

# Elogio ao galão português

## (ou como usar um *smartphone* para *slow* e *fastmotion*)

Pablo Martín-Ramos<sup>1,2</sup>, Pedro Sidónio Pereira da Silva<sup>1\*</sup> e Manuela Ramos Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CFisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra, P-3004-516 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> EPS, Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA), Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte s/n, 22071 Huesca, Espanha

### Resumo

A Física ocupa um lugar preponderante no nosso quotidiano explicando quer fenómenos complexos como o funcionamento dos nossos gadgets high-tech, quer fenómenos simples como a temperatura do galão que bebemos ao pequeno-almoço. Este artigo, narrado por um cientista espanhol, a partir da sua própria vivência, descreve um projeto experimental em Física, fácil de implementar numa sala de aula, sobre a variação da temperatura de dois líquidos que se misturam. A monitorização da temperatura dos líquidos é feita com ajuda de análise de vídeo.



Fig. 1 – Um galão e um pastel de nata, tal como é servido num dos muitos cafés de Coimbra.

O meu nome é Pablo Martín-Ramos. Sou espanhol. Nasci em Valladolid há 32 anos e quis o destino que tivesse que passar grandes temporadas em Coimbra, Portugal. Quase de imediato, apaixonei-me pela cultura portuguesa. Pelas pessoas, pela música, pelo futebol, pela praia, pela gastronomia. Bacalhau é o meu prato favorito e ainda nem provei todas as mil maneiras de o cozinhar! E o melhor pequeno-almoço do mundo é o pequeno-almoço português: um galão e um pastel de nata!

Agora vivo em Huesca, uma cidadezinha do interior espanhol, que em nada se assemelha a Coimbra, falta-lhe o bulício animado dos estudantes e dos turistas, e nunca se encontram pasteis de nata à venda! Para amenizar um bocadinho as saudades, preparo sempre um galão para o pequeno-almoço. Tiro primeiro os dois cafés para um copo alto e junto-lhes o leite quando finalmente, eu e a Raquel, nos sentamos dois segundos, no meio da agitação da manhã de dois professores que vão para escolas diferentes. Mas a minha mulher acha que era preferível juntar o leite assim que se tira o café.

Assim que voltei a Coimbra, trouxe esta pergunta aos meus colegas físicos: se tivermos como objetivo beber café com leite o mais quentinho possível, 5 a 10 minutos depois de tirarmos o café, devemos juntar o leite de imediato ou esperar e juntar o leite só no final?

Num instante já os tinha todos a discutir sobre convecção, condução, radiação e capacidade térmica mássica, mas como são experimentalistas, propuseram-se logo a fazer a experiência, de cujos resultados vos dou conta aqui. À nossa disposição tínhamos equipamento muito sofisticado, mas optámos por usar recursos muito simples, acessíveis

a todos, quer numa Escola Secundária, quer nas nossas casas. Usámos um termómetro tradicional e um *smartphone* onde instalámos algumas *apps* gratuitas e fáceis de utilizar. Esta é uma forma de utilizar o *smartphone* nas aulas de Física em vez de o banir da sala de aula [1,2]. Os *smartphones* atuais, que vêm equipados com câmaras fotográficas de elevada resolução, permitem seguir movimentos muito rápidos, como os de uma bola atirada ao ar [1,3], ou muito lentos, como o movimento da coluna de mercúrio dentro de um termómetro.

Quando o leite à temperatura ambiente se mistura com o café que está muito quente, vai aquecer rapidamente, pois há um fluxo de energia do café para o leite até se estabelecer o equilíbrio, sendo a temperatura final determinada pela proporção das massas dos líquidos que se misturam e pelas suas temperaturas iniciais uma vez que as suas capacidades térmicas mássicas são muito parecidas:

$$|m_{café} \cdot c_{café} \cdot \Delta T_{café}| = |m_{leite} \cdot c_{leite} \cdot \Delta T_{leite}| \quad (1)$$

$$\Rightarrow m_{café} \cdot c_{café} (T_{i_{café}} - T_f) = m_{leite} \cdot c_{leite} (T_f - T_{i_{leite}}) \quad (2)$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{m_{leite} \cdot c_{leite} \cdot T_{i_{leite}} + m_{café} \cdot c_{café} \cdot T_{i_{café}}}{m_{leite} \cdot c_{leite} + m_{café} \cdot c_{café}} \quad (3)$$

A partir daqui o arrefecimento do conjunto, se for dominado pelos fenómenos da condução e convecção, seguirá a lei de arrefecimento de Newton, que diz que a taxa de variação da temperatura de um corpo depende da diferença entre a temperatura do corpo e a do meio ambiente.

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_{amb}) \quad (4)$$

Ou seja, que a temperatura decresce exponencialmente,

$$T = T_{amb} + (T_i - T_{amb})e^{-kt} \quad (5)$$

Mas em qual das situações se atinge uma temperatura mais baixa? A experiência foi realizada da seguinte forma:

Instalaram-se no *smartphone* duas *apps*: a FrameLapse [4] e a VidAnalysis [5]. Usaram-se dois copos graduados de 100 ml, no interior de cada copo colocou-se suspenso um termómetro de mercúrio. Fixou-se o *smartphone* de forma a que a imagem fotografada inclísse os dois termómetros no plano de focagem. Iniciou-se a *app* FrameLapse com fotografias cada 5 s. Tirou-se um expresso e dividiu-se o café pelos dois copos (30 ml em cada). Num dos copos juntou-se 70 ml de leite e deixaram-se passar cerca de 500 s até juntar leite em igual quantidade no outro copo (Figura 2), terminando a experiência pelos 700 s.



Fig. 2 - Montagem experimental onde se pode ver o *smartphone* usado para tirar fotografias, os dois termómetros e os dois copos com a mistura de leite e café.

Tabela 1 - Condições da experiência

	$V_{café}$ (ml)	$m_{café}$ (g)	$c_{café}$ (J/g·°C)	$V_{leite}$ (ml)	$m_{leite}$ (g)	$c_{leite}$ (J/g·°C)	$T_{i_{café}}$ (°C)	$T_{i_{leite}}$ (°C)	$S$ (cm <sup>2</sup> )
Galão 1	30	30	4.186	70	73	3.93	66	25	135.1
Galão 2	30	30	4.186	70	73	3.93	43*	25	56.8

\* Temperatura do café antes de adicionar o leite.

Em seguida, abriram-se as fotos na *app* VidAnalysis que, após a escolha de uma escala (usámos a escala do próprio termómetro), permite o rastreamento da posição do mercúrio, primeiro para um dos termómetros, depois para o outro. Os resultados podem ser analisados diretamente no *smartphone* usando a *app* Google Sheets ou em alternativa exportados para um computador em formato \*.csv que se pode utilizar numa folha de cálculo (OpenOffice Calc ou Excel).

O gráfico seguinte (Figura 3) mostra os resultados obtidos nos dois ensaios.

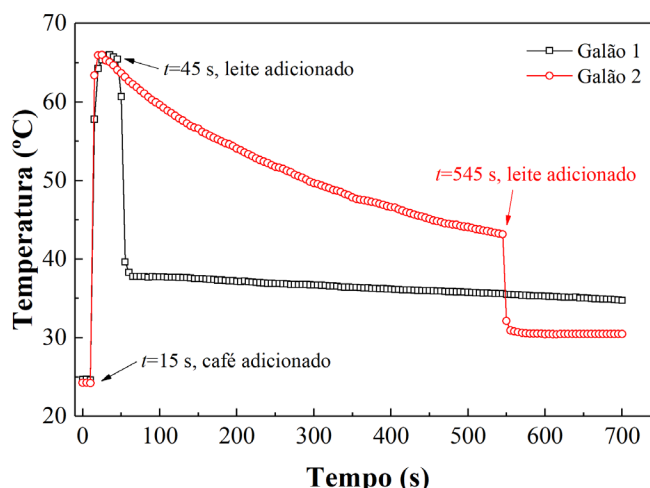


Fig. 3 - Gráfico obtido usando a folha de cálculo.

Esta experiência, muito simples, permite responder à pergunta inicial sem hesitações: é preferível juntar o leite logo que se tira o café! Mas acrescenta outra, porque diminui tão lentamente a temperatura do leite com café, enquanto que a do café simples diminui tão rapidamente?

Pode-se ajustar uma função exponencial ao decaimento das duas bebidas entre os 100 s e 500 s, obtendo-se para constante de decaimento  $\tau$ , inverso de  $k$ , os valores de aproximadamente 2298 s e 655 s. Sendo os valores de  $\tau$  proporcionais à massa e à capacidade térmica mássica do objeto que arrefece, e inversamente proporcionais à área exterior do mesmo [6], esperaríamos que fossem aproximadamente o dobro um do outro, mas o café simples arrefece muito mais rápido que o previsto.

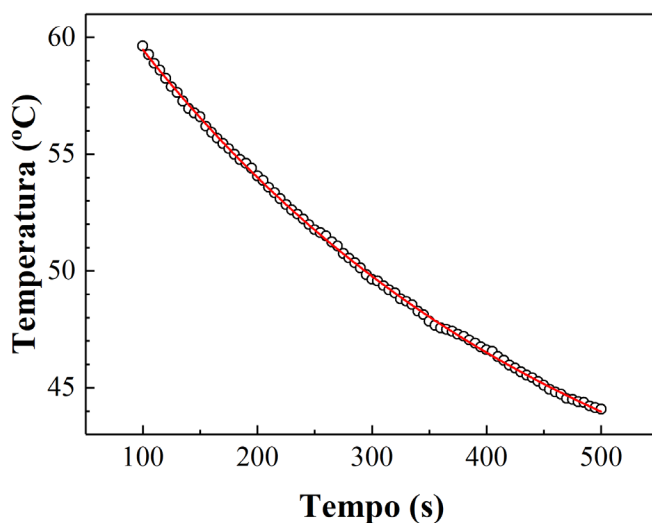


Fig. 4 – Decaimento exponencial para o galão 2 entre 100 s. e 500 s.

É que a taxa de evaporação da água no café simples é muito superior à da água misturada com leite. E a água ao passar de líquido a gás absorve energia, é o chamado calor latente de vaporização, e diminui a temperatura do corpo que a cedeu (aliás é por isso que transpiramos no Verão, para evitar o sobreaquecimento do nosso corpo). Quando a água se mistura com o leite, a gordura dele forma uma camada à superfície do copo, que impede as moléculas de água de evaporarem. É por isso, aliás, que o leite sobe quando ferve. São as bolhas de vapor de água presas no seu interior que o fazem subir.

Usando a fórmula 3, podemos calcular a temperatura do leite com café segundos após adição do leite (Tabela 1), obtendo valores de temperatura de 37 °C e 30 °C, a menos de 2 °C dos valores medidos (valores muito interessantes, tendo em conta que desprezamos a influência do copo de vidro).

Assim resolveram os meus amigos o meu problema com o galão pela manhã. Como esta experiência é interessante para ser realizada em sala de aula, uma vez que recorre a equipamento muito simples e aborda conceitos discutidos

no 10.º ano como energia, fenómenos térmicos e radiação, acabámos por escrever este artigo para que outros a possam repetir. Pode-se modificar ligeiramente para que diferentes grupos dentro da sala de aula façam investigações ligeiramente diferentes: uns podem mudar a proporção café/leite, outros usar leite vindo do frigorífico, outros ainda esperar mais ou menos tempo para juntar o leite. Como podemos escolher o intervalo entre as fotografias desde milissegundos até horas, podemos usar o *smartphone* para seguir um evento muito rápido, como acontece quando os dois líquidos se juntam ou um evento muito lento, como o arrefecimento natural de um corpo.

(Ah! Falta reconhecer que a minha mulher tinha razão. Como sempre)

### Nota Final:

Há 4 grandes caminhos para a transferência da energia do líquido quente para o exterior: através da superfície superior, com convecção livre entre o líquido e o ar; através da superfície lateral do copo de vidro, com convecção livre entre o líquido e o vidro, condução através do vidro e convecção livre do vidro para o ar; através da superfície inferior com convecção livre entre o líquido e o vidro e condução através do vidro para a mesa; através da superfície em contacto com o termómetro com convecção livre entre o líquido e o termómetro e condução através do termómetro.

### Bibliografia

1. V. Pereira, P. Martín-Ramos, P.P. da Silva, M.R. Silva, Studying 3D collisions with smartphones, *Phys. Teach.*, 55 (2017) 312-313.
2. J. Imazeki, Bring-Your-Own-Device: Turning Cell Phones into Forces for Good, *The Journal of Economic Education*, 45 (2014) 240-250.
3. P. Martín-Ramos, M. Ramos Silva, P.S. Pereira da Silva, Smartphones in the teaching of Physics Laws: Projectile motion| El teléfono inteligente en la enseñanza de las Leyes de la Física: movimiento de proyectiles., *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20 (2017) 213.
4. Neximo Labs, Framelapse - Time Lapse Camera, in, Google Play, 2017.
5. tsaedek, VidAnalysis free v. 1.63, in, Google Play, 2017.
6. L. Moggio, P. Onorato, L.M. Gratton, S. Oss, Time-lapse and slow-motion tracking of temperature changes: response time of a thermometer, *Phys. Educ.*, 52 (2017) 023005.



### Manuela Ramos Silva

licenciou-se (1993) em Física e doutorou-se (2002) em Física Experimental na Universidade de Coimbra, onde é professora auxiliar com agregação. Trabalha na área da Física dos Materiais, com particular interesse em magnetismo molecular, tendo mais de 250 artigos publicados em revistas internacionais e mais de 3000 horas de aulas leccionadas.



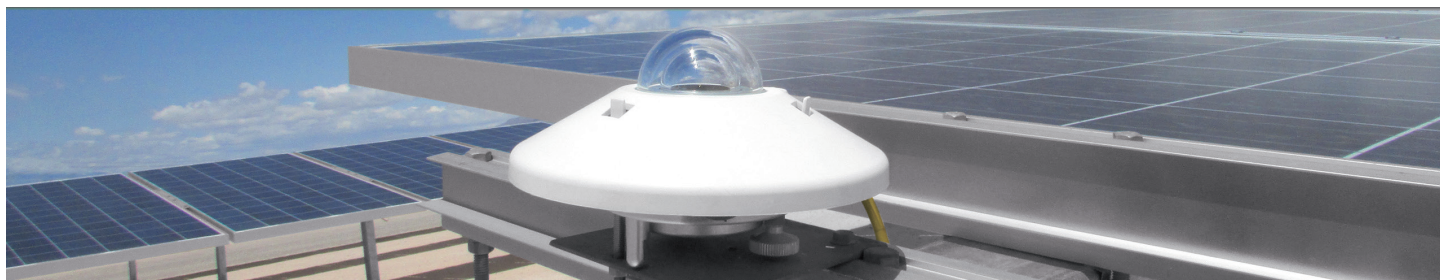
### Pablo Martín-Ramos

é professor na Universidade de Saragoça. Concluiu o seu Mestrado em Electrical Engineering em 2011 na Columbia University em Nova Iorque e o seu doutoramento em Telecommunications Engineering em 2013 na Universidade de Valladolid. Actualmente, o seu trabalho é centrado em materiais multifuncionais contendo lantanídeos e catalisadores heterogéneos para fotossíntese artificial. Tem mais de 60 trabalhos publicados em revistas internacionais.



### Pedro Sidónio Pereira da Silva

licenciou-se (1995) em Engenharia Física e finalizou o seu mestrado em Física Tecnológica em 2000 na Universidade de Coimbra. Concluiu o doutoramento (2012) em Física Experimental na mesma Universidade onde trabalha actualmente como técnico superior (laboratório TAIL-UC). Entre 2000 e 2008 foi assistente no Instituto Politécnico de Castelo Branco. Trabalha na área da Física dos Materiais, com particular interesse em óptica não-linear, tendo mais de 80 artigos publicados em revistas internacionais.



## Soluções para medição precisa de radiação solar

Medir com precisão a radiação do Sol é fundamental para identificar localizações ideais para instalações, justificar decisões de investimento, maximizar a eficiência de operação, programar manutenções, monitorizar o desempenho e melhorar a tecnologia em aplicações em energia solar fotovoltaica (PV), energia solar fotovoltaica de concentração (CPV) e energia solar térmica de concentração (CSP).

Na Kipp & Zonen, os nossos especialistas desenvolvem instrumentos de alta qualidade para a medição de radiação solar global, directa, difusa e no plano dos painéis, que permitem saber com precisão se o seu projecto de energia solar está a operar no seu melhor e a atingir o desempenho previsto, assim como fazer a gestão da manutenção. Desde a nossa bem conhecida série CMP, e a inovadora série de piranómetros Smart SMP, até ao novo sistema compacto de monitorização RaZON<sup>+</sup>, nós fornecemos as melhores soluções.

Quando a precisão importa, meça com Kipp & Zonen.

[www.kippzonen.com](http://www.kippzonen.com)

Kipp & Zonen distribuidor para Portugal  
**Vórtice - Equipamentos Científicos, Lda.**  
+351 21 868 35 59 | [geral@vortice-lda.pt](mailto:geral@vortice-lda.pt) | [www.vortice-lda.pt](http://www.vortice-lda.pt)