativa em Física: O formato curta de animação*. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v.14, n. 03, p. 167-183 set-dez 2012.

ROSA, P. R.S. *Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa em Ensino*. UFMS. 159 p. 2013.

- ROSA, P. R. S; MOREIRA, M. A. *Uma Introdução à Pesquisa Quantitativa em Ensino*. Versão 2008. 122 p, 2008
- SILVA, A. P. B; FORATO, T. C.M; GOMES, J. L. A.M C. *Concepções Sobre a Natureza do Calor em Diferentes Contextos Históricos*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, V30(3), pp. 492-537, (2013).
- SILVA, O. H. M. da; LABURÚ, D.E; NARDI, R. *Reflexões para Subsidiar Discussões Sobre o Conceito de Calor na Sala de Aula*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, V25(3), pp. 383-396, (2008).
- SOUZA, et al. *Defumação da Tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus) Inteira Eviscerada e Filé: Aspectos referentes às características organolépticas, composição centesimal e perdas ocorridas no processamento*. Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, n.1, p.27-36, 2004.
- SOUZA, R. S.. *O Experimento de Joule e o Ensino de Termodinâmica Baseado na História da Ciência: Uma proposta didática*. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012. 58 f.
- SOUZA, V. C. A; JUSTI, R. *Diálogos Possíveis entre o Ensino Fundamental em Modelagem e a História da Ciência*. Revista Eletrônica de Enseñanza de Las Ciencias, V11(2), (2012). Disponível em: <<http://reec.uvigo.es>>. Acesso em: 12/06/2014.
- TIPLER A. P.. *Física*. V 1b. 2ª. ed. Ed. Guanabara Dois. Rio de Janeiro, 1982, pp. 459-529.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física Para Cientistas e Engenheiros*. 5ª. ed. LTC Editora. Rio de Janeiro, 2006, pp. 597-655.
- TORRES, C. M. A.; FERRANO, N. G.; SOARES, P. A. T. *Física: Ciência e Tecnologia*. V. 1. 2ª. ed. Ed. Moderna, São Paulo, 2010, pp. 201-238.
- TORRES, C. M. A.; FERRANO, N. G.; SOARES, P. A.T. *Física: Ciência e Tecnologia*. V. 2. 2ª. ed. Ed. Moderna, São Paulo, 2010, pp. 201-238.
- [www.inmetro.gov.br/metcientifica/mat\\_ref\\_cert.asp](http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/mat_ref_cert.asp).
- YOUNG, H. D; FREEDMAN, R. A. *Física II – Termodinâmica e Ondas*. 10ª. ed. Editora Addison Wesley. São Paulo, 2003, pp. 105-210.