

# Física fora da sala de aula com smartphone

F. Salzedas<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 4200-465 Porto, Portugal

<sup>2</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

## Introdução

O smartphone é o acessório ubíquo dos estudantes. Usado maioritariamente para entretenimento, várias das suas capacidades são desconhecidas, sendo comum encontrar na sala de aula estudantes com smartphone e calculadora gráfica, porque desconhecem a existência de aplicações que são calculadoras gráficas. Outro exemplo é o desconhecimento que o smartphone contém sensores como por exemplo, acelerómetro ou magnetómetro, dois dos mais comuns. Também desconhecem igualmente aplicações, gratuitas, seguras e de código aberto, que permitem aceder aos valores em bruto destes sensores, e até exportá-los para um computador pessoal, transformando os smartphones em instrumentos de medida e aquisição de dados. Ajudar o estudante a explorar estas potencialidades do smartphone é importante. Permite levar a física para fora dos manuais, oferecendo a oportunidade de olhar para o smartphone como um mini laboratório que está sempre no seu bolso e pode ser usado fora da sala de aula, quando for oportuno. Neste trabalho serão apresentadas propostas para alguns trabalhos de casa a atribuir aos estudantes. Será descrito como se pode medir, a orientação das linhas do campo geomagnético local, os campos magnéticos criados pelas linhas elétricas do metro do Porto, usando o magnetómetro do smartphone, e estudar as propriedades dum oscilador harmónico simples ou amortecido usando o acelerómetro. Será usada a aplicação *phyphox* para aceder aos sensores.

## Calibração do magnetómetro

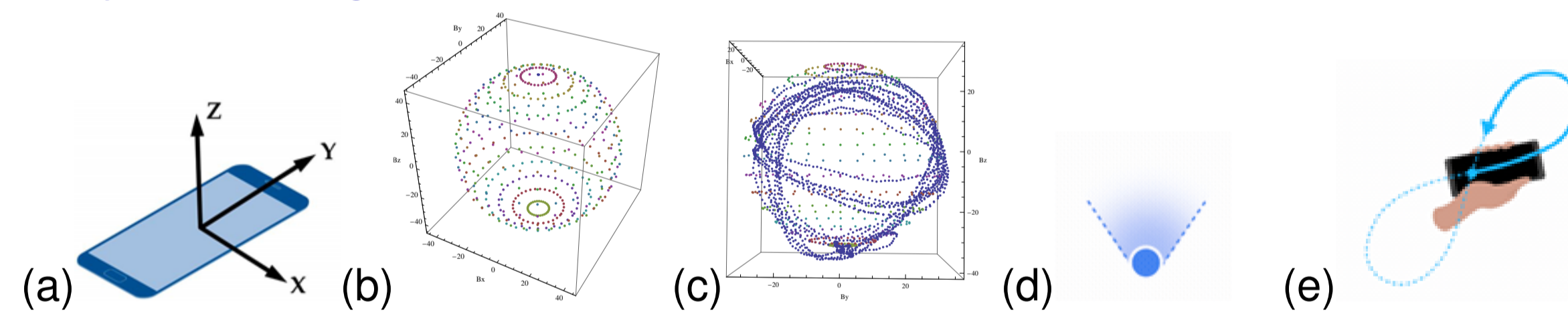
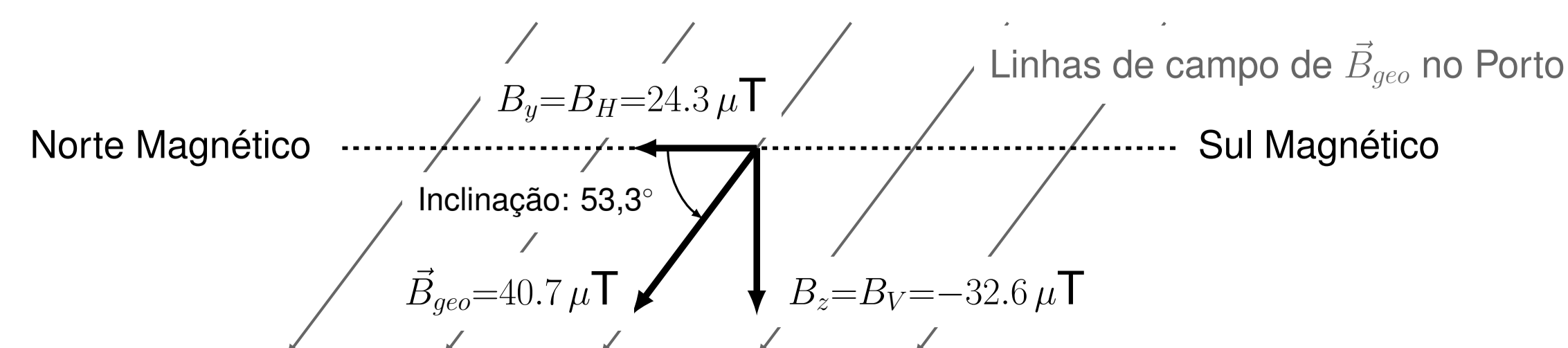


Figura 1

Um magnetómetro 3D contém 3 sensores ortogonais entre si que medem as 3 componentes do campo,  $\vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k}$  (Fig. 1(a)). Orientando o magnetómetro em várias direções, muda-se a direção do campo geomagnético no referencial do magnetómetro. As pontas de todos esses vetores deveriam cobrir a superfície duma esfera de raio  $\sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$  (ver Fig. 1(c)). Sem calibração obtém-se um elipsoide (Fig. 1(b)). A calibração ajusta o elipsoide à forma duma esfera. Os detalhes deste processo são elaborados e saem fora do âmbito deste trabalho. Será usada a calibração feita pelo sistema operativo: Ativar a localização por GPS → abrir o Google Maps → tocar no ponto azul que indica a sua localização no mapa (Fig. 1(d)) → premir o botão *calibrar* e seguir as instruções, movendo o smartphone descrevendo um movimento em forma de 8 para medir o campo geomagnético em várias direções (Fig. 1(e)), de forma a obter a esfera de calibração.

## Orientação das linhas do campo geomagnético local

Selecionando o magnetómetro na aplicação *phyphox* e segurando o smartphone na horizontal, com o ecrã voltado para cima encontra-se o norte magnético girando o smartphone (em torno do eixo  $z$ ) até  $B_x \approx 0$  e  $B_y > 0$ . Nessa posição  $y$  aponta para o norte magnético e as outras duas componentes do campo magnético são  $B_y = B_H$  a componente horizontal e  $B_z = B_V < 0$  a componente vertical do campo geomagnético. Podem-se comparar os valores medidos com os previstos pelo Modelo Magnético Mundial (WMM) disponível no site da NOAA (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#igrfwmm>).



## Campo magnético duma corrente filiforme infinita

O campo magnético dum fio infinito, percorrido por uma corrente  $I$  é sempre perpendicular ao fio, com linhas de campo circulares centradas no fio. Neste trabalho, usa-se um simples fio de cobre ligado a uma pilha seca de 9 V. O fio é colado com fita-cola ao longo do comprimento de uma folha A4 (ver Fig. 2). Apoiar a folha A4 numa mesa não metálica, e.g. de madeira, e longe de objetos metálicos, incluindo eventuais parafusos ou pregos na estrutura da mesa. Tomando a corrente paralela ao eixo  $x$  (ver Fig. 2) e localizada em  $(y_0, z_0)$ , o campo num ponto  $P(y, z)$  no plano da folha é dado por,

$$\vec{B}(P) = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left( \frac{-(z - z_0) \hat{j} + (y - y_0) \hat{k}}{(z - z_0)^2 + (y - y_0)^2} \right). \quad (1)$$

Para medir o campo colocar o smartphone como indicado na Fig. 2, e usar a Medida temporizada no *phyphox*, escolhendo um Atraso inicial = 3,0 s e Duração = 5,0 s. Em seguida deslocar o smartphone no sentido do eixo  $y$ , entre pontos equidistantes. Em cada posição realizar duas medições: 1ª - para medir o campo de fundo, sem a pilha ligada ao fio. 2ª - para medir o campo em bruto (campo de fundo + campo gerado pelo fio), com a pilha ligada ao fio.

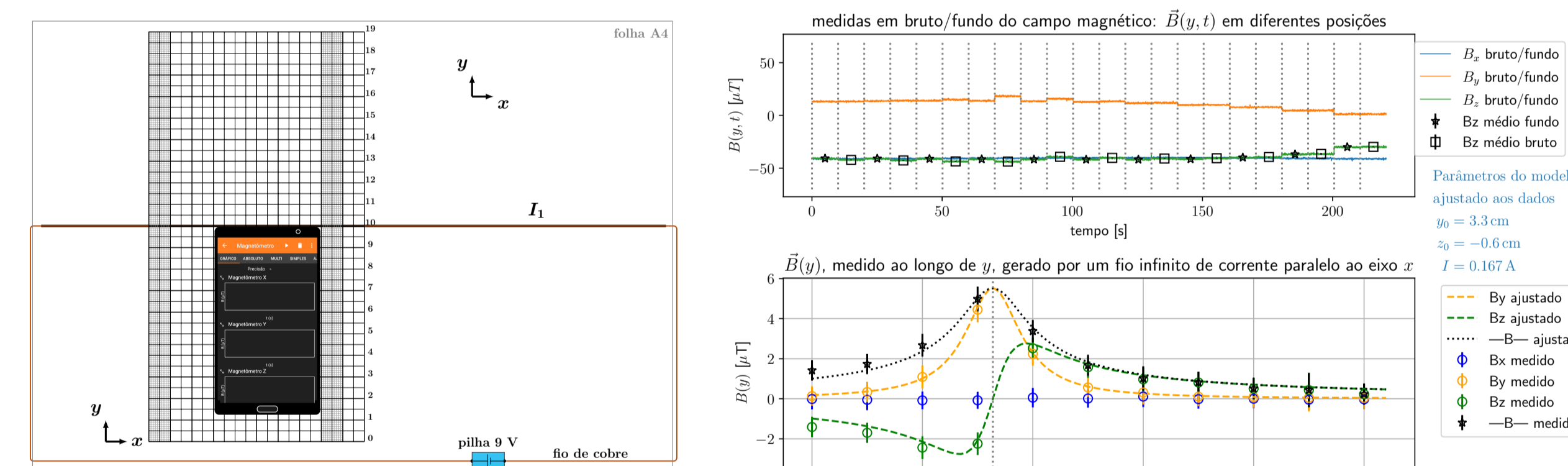
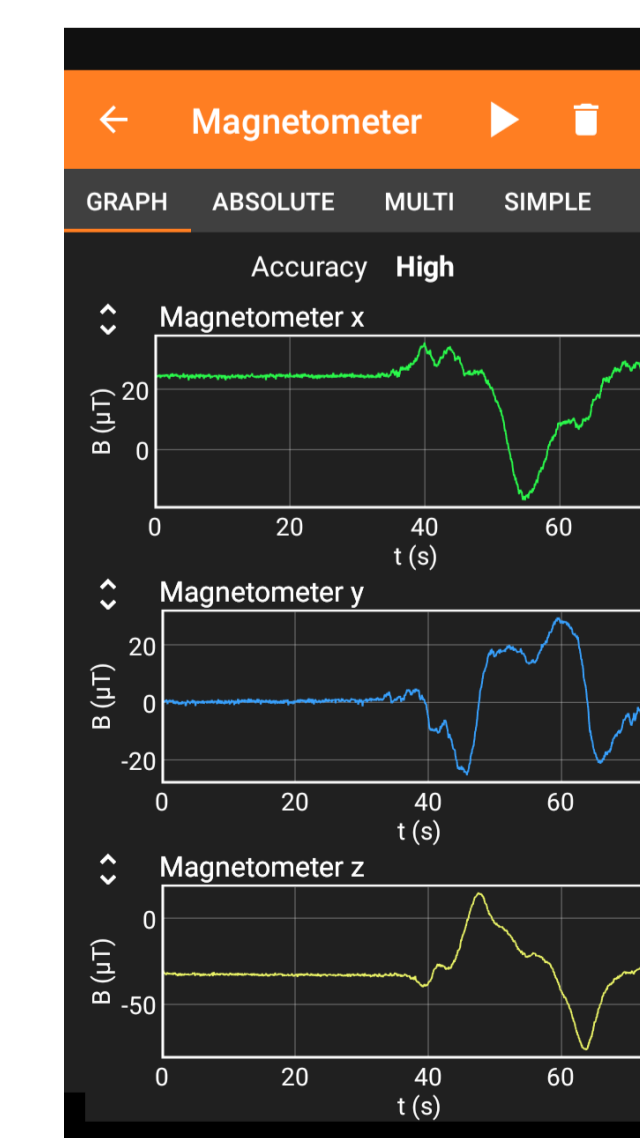


Figura 2

As medições foram processadas com um pequeno programa em Python que subtrai o campo de fundo, calcula o valor médio de  $B$  em cada intervalo de medição, e faz às medições, um ajuste não linear da Eq. 1 pelo método dos mínimos quadrados. Os parâmetros ajustados são  $y_0$  e  $z_0$  (que indicam a localização do magnetómetro no smartphone) e a corrente elétrica  $I$  no fio. O máximo de  $B_y$  ocorre quando o magnetómetro está mais perto do fio. Nessa posição  $B_z = 0$ . Neste trabalho não é necessário calibrar o magnetómetro.

## Campo magnético na vizinhança das catenárias do metro do Porto

O mesmo princípio foi usado para medir o campo magnético por cima da estação Polo Universitário do metro do Porto. Esta medição foi feita num troço da linha orientado no sentido Sul-Norte, após a calibração e medição de  $\vec{B}_{geo}$  no local. A medição é feita segurando na horizontal o smartphone na mão. O eixo  $y$  do smartphone é orientado na perpendicular às catenárias sentido Este-Oeste, com o eixo  $x$  no sentido Sul-Norte. Iniciando o percurso dum ponto afastado 4 m da catenária, caminha-se mantendo um passo constante até passar 4 m da catenária oposta. A interpretação do sinal obtido pode ser feita recorrendo ao modelo descrito antes considerando 6 fios de corrente paralelos (2 para a corrente nas catenárias e 4 para a corrente nos carris).



## Oscilador harmónico amortecido com força dissipativa $\vec{F}_a = -b\vec{v}$

O pêndulo indicado na Fig. 3 é constituído pelo smartphone preso por dois fios paralelos. Usando dois fios finos a massa do pêndulo é a massa  $m$  do smartphone. Para oscilações com pequena amplitude a equação do movimento é:

$$\ddot{\theta} + \frac{\dot{\theta}}{\tau} + \omega_0^2 \theta = 0 \quad (2)$$

onde  $\tau = \frac{m}{b}$  é a constante de decaimento, dependente da dissipação  $b$  e  $\omega_0 = \sqrt{g/\ell}$  a frequência angular natural. Quando a dissipação é reduzida a coordenada angular e a aceleração angular são descritas por,

$$\theta = \theta_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega_0 t - \delta) \quad \text{e} \quad \dot{\theta} = -\omega_0^2 \theta. \quad (3)$$

Nesta aproximação,  $a_y = \ell \ddot{\theta}$  e usando o acelerómetro do smartphone podemos medir a constante de decaimento  $\tau$  do pêndulo e o fator de qualidade  $Q = \omega_0 \tau$ .

Calculando o decréscimo logarítmico entre dois máximos distintos pode obter-se o decaimento

$$\tau = \frac{(n_2 - n_1)T}{2 \ln \left( \frac{a_y(n_1 T)}{a_y(n_2 T)} \right)} \quad (4)$$

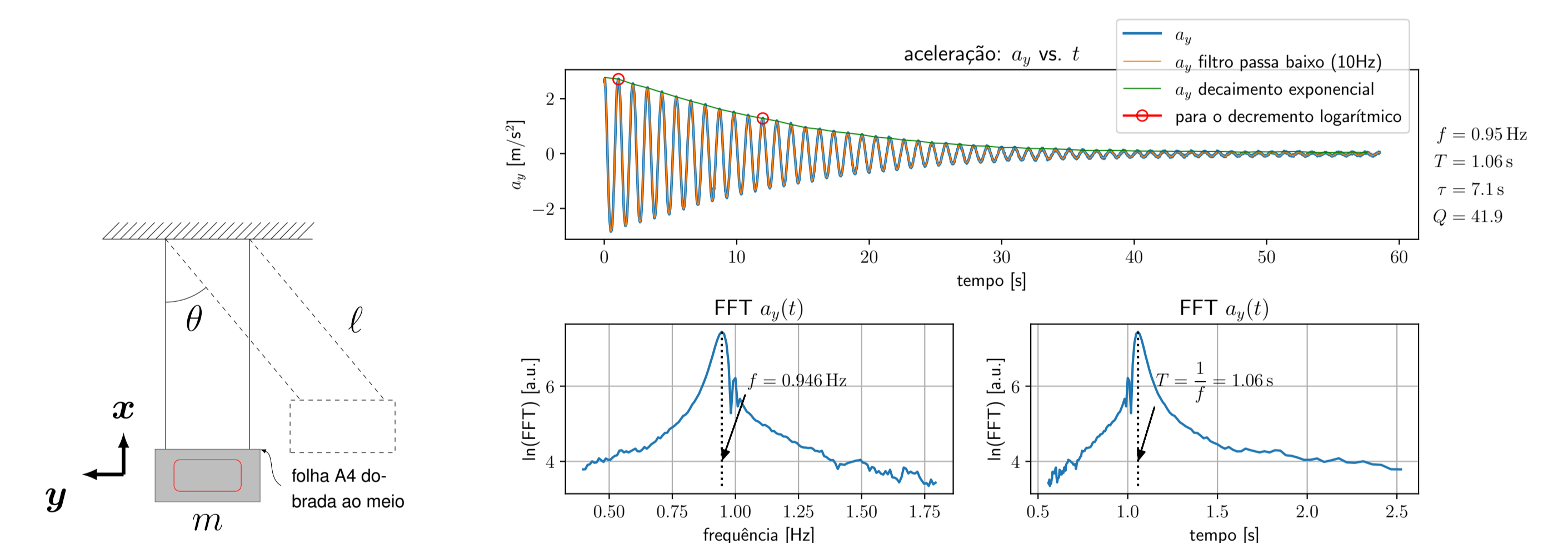


Figura 3

Para facilitar as medições, devido à elevada sensibilidade dos acelerómetros dos smartphones, deve usar-se a opção do *phyphox* Permitir acesso remoto para controlar o *phyphox* a partir dum PC. Usando diferentes tipos de fios de suspensão obtêm-se diferentes valores do fator de qualidade  $Q$ .

## Conclusões

- Todas estas experiências podem ser feitas fora da aula, oferecendo a oportunidade aos estudantes de explorar outras potencialidades do smartphone, que são normalmente desconhecidas.
- Estas experiências além de permitirem testar experimentalmente resultados discutidos nas aulas, servem também para introduzir o estudante à programação, aos sensores, e aquisição de dados.

## Agradecimentos

Este trabalho teve suporte financeiro do Departamento de Engenharia Física da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.