



## Um pouco de física na superfície do café

**E**ste artigo tem o intuito de mostrar conceitos de física associados a uma situação simples do cotidiano: as manchas esbranquiçadas sobre a superfície do café quente. Estas manchas (ver Fig. 1), que se apresentam ligeiramente suspensas em relação à parte escura da superfície, podem ser observadas em uma xícara de café bem quente e “escondem” alguns tópicos comumente abordados no ensino de física. Sua análise revelará uma conexão com os conceitos de vaporização, condensação, convecção, reflexão difusa e a formação de nuvens.

### Física envolvida

Sabe-se que quando o café quente tem sua superfície exposta ao ar frio, as moléculas de água mais energéticas no interior do café sobem por convecção, atingem a superfície e podem escapar para o ar, ou seja, ocorre evaporação do café. Vale lembrar que é a água que evapora, deixando os resíduos sólidos do café para trás. Ao mesmo tempo em que existem moléculas de água se livrando do café e escapando para o ar, há também moléculas de vapor de água, perto da superfície, entrando no café líquido, estabelecendo assim uma

situação dinâmica de evaporação–condensação na superfície da bebida. As moléculas que conseguem se livrar das ligações do líquido e escapar para o ar são as mais energéticas e, assim, quando o fazem, levam consigo bastante energia. O café líquido que ficou para trás tem, portanto, menos energia, ou seja, quando estas moléculas escapam para o ar, o café fica menos quente, e, deste modo, vai se resfriando gradualmente.

### Manchas esbranquiçadas

Existe uma quantidade muito grande de moléculas escapando do café e subindo para o ar. Mas quando elas assim o fazem, ganham espaço, no ar, para se expandir, com conseqüente diminuição de energia térmica. Isto faz com que este grupo de moléculas de vapor de água se resfrie e, em seguida, mude para o estado líquido novamente. Deste modo, uma vez que evapora e sobe, o vapor de água perde energia, tornando-se líquido novamente. Ele se condensa a uma altura bem próxima à superfície livre do café. Quando no estado líquido, as moléculas de água se aglutinam, formando como que mini-nuvens de água logo acima da superfície do

.....  
**Danilo Claro Zanardi<sup>1</sup>** e

**Mikiya Muramatsu<sup>2</sup>**

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

<sup>1</sup>E-mail: dczanardi@usp.br

<sup>2</sup>E-mail: mmuramat@if.usp.br  
 .....



Manchas esbranquiçadas, como que mini nuvens suspensas um pouco acima da superfície do café

Partes escuras, que representam o nível da superfície do café; por onde moléculas de água entram no café.

Este artigo mostra conceitos básicos de física relacionados a fenômenos que ocorrem na interface do café quente com o ar. Um turbilhão de moléculas e a física térmica em ação numa simples xícara de café ilustram a aplicabilidade desta ciência, além de servir como um exemplo com enorme potencial didático para sala de aula.

Figura 1 - Manchas esbranquiçadas sobre a superfície do café quente.

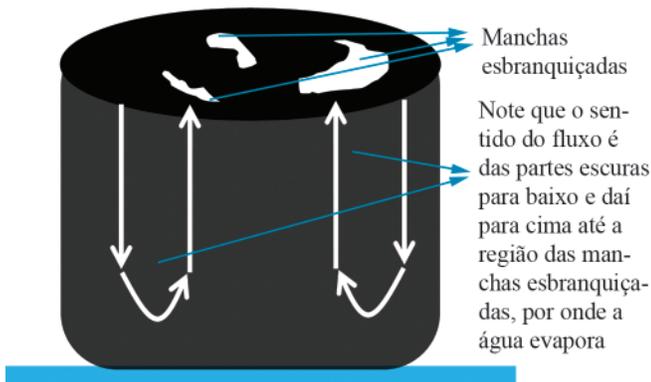


Figura 2 - Esquema das células de convecção.

café, ocasionando, desta maneira, as manchas esbranquiçadas vistas na Fig. 1.

### **De que forma as manchas de água se mantêm acima da superfície livre do café?**

Enquanto o café estiver bem quente, haverá moléculas de café líquido escapando das ligações de líquido e subindo para o ar. Estas inúmeras moléculas, ao subir, empurram para cima as moléculas de água da mancha (que já haviam se condensado). Portanto, são as inúmeras outras moléculas de água se desligando do café e subindo, que causam uma força ascendente que equilibra o peso da mancha esbranquiçada de água, sustentando a mesma acima da superfície.

### **Por que as manchas não cobrem toda superfície livre do café?**

A parte interna do café está mais quente que sua superfície, uma vez que esta última está em contato com o ar, perdendo calor para ele, que, aliás, é perdido principalmente por evaporação e irradiação. Quando um fluido apresenta regiões de diferentes temperaturas, estabelece-se em seu interior correntes de convecção. A região do interior do café que está um pouco mais quente é menos densa que as regiões um pouco mais frias. O café mais quente e menos denso sobe, enquanto o café mais frio e mais denso, desce, estabelecendo-se em seu interior correntes de convecção (Fig. 2). As manchas se formam justamente nas regiões da superfície por onde está chegando o fluxo ascendente de café quente, com moléculas mais energéticas.

### **Por que as manchas apresentam esta cor esbranquiçada?**

Um corpo, quando iluminado com luz branca, é visto de cor branca quando reflete as componentes que formam esta luz. A água reflete difusamente e de modo aproximadamente uniforme a luz branca,

não favorecendo nenhuma de suas frequências componentes, daí a razão das nuvens também se apresentarem com esta cor no céu. Aliás, o processo de formação das nuvens reais é similar ao de formação destas manchas sobre o café: a água de rios, lagos e mares evapora, o vapor de água sobe por ser menos denso que o ar e, ao subir, se expande, se esfria, se condensa e forma as nuvens. Obviamente este fenômeno ocorre em outras bebidas que têm como base a água, como por exemplo o chá quente; no entanto, por ser o café escuro e as manchas de água esbranquiçadas, o contraste facilita sua visualização.

### **Mais curiosidades**

Quando assopramos a superfície do café para acelerar seu resfriamento, o que fazemos é "arrancar" estas manchas, deslocando o equilíbrio no sentido de favorecer que mais moléculas escapem para o ar, uma vez que a barreira de água foi retirada. Café evaporando mais rapidamente é sinônimo do café perdendo suas moléculas mais energéticas mais rapidamente, o que acelera seu resfriamento.

### **Um pouco mais sobre evaporação**

A velocidade de evaporação  $V$  (massa que evapora na unidade de tempo) é dada pela fórmula empírica de Dalton, que traduz a influência de vários fatores sobre o fenômeno

$$V = \frac{K.A.(F - f)}{P_{ext}}$$

onde  $K$  é uma constante característica de cada líquido e apresenta valor alto para líquidos voláteis (éter e álcool) e baixo para líquidos fixos (óleo, mercúrio);  $A$  é a área da superfície do líquido em contato com o ambiente externo e que pode evaporar; note que a velocidade de evaporação é diretamente proporcional a esta área, daí estender-se a roupa no varal para que evapore mais rapidamente;  $P_{ext}$  é a pressão externa, quanto maior seu valor, mais lenta a evaporação do líquido, pois o aumento da pressão externa dificulta o escape de moléculas para o ambiente;  $F$  é o valor da pressão máxima de vapor, que, por sua vez, aumenta com a temperatura; portanto, fixando-se outros parâmetros, quanto maior a temperatura do líquido, mais facilmente irá se evaporar, e  $f$  é a pressão parcial de vapor

junto ao líquido; note que quanto mais vapor do líquido estiver ao seu redor, mais difícil será do líquido evaporar. Não presente na fórmula, a evaporação depende também do vento local, ou seja, do movimento relativo dos gases nas proximidades do líquido que está evaporando. Fixando-se os outros parâmetros, quanto maior o vento, maior também será a velocidade com que o líquido evapora.

Por fim, vale lembrar que, quando o líquido evapora, ele rouba calor da substância ou superfície com a qual estava em contato, o que está associado com o processo de termo-regulação de nosso organismo: suamos e, quando o suor evapora, resfriamos. Note que em um ambiente com vento, o suor evapora mais rapidamente e conseguimos nos refrescar mais facilmente. Note ainda que em locais úmidos, a variável  $f$  da fórmula é alto, o que dificulta a evaporação de nosso suor, o que faz com que experimentemos uma sensação de desconforto e de abafado.

### **Sugestão para sala de aula**

O exemplo deste artigo talvez seja mais bem aproveitado como um experimento investigativo depois que os temas relativos ao assunto já tenham sido tratados pelo professor e, deste modo, ajude o aluno a perceber a união dos conceitos físicos que, por razões didáticas, por vezes são ensinados em tópicos separados e desconexos. Uma possível maneira de utilização:

### **Lição de casa para o aluno**

1) Pedir aos alunos que observem com bastante atenção, com bastante iluminação e sob um ângulo inclinado em relação à vertical, a superfície do café no interior de uma xícara enquanto ele ainda estiver bem quente.

2) Revise os conceitos de vaporização, evaporação e ebulição

3) Revise os conceitos de transmissão de calor por irradiação, condução e convecção.

4) Revise o conceito de cor.

5) Pesquise qual a razão das nuvens possuírem uma coloração esbranquiçada.

6) Pesquise sobre a formação de nuvens.

### **Em sala**

1) O professor deve providenciar xícaras de café bem quente para que possam ser observadas durante a aula e, se possível, lentes de aumento (lupas).

### **Perguntas que podem ser formuladas**

1) O que vocês observam sobre a superfície?

2) O que vocês acreditam ser estas manchas?

3) Qual a diferença entre as partes claras e escuras na superfície do café?

4) Tentem observar se as manchas claras e as partes escuras estão exatamente no mesmo nível.

5) Por que vocês acham que as manchas possuem esta cor esbranquiçada?

6) O que vocês acreditam que mantém as manchas um pouco acima da superfície?

7) Existe alguma semelhança, no que diz respeito à física, entre estas manchas e as nuvens do céu?

### **Papel do professor**

1) Fazer as perguntas.

2) Listar na lousa as respostas.

3) Pedir que os próprios alunos, usando aquilo que revisaram e pesquisaram em casa, tentem levantar argumentos que sejam a favor ou contra as respostas que foram dadas.

4) Coloque, ele próprio, argumentos que ajudem no fluir da discussão.

### **Considerações finais**

Tudo indica que para se levar a cabo o procedimento e discussão propostos acima será necessário o tempo de uma aula inteira, o que talvez inviabilize a discussão, uma vez que a falta de tempo tem se mostrado uma das reclamações mais frequentes dos professores do Ensino Médio. Por outro lado, o ganho que se pode ter, ajudando os

alunos a contemplar a física que viram em sala de aula em algo tão simples de seus cotidianos, poderá ser de muita valia.

### **Saiba mais**

J. Ingram, *Manchas de Café* (Editora, Rio de Janeiro, 2003), cap. 4.

R. Feynman, *Lectures on Physics* (Addison-Wesley, Menlo Park, 1977), v. 1, p. 1-5.

F. Ramalho Junior, N.G. Ferraro e P.A.T. Soares, *Os Fundamentos da Física* (Editora Moderna, São Paulo, 2007) v. 2, 6ª ed., p. 111-113.

G.J. Biscuola, R.H. Doca e N. Villas-Boas, *Tópicos de Física* (Ed. Saraiva, São Paulo, 2009), v. 2, p. 297.

## **Satélite montado por estudantes brasileiros deve entrar em órbita**

Professores e estudantes do quinto ano da Escola Municipal Tancredo Neves, de Ubatuba, litoral norte paulista, estão construindo um satélite artificial que deve ser lançado nos Estados Unidos e entrar em órbita ainda neste ano.

A iniciativa, que conta com o auxílio de empresários e pesquisadores, partiu do professor de matemática Candido Osvaldo de Moura, que em fevereiro de 2010 conheceu os kits de satélites TubeSats, por meio da revista *Interorbital*<sup>1</sup>.

O satélite deve permanecer em uma órbita a 300 quilômetros de altitude durante três meses. Durante esse tempo vai emitir uma mensagem cujo conteúdo está sendo escolhido por meio de concurso realizado entre os estudantes.

A edição de janeiro da revista *SatMagazine*, especializada em satélites, citou o trabalho realizado em Ubatuba: “O TubeSats já é parte do currículo de universidades e escolas ao redor do mundo. Talvez o mais ambicioso projeto esteja no



Concepção artística de um TubeSat em órbita.

Brasil em um programa coordenado por Candido Osvaldo e Emerson Yaegashi, no qual 120 estudantes criaram 22 maquetes do TubeSats em sala de aula. Os alunos que construírem as melhores maquetes ganharão a honra de montar o TubeSat orbital real”.

Sérgio Mascarenhas, coordenador de projetos do Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos, tem acompanhado com entusiasmo a construção do satélite de Ubatuba: “O apoio à iniciativa do professor é a saída para melhorarmos a

educação no Brasil”, comenta. Em férias, o professor Candido Osvaldo de Moura não foi encontrado para comentar o projeto que ele coordena.

O vídeo “Mão na massa: aprendendo a soldar, criar placas, corroer e fabricar placas no seu escritório”<sup>2</sup> contém etapas do processo de produção das placas pelos professores e pelas crianças – como a impressão, usando ferro de passar roupa.

Fontes: Portal Pion e Revista Fapesp.



Detalhe da montagem do transmissor de um TubSat típico.

### **Notas**

<sup>1</sup>[http://interorbital.com/TubeSat\\_1.htm](http://interorbital.com/TubeSat_1.htm).

<sup>2</sup><http://www.thedevelopersconference.com.br/tdc/2010/sp/videos/aprendendo-a-fabricar-placas>.