

Caçando monstros microscópicos com uma webcam hackeada: possibilidades para o ensino de física e ciências

.....
João Paulo Mannrich^{1,2,#}

¹Serviço Social da Indústria de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

RESUMO

A ação de hackear uma webcam em microscópio, além de permitir a exploração de diversos conceitos da física e das ciências, está associada a movimentos emergentes mais amplos de ciência aberta e ciência cidadã. É comum encontrarmos tutoriais de como fazer um microscópio caseiro, mas pouco a respeito do seu funcionamento ou potencial didático. Neste artigo, analisamos aspectos do funcionamento do microscópio, em particular a partir de conceitos de óptica e microscopia. Além disso, apresentamos algumas ideias que permitem abordagens interdisciplinares situando-as em um contexto mais amplo no ensino de ciências.

Palavras-chave: webcam; microscópio; Faça Você Mesmo; hacking; maker

.....

1. Introdução

O uso de atividades práticas e experimentais no ensino de ciências não é novidade na área [1-3]. A busca por alternativas de baixo custo e fácil acesso também não, haja vista que grande parte de escolas de educação básica, especialmente as de redes públicas, não têm muitos investimentos em estruturas de laboratório adequadas, ou artefatos físicos e tecnológicos que instiguem professores e estudantes a esta prática.

Ainda que algumas escolas tenham algum recurso que suporte a execução de atividades práticas e experimentais, muitas vezes, a falta de atividades didáticas adequadas, a falta de materiais específicos e a falta de tempo de planejamento para o professor, somados aos pobres resultados pedagógicos que alcançam, contribuem para o desuso destas estratégias. Entretanto, alguns autores e educadores acreditam que, mais importante do que manipular artefatos concretos no ensino de ciências, é a atitude de buscar soluções para as questões colocadas [2], o que remete a uma mudança de uma postura “consumista” de conteúdos para uma postura a qual nos referiremos com o neologismo “prosumista”. Nesta perspectiva, o estudante é mais do que consumidor, sendo também um produtor de conhecimento que precisa se apropriar de processos típicos da construção de conhecimentos científicos.

Entre os usos de atividades práticas

e experimentais no ensino de ciências está a construção de equipamentos [1]. Este artigo pretende explicitar alguns aspectos científicos associados à construção de um dispositivo típico de laboratório (microscópio digital), assim como apresentar possibilidades didáticas para seu uso. Com isso, podemos abrir algumas caixas-pretas e aproximar estudantes de instrumentos e técnicas científicas, além de proporcionar discussões sobre a natureza do conhecimento científico para estimular a transparência e o senso estético no processo de investigações [4].

A proposta pode ser situada dentro de um contexto emergente de democratização de ciência e tecnologia. Nas últimas décadas, movimentos mundiais têm emergido com tal objetivo, em que comunidades físicas e virtuais de adeptos, leigos e cientistas, criam e compartilham conhecimentos a respeito de pesquisas e projetos, bem como sobre tecnologias mais acessíveis. Comunidades

Ainda que algumas escolas tenham algum recurso que suporte a execução de atividades práticas e experimentais, a falta de atividades didáticas adequadas, de materiais específicos e de tempo de planejamento para o professor contribuem para o desuso destas estratégias

on-line como hackteria.org, waag.org, diybio.org, synthebio.com e publiclab.org são exemplos de grupos que têm como objetivo esta democratização ao disponibilizarem conhecimentos, práticas e projetos envolvendo ciência e tecnologia no estilo Faça Você Mesmo e alinhados à ideia de ciência aberta. Os

projetos envolvem a realização e o compartilhamento de pesquisas no estilo ciência cidadã, a construção de versões de baixo custo de equipamentos de laboratório (microscópios, centrífugas, termocicladores, dispositivos para ele-

#Autor de correspondência. E-mail: joao.mannrich@sesisc.org.br | jpmannrich@yahoo.com.br

troforese, espectrômetros, etc.) e tutoriais sobre como montar um laboratório em casa,¹ por exemplo. Estas comunidades têm estreita relação com movimentos mais amplos conhecidos como DIY (*Do It Yourself*, ou Faça Você Mesmo), DIWO (*Do It With Others*, ou Faça Com Os Outros), DIYBio (*Do It Yourself Bio*, ou Faça Você Mesmo Biologia) e Biohackers [5-10]. O Movimento Maker, projetado por atores como a *Make Magazine* e a *Maker Faire*, aparece como um catalisador dos diferentes contextos supracitados [11-13]. Possibilidades e impactos destes movimentos na educação científica e tecnológica, em alguma medida, também vêm sendo discutidos [14-20].

2. Hackear uma webcam em microscópio?

Há muitos tutoriais na internet de como fazer microscópios caseiros com materiais simples reaproveitando sucata. Uma pesquisa no Google, no YouTube ou no *site* Instructables, por exemplo, resulta em diversas e diferentes versões: *foldscope*, uma espécie de microscópio de origami que permite uma ampliação de 140X [21]; microscópio projetor utilizando uma gota d'água e um laser, que permite uma ampliação de 1000X, mas com baixa resolução de imagem [22, 23]; microscópio com gota d'água sobre a lente da câmera de celular ou *tablet* [24]; lente de apontador laser ou de leitor de CD/DVD sobre câmera de celular ou *tablet* [25]; *webcams* [26, 27]; e outros dispositivos [28-30]. Todos estes projetos têm uma característica em comum: utilizar uma lente que permite ampliar amostras tornando o mundo microscópico visível.

Neste artigo, nós nos propomos a ir além do como fazer um microscópio utilizando uma *webcam* ao discutir como funciona e como ele pode ser utilizado didaticamente. Utilizamos o termo “hackeando” para enfatizar que muitos movimentos como os citados repensam o para quem e para quê da produção e do acesso à ciência e à tecnologia, apresentando-se como uma alternativa à obsolescência programada e à produção de lixo tecnológico. Podemos pensar o hackear a partir da citação:

O fenômeno do *hacking* não está presente em todos os lugares e a qualquer momento? Efetivamente, o *hacking* está em todo lugar. Enquanto vivermos em um mundo com regras estabelecidas, haverá

hackers. *Hacking* é a modificação experimental de sistemas de maneira criativa ou para obter vantagens [31].

A modificação dos objetos ao redor dos indivíduos produz vantagens práticas e controle a eles, que passam de meros usuários para agentes empoderados criativamente no uso dos objetos. A expressão “hackeando uma *webcam*” não representa apenas uma ação técnica ou algo pejorativo associado à palavra “*hacker*”. Ela evoca uma posição crítica ao questionar e repensar a contemporaneidade e buscar meios inovadores para superar desafios. Neste sentido, alterar uma *webcam* para transformá-la em um microscópio é uma atividade tipicamente *hacker*.

3. Como fazer?

Hackear uma *webcam* em um microscópio é conceitualmente simples: basta inverter a lente sobre o sensor como descrito em inúmeros tutoriais disponíveis na internet. Em geral, a lente está originalmente rosqueada em um suporte fixo sobre o circuito ao redor do sensor. É necessário desrosquear a lente, invertê-la e posicioná-la sobre o suporte, como ilustrado nas Figs. 1 e 2. Ao fazer isso, afastamos a lente do sensor. Como discutiremos adiante, a inversão da lente sobre o sensor não é o que torna a *webcam* um microscópio.

Um dos maiores problemas de microscópios caseiros envolve conseguir estruturas que permitam o ajuste fino e estável do foco da amostra. A Fig. 3 apresenta duas possibilidades: uma à base de papelão e outra em MDF e PLA.²

Na Fig. 3 (esquerda), utilizamos uma estrutu-

ra plástica – capa de CD – (A) e um pedaço de papelão rígido em bom estado (B). O furo retangular acima da lente do microscópio de *webcam* (C) permite o posicionamento da lâmina (D) que receberá a amostra a ser observada. Outro furo será necessário para o sistema de ajuste de foco feito com um parafuso – modelo M5 com 80 mm de comprimento – (E) que atravessa duas porcas (modelo M5 com 5,5 mm de altura), uma colada acima do furo (F) e outra abaixo, fazendo uma espécie de “sanduíche”. Uma arruela colada na base do microscópio (G) serve para manter o parafuso estável. Um elástico é colocado de modo a unir a base e a “tampa” do microscópio (H) para garantir certa tensão no ajuste de foco. A fonte de luz usa um diodo

A expressão “hackeando uma *webcam*” não representa apenas uma ação técnica ou algo pejorativo associado à palavra “*hacker*”. Ela evoca uma posição crítica ao questionar e repensar a contemporaneidade e buscar meios inovadores para superar desafios



Figura 1 - À esquerda, *webcam* Logitech C270. À direita, *webcam* aberta.

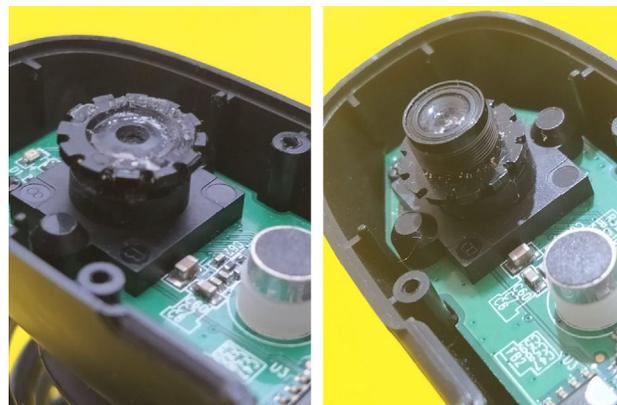


Figura 2 - À esquerda, lente rosqueada sobre o sensor. À direita, lente desrosqueada, invertida e fixada sobre o sensor com um pequeno pingo de cola instantânea nas bordas.

LED branco de alto brilho (5 mm) alocado acima da mostra (I) e fixado em um fio de cobre de maleável de bitola de 2,5 mm e cerca de 400 mm de comprimento (para ajustar a posição da luz sobre a amostra). O sistema possui ainda uma chave gangorra (J), uma bateria de 3 V (K) e um resistor de 220 Ω que permite acionar o diodo LED. O cabo USB que liga a *webcam* ao computador (L) está parcialmente apresentado.

Na Fig. 3 (direita), utilizamos MDF com 3 mm de espessura cortado com uma máquina a laser e peças (verdes) produzidas com uma impressora 3D. A barra roscada (L) tem 5 mm de diâmetro e 20 cm de comprimento. Ela atra-

vessa duas portas M5 presas na base de observação (M), o que permite o ajuste de foco na amostra. O LED branco de alto brilho fica preso na peça N que pode ser modificada sobre o MDF para ajuste de iluminação.³

O ajuste de foco pode ser facilmente feito utilizando o parafuso (Fig. 3 – esquerda) ou a barra roscada (Fig. 3 – direita). Contudo, encontrar o foco é uma tarefa que exige paciência e algum tempo se acostumando com as especificidades de cada base construída, especialmente quando o objetivo é encontrar seres que se mexem, como paramécios e rotíferos. O ajuste de foco deve ser acompanhado de um bom ajuste de

luz sobre a amostra. O diodo LED dá conta de fornecer um bom contraste, como pode ser visto nas Figs. 4, 5 e 6.

Entretanto, assim como o ajuste de foco, é importante testar várias configurações de iluminação sobre as amostras até que se obtenha bons contrastes e, conseqüentemente, boas imagens. De maneira geral, alinhar a luz do diodo LED ao centro da lente não tem se mostrado uma boa opção uma vez que não colabora para uma boa difusão da luz sobre a amostra quando tentamos observar objetos opacos. Além disso, microscópios ópticos não têm bom desempenho para observar objetos opacos (uma vez que a luz deve atravessar as amostras para ser captada pelo sensor). Portanto, são recomendadas amostras translúcidas com espessura que permita a passagem de luz pelo objeto. No caso de observação da superfície de objetos opacos, uma estratégia é posicionar a fonte de luz do mesmo lado da lente, pois assim a luz refletida pela amostra pode ser mais facilmente captada pelo sensor. Em alguns casos, posicionar a fonte de luz inclinada lateralmente propicia bons resultados. Em suma, ajuste de foco e iluminação exigem um pouco de empenho até que se entenda e domine o microscópio construído.

A Fig. 7 mostra a interface do software⁴ utilizado para observação e registro das imagens, que permite alterar alguns parâmetros delas como brilho,

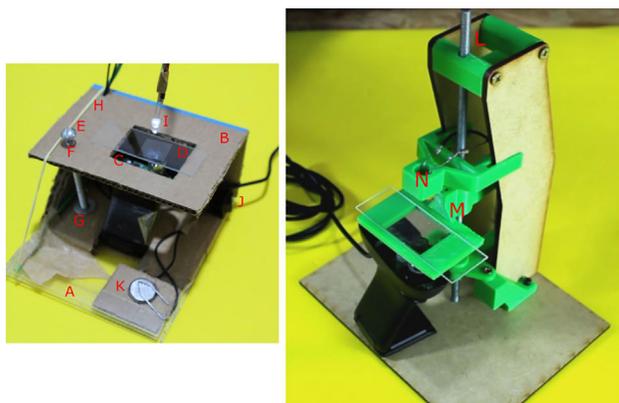


Figura 3 - À esquerda, base de observação com ajuste de foco e iluminação para o microscópio de *webcam* feito com papelão. À direita, base produzida com ferramentas de fabricação digital.

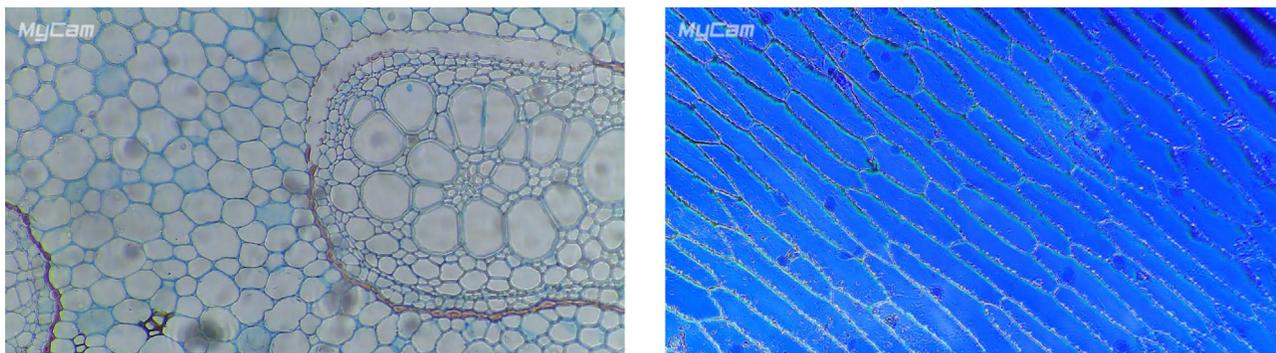


Figura 4 - À esquerda, corte transversal em rizoma de samambaia (lâmina preparada). À direita, células de cebolas coradas com azul de metileno.

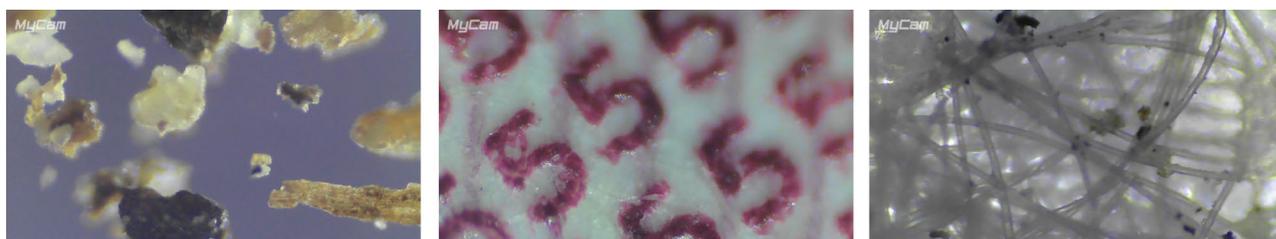


Figura 5 - À esquerda, grãos de pimenta do reino. Ao centro, detalhe de uma nota de R\$ 5,00. À direita, fibras de uma máscara cirúrgica usada de polipropileno.

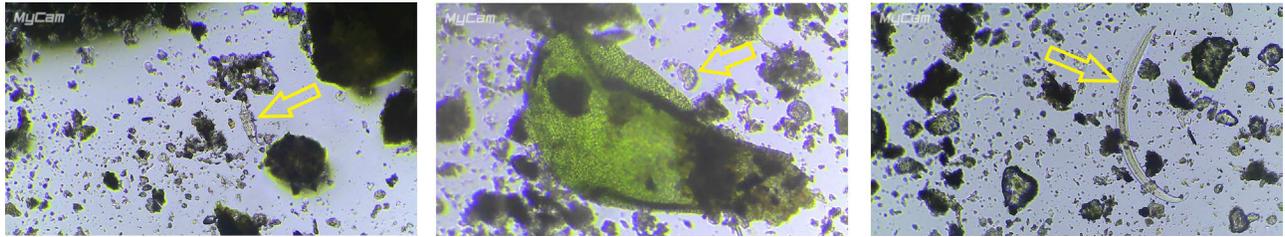


Figura 6 - À esquerda, rotífero. Ao centro, protozoário (provavelmente o *P. bursaria*) próximo ao parênquima de musgo. À direita, nematoda.

contraste e saturação.

Esse software mostrou um bom desempenho para a observação e o registro das imagens, testado inclusive com um microscópio digital profissional (Microscópio Digital Binocular Coleman). Basta plugar o cabo USB do microscópio no computador, escolher a câmera através do menu superior direito do software e ajustar a resolução desejada.

As principais características da webcam Logitech c270 utilizada no contexto da discussão que se segue são [32]:

- Resolução: 1280 × 720 px
- Tamanho do pixel: 2,8 μm.
- Tamanho do sensor CMOS: 3,58 × 2,02 mm.
- Distância focal: 4,2 mm.
- Conexão: USB.
- Preço em junho de 2018: R\$ 87,90.

4. Como funciona?

Microscópios são, em essência, instrumentos que permitem a observação de objetos não visíveis a olho nu. Existem vários tipos, com diferentes tecnologias, que dependem do que se deseja observar. De modo geral, os microscópios ópticos utilizam conjuntos de lentes, geometrias e tecnologias que projetam uma imagem ampliada, que incluem algum controle mecânico que permite o ajuste de foco e que necessitam de iluminação adequada para otimizar o contraste da imagem ampliada. Consideramos que o arranjo da lente da webcam apresentada na Fig. 2 se comporta como uma lente biconvexa, o que nos permite realizar uma análise física do funcionamento do microscópio feito com a webcam.

4.1. Lente, distância focal e foco

A distância focal (F) de uma lente pode ser definida como a distância da imagem quando a distância do objeto é infinita, de acordo com o diagrama da Fig. 8 [33].

Para o caso de uma lente objetiva

típica de um microscópio, a imagem produzida será invertida, real e ampliada, uma vez que o objeto será posicionado na condição $F < O < 2F$, onde O representa a distância do objeto em relação à lente e I , a distância da imagem formada, como mostra o diagrama de raios apresentado na Fig. 9 [34].

É possível estabelecer a relação entre a distância focal (F) e as distâncias entre objeto (O) e imagem (I) pela equação de lentes finas ou equação de Gauss dada pela Eq. (1).

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{O} + \frac{1}{I}. \quad (1)$$

A webcam Logitech c270 tem distância focal de 4,2 mm. Pela Eq. (1), podemos determinar que se $I = 2,5$ mm, então $O = 6,32$ mm, como esquematizado na Fig. 10 e estando de acordo com a condição $F < O < 2F$ ($4,2 < 6,32 < 8,4$).

O diagrama de raios apresentado na Fig. 10 nos auxilia a compreender a formação da imagem em uma única lente, que já nos dá uma pista a respeito

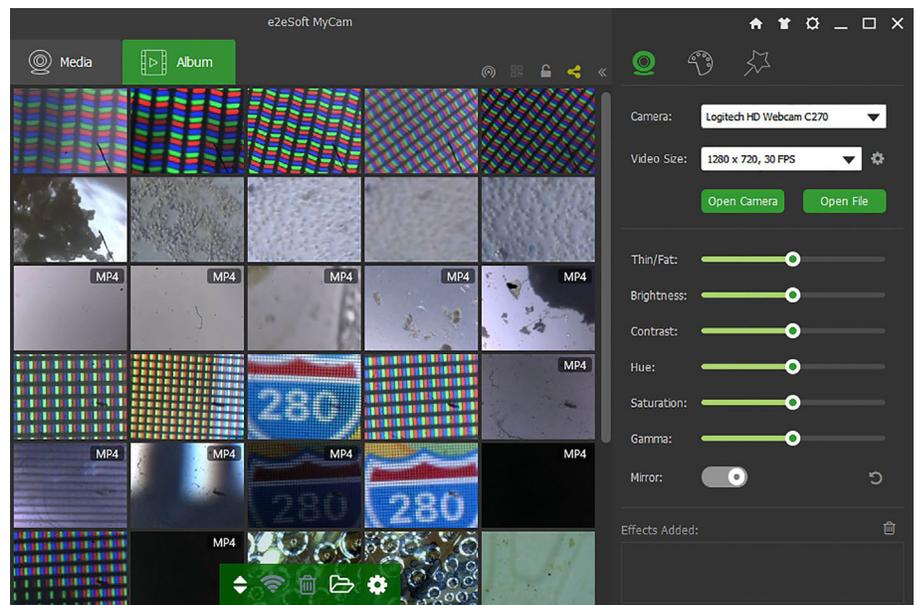


Figura 7 - Interface visual do software MyCam utilizado para registro de imagens com o microscópio de webcam.

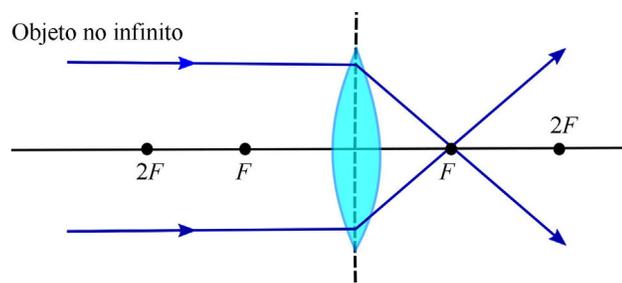


Figura 8 - Refração dos raios de luz para uma lente fina biconvexa convergente, em que F representa a distância focal da lente quando o objeto está posicionado no infinito. $2F$ representa duas vezes a respectiva distância focal.

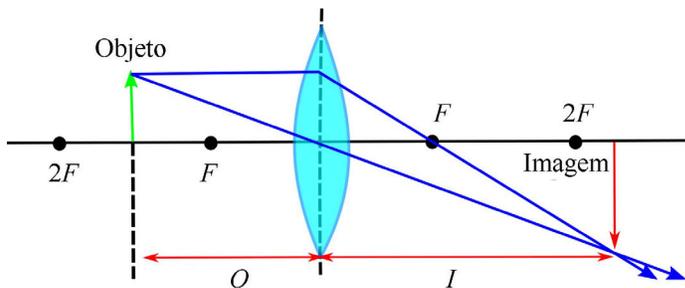


Figura 9 - Diagrama de raios para o caso de uma lente biconvexa convergente estar a uma distância de $F < O < 2F$.

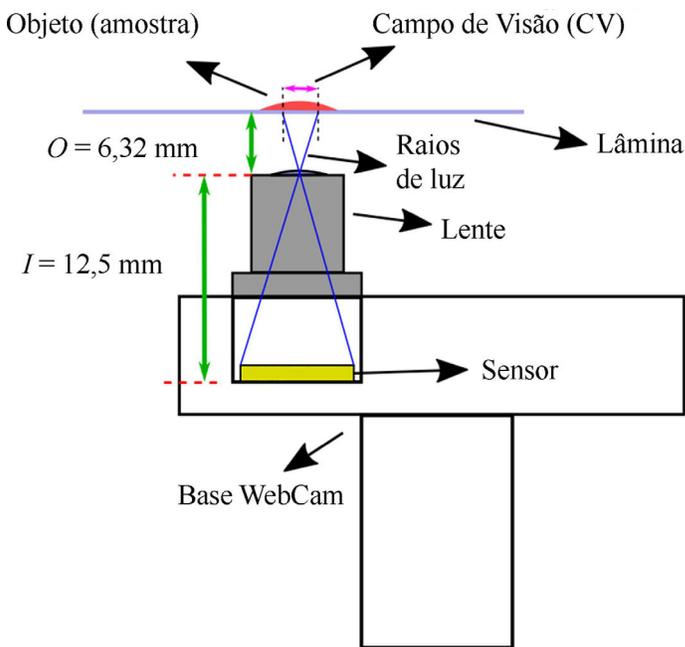


Figura 10 - Distância $O = 6,32$ mm entre a lente e o objeto quando $I = 12,5$ mm e $F = 4,2$ mm para o microscópio de webcam.

da inversão da lente sobre o sensor ser responsável pela transformação da webcam em microscópio. Desta forma, temos duas hipóteses a testar:

1. se o aumento da distância entre lente e sensor acarreta um aumento na ampliação da imagem obtida;
2. se a inversão da lente sobre o sensor, como implícito em tutoriais encontrados na internet, seria o responsável pela ampliação da imagem.

4.2. Hipótese 1

Para testar a hipótese 1, obtivemos imagens dos pixels da tela de um celular iPhone 5S para duas configurações de afastamento da lente do sensor, como mostram as Figs. 11 e 12.

O teste empírico confirma a hipótese 1, como podemos observar por meio das Figs. 11 e 12. Podemos estimar a

ampliação da imagem final no monitor obtida no microscópio (A_f) para as configurações apresentadas nas Figs. 11 ($A_{f,11}$) e 12 ($A_{f,12}$) a partir da razão entre as dimensões da imagem final ampliada visualizada no monitor ($I_{f,12}$ e $I_{f,11}$) e a imagem original do objeto ($I_{i,11}$ e $I_{i,12}$). Considere que a largura da Fig. 11 (direita) é de 99 mm contendo 49 pixels e que a largura da Fig. 12 (direita) é de 117 mm contendo 12 pixels. Cada pixel tem 2,02 mm ($99 \text{ mm} \div 49 \text{ pixels} = 2,02 \text{ mm}$) e 9,75 mm ($117 \text{ mm} \div 12 \text{ pixels} = 9,75 \text{ mm}$) respectivamente. Basta dividir o tamanho do pixel correspondente à imagem ampliada ($I_{f,11} = 2,02 \text{ mm}$ e $I_{f,12} = 9,75 \text{ mm}$) pelo tamanho do pixel original ($I_{i,iphone} = 0,078 \text{ mm}$), o que resulta em uma ampliação final (na tela do software no computador) de aproximadamente 25,90X para a Fig. 11 e 125X para a Fig. 12.

$$A_f = \frac{I_f}{I_i}, \quad (2)$$

$$A_{f,11} = \frac{2,02 \text{ mm}}{0,078 \text{ mm}} \cong 25,90X,$$

$$A_{f,12} = \frac{9,75 \text{ mm}}{0,078 \text{ mm}} = 125X.$$

4.3. Hipótese 2

O que acontece se compararmos duas imagens obtidas pelo microscópio em que uma estiver com a lente em sua posição original e a outra em sua posição invertida? Com o auxílio de algumas porcas idênticas (modelo M5 com 5,5 mm de altura cada), afastamos a lente cerca de 39 mm do sensor conforme arranjo mostrado na Fig. 13. Neste caso, pretendemos, além de verificar uma nova configuração para a distância entre sensor e lente, averiguar o efeito da inversão da lente.

Com base na configuração apresentada, obtivemos as imagens dos pixels da tela de um celular modelo Xiaomi Redmi Note 7, como mostradas na Fig. 14.

Não percebemos diferença em relação à ampliação das imagens para as configurações testadas. Houve variação apenas no contraste das imagens, que está relacionada ao fato de que, no caso da Fig. 13 (esquerda), entra menos luz do que no caso da Fig. 13 (direita). Este efeito pode ser comparado ao controle de diafragma em câmeras fotográficas. Se entra mais luz pela lente, mais clara será a imagem, como é o caso da Fig. 14 (esquerda).

Já a respeito do efeito de afastar a lente do sensor ainda mais (de 23,5 mm – Fig. 12 – para 39 mm – Fig. 13), podemos realizar a mesma estimativa feita anteriormente para a ampliação a partir das imagens obtidas. Considere que a largura da Fig. 14 (esquerda) tem 80 mm contendo 8 pixels, portanto cada pixel tem 10 mm ($80 \text{ mm} \div 8 \text{ pixels} = 10 \text{ mm}$). Basta dividir o tamanho do pixel correspondente à imagem ampliada ($I_{f,14} = 10 \text{ mm}$) pelo tamanho do pixel original ($I_{i,xiaomi} = 0,0625 \text{ mm}$)⁵ utilizando Eq. (2).

$$A_{f,14} = \frac{10 \text{ mm}}{0,0625 \text{ mm}} = 160X.$$

A ampliação final (na tela do software no computador) é de aproximadamente 160X para a Fig. 14, corroborando positivamente o resultado obtido para a hipótese 1. O interessante é que estes dados nos fornecem parâmetros para estimar o tamanho real de objetos



Figura 11 - À esquerda, lente invertida sobre o sensor da *webcam* posicionada a cerca de 12,5 mm do sensor ($I = 12,5$ mm). À direita, imagem obtida da tela do iPhone 5S visualizada no software MyCam e ajustado para a resolução 1280×720 pixels.

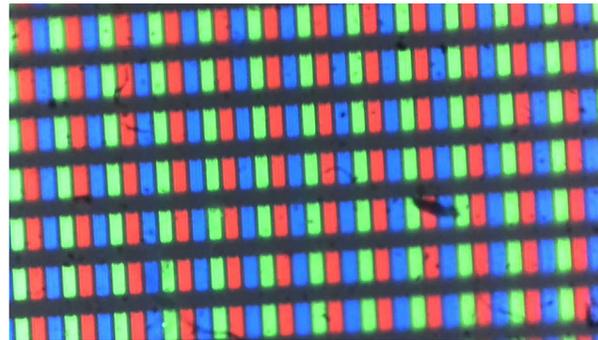
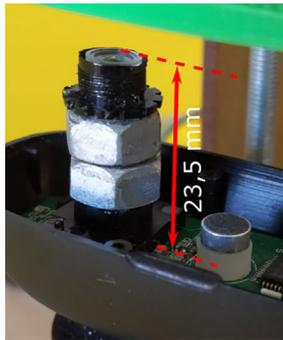


Figura 12 - À esquerda, lente invertida sobre o sensor da *webcam* posicionada a cerca de 23,5 mm do sensor ($I = 12,5$ mm). À direita, imagem obtida da tela do iPhone 5S visualizada no software MyCam e ajustado para a resolução 1280×720 pixels.

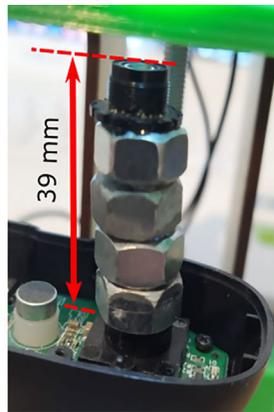
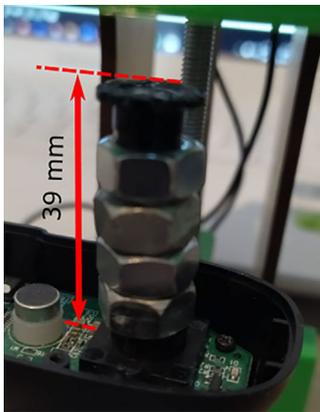


Figura 13 - À esquerda, lente na orientação original. À direita, lente invertida. Nos dois casos, o afastamento é de 39 mm.

observados com o microscópio de *webcam*.

4.4. Ampliação da lente e campo de visão

Não podemos confundir a ampliação

das imagens (A), que foi estimada nos cálculos da seção anterior, e o conceito de magnificação de uma lente, também traduzida como ampliação. A ampliação (M , do inglês *magnification*) da lente objetiva de um microscópio é

determinada pela razão da distância entre o objeto (O) e a lente e da distância entre a imagem (M) e a lente indicada na Eq. (3) [34].

$$M = \frac{I}{O}. \quad (3)$$

Considerando a Eq. (1) para $F = 4,2$ mm, para os dados da Fig. 11, em que $O_{11} = 6,32$ mm e $I_{11} = 12,5$ mm, temos que $M_{11} \cong 1,98X$. Se realizarmos o cálculo para o caso da Fig. 12, em que $I_{12} = 23,5$ mm e $O_{12} \cong 5,11$ mm, temos que $M_{12} \cong 4,6X$. O mesmo cálculo para o caso da Fig. 14, em que $I_{14} = 39$ mm e $O_{14} \cong 4,70$ mm resulta em $M_{14} \cong 8,30X$. Estes resultados também nos mostram que quanto mais distante a lente estiver do sensor (maior I), maior será a imagem ampliada do objeto e mais próximo a lente deverá estar do objeto para produzir uma imagem nítida.

A produção de uma imagem digital,

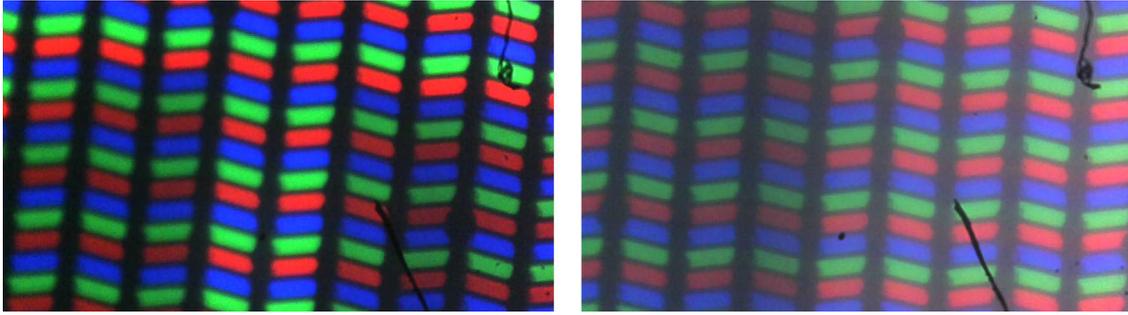


Figura 14 - Pixels da tela de um *smartphone* Xiaomi Redmi Note 7. À esquerda, configuração da Fig. 13 à esquerda. À direita, configuração da Fig. 13 à direita. A resolução da captura de imagem da *webcam* no software estava configurada para 1280×720 px.

como é o caso do microscópio de *webcam*, revela que a dimensão da imagem na tela do computador é variável em função de outros parâmetros, como do tamanho da janela de visualização, do tamanho do monitor e do *zoom* digital aplicado à imagem. Deste modo, a ampliação M da lente, sozinha, não é um parâmetro de qualidade de um microscópio e não pode ser utilizada diretamente para estimar a ampliação da imagem produzida em uma tela.

Um conceito interessante e que nos ajuda a estimar dimensões de objetos desconhecidos é o campo de visão (CV). Ele representa o tamanho da região da amostra que pode ser vista na mesma imagem e que pode ser determinado pela razão entre a dimensão do sensor (consideramos aqui a dimensão diagonal do sensor – DS) da câmera e a ampliação da lente objetiva (M), como mostra a Eq. (4). Perceba que o campo

de visão não se altera com a manipulação digital do tamanho da imagem exibida na tela do computador [32].

$$CV = \frac{DS}{M}. \quad (4)$$

A Fig. 15 mostra um diagrama para duas configurações distintas associadas ao campo de visão.

No esquema apresentado na Fig. 15, é possível observar como o CV é alterado em função da distância entre a lente e o sensor. Note que se $f > I$, então $CV' > CV$. Com o campo de visão, também podemos estimar o tamanho do objeto observado (TO) dividindo-se o campo de visão (CV) pelo número de vezes que é possível replicar o objeto dentro dele (NO), como mostra a Eq. (5).

$$TO = \frac{CV}{NO}. \quad (5)$$

Se o sensor da *webcam* utilizada tem as

dimensões de $3,58 \text{ mm} \times 2,02 \text{ mm}$, então sua diagonal (DS) terá aproximadamente $4,11 \text{ mm}$ (ou $4110 \mu\text{m}$).

4.5. Estimando o tamanho de um objeto

O tamanho de objetos observados pode ser facilmente estimado utilizando o CV . Vamos utilizá-lo para estimar o tamanho do protozoário apresentado na Fig. 16⁶ e obtido pelo arranjo da Fig. 12.

Para utilizar a Eq. (5), precisamos determinar o CV a partir da Eq. (4).

$$CV_{12} = \frac{DS}{M_{12}} = \frac{4110 \mu\text{m}}{4,6} \cong 893,48 \mu\text{m}.$$

Para estimarmos o tamanho do objeto (TO) por meio da Eq. (5), é necessário verificar o número de vezes que o objeto pode ocupar o CV , levando em consideração uma medida da diagonal da imagem. Com auxílio de um software

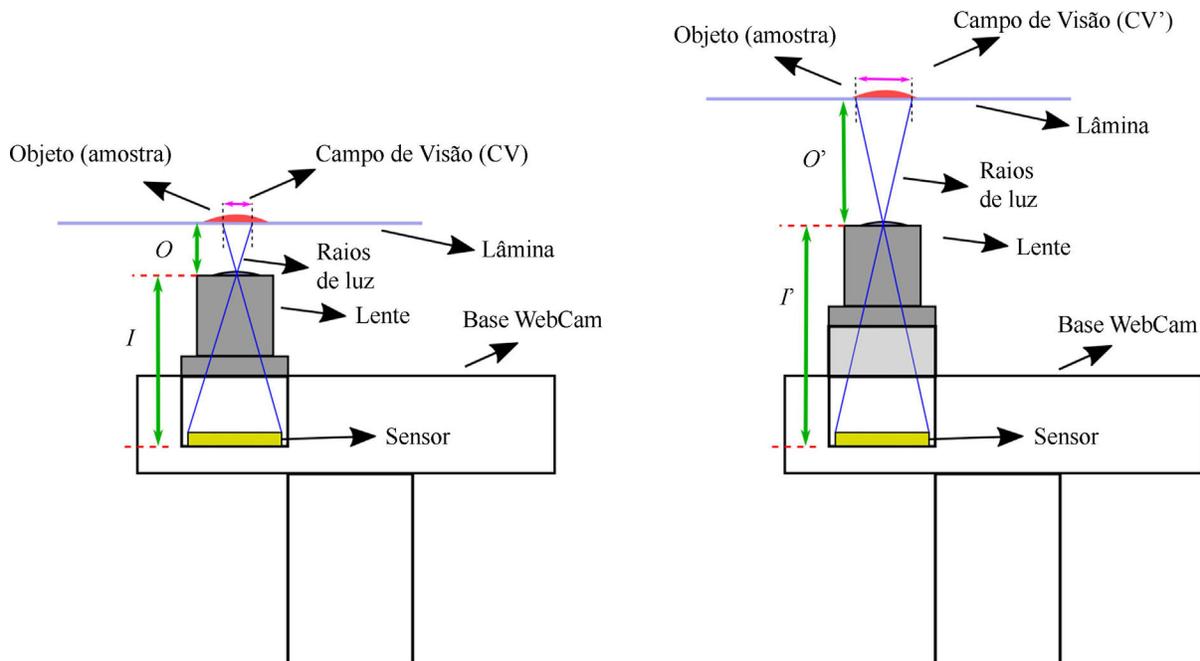


Figura 15 - À esquerda, o campo de visão é menor do que o da direita devido às diferentes distâncias entre a lente e o sensor.

de desenho vetorial e da Fig. 16, montamos a Fig. 17.

Observe que fizemos uma réplica vetorial do formato do protozoário. Em seguida, replicamos o desenho 12 vezes através da linha diagonal de modo a preenchê-la. É fácil notar que as 12 réplicas ultrapassam a diagonal. Com o auxílio de uma régua, fizemos outra estimativa calculando a razão entre a dimensão total da diagonal da imagem e a dimensão de um único objeto representada pelo segmento amarelo (Fig. 17). O cálculo resulta em $NO = 129 \text{ mm} \div 12 \text{ mm} \cong 10,75$. Devido à sua maior precisão, consideramos o cálculo na Eq. (5):

$$TO = \frac{CV_{12}}{NO_{17}} = \frac{893,48 \text{ } \mu\text{m}}{10,75},$$

$$TO \cong 83,11 \text{ } \mu\text{m}.$$

Este valor indica que a dimensão diagonal real do protozoário observado, que coincide com seu comprimento, é de aproximadamente 83,11 μm , que, para o *P. bursaria*, pode variar entre 80 μm e 150 μm [35, 36]. Comunidades on-line como o *hackteria.org* também reportam que microscópios feitos com *webcams* permitem ampliações de 100X



Figura 16 - Imagem de uma amostra de água de musgo. É possível observar um protozoário (provavelmente *P. bursaria*) no centro da imagem.



Figura 17 - Estimativa do NO para calcular TO utilizando um software de desenho vetorial.

até 400X, corroborando com os resultados aqui apresentados [37].

A ampliação M não é um fator determinante da qualidade de microscópios digitais, pois ela depende de fatores como tamanho dos pixels do sensor e o campo de visão relacionado ao arranjo do microscópio. Dessa forma, para cada modelo de *webcam* e arranjo utilizados, é necessário realizar cálculos similares aos que fizemos para estimar o tamanho dos objetos observados ou encontrar outras maneiras de fazê-lo.

5. Possibilidades pedagógicas

5.1. Hackear a webcam e construir a base de observação

A transformação da *webcam* em microscópio e seu uso mostra o potencial dela em proporcionar discussões de diversos conceitos físicos e tecnológicos associados a lentes, microscopia e tipo de sensores, tal como as tecnologias CCD e CMOS vinculadas ao processo de transformação da luz em uma imagem digital. Além disso, permite fazer estimativas, aproximações e determinação de erro em medidas.

A construção de bases adequadas à observação tem um vínculo direto com a

área da engenharia, que envolve conhecer e explorar diferentes recursos para planejar e executar a materialização de uma ideia, além de criatividade, competências e habilidades típicas de muitos cientistas no decorrer da história [4].

A democratização da invenção também aparece como perspectiva educacional, uma vez que estudantes podem estar diretamente envolvidos no processo de criação de artefatos científico-tecnológicos [14]. O processo de criação e prototipagem da base de observação (Fig. 3) possibilita estimular a criatividade dos estudantes, tanto ao utilizar lápis e papel quanto ao utilizar softwares de modelagem geométrica (2D ou 3D), que fomentam o pensamento geométrico/espacial ou computacional, dependendo do tipo de estratégia pedagógica adotada.

5.2. Caçando monstros microscópicos

A busca por diferentes tipos de vida microscópica pode ser outro fator a engajar os estudantes, especialmente porque a coleta de amostras para observação pode ser proveniente de locais como rios, lagos, poças de água e musgos. Destaca-se, aqui, a ideia de análise de amostras de água quanto ao zooplâncton, que tem sido apontado como importante bioindicador de qualidade da água [38-40]. Identificar características como comportamento e formato, bem como pesquisar diferenças entre os seres presentes nestas amostras, envolvem importantes competências científicas, como observar com propósito e planejar e avaliar experiências, além de enfrentar dificuldades associadas ao processo de investigação científica.

A visualização e o estudo do paramecônio *P. bursaria* é especialmente interessante, pois se trata de um exemplo de simbiose mutualística entre ele e a alga *Zoochlorella*. Um desafio extra que pode chamar a atenção dos estudantes envolve encontrar o tardígrado (urso d'água), um ser que ganhou popularidade nos últimos anos por causa de suas características extremas.

A preparação de amostras de água utilizando musgo, que pode ser encontrado em calçadas e muros, apresentou bons resultados. Nas observações aqui relatadas, coletamos um pequeno punhado de musgo e o alocamos em um béquer ou xícara de vidro. Depois, colocamos um pouco de água de modo a cobrir todo o musgo. Muitos microrganismos podem estar em estado de criptobiose, e, após determinado período, o

acrécimo de água faz com que voltem a um estado ativo. Deixamos a água de musgo descansando por cerca de um dia em temperatura ambiente e com a tampa aberta, permitindo que um pouco de água evapore e aumentando a densidade de microrganismos na amostra que será observada no microscópio (geralmente uma pequena gota colhida com uma pipeta plástica de 1 ou 3 mL).

5.3. Produção audiovisual

O registro de fotos e vídeos do universo microscópico permite estimular uma relação mais próxima com as artes e as linguagens. O senso estético pode ser abordado por meio de um concurso de imagens⁷ ou de vídeos microscópicos dos mais diversos tipos. No caso de imagens, a escolha de amostras, composição da imagem, ângulo de registro e iluminação, somados a conhecimentos técnicos com respeito ao uso do microscópio, podem ser características a serem trabalhadas para obter boas fotos. Os vídeos e as imagens registradas podem se tornar roteiros/histórias com trilha sonora a fim de conferir um determinado sentido artístico/poético ao material.⁸ Atividades deste tipo fomentam relações entre ciência e outras áreas do conhecimento, como as artes e as linguagens, em uma perspectiva cultural [41].

6. Considerações finais

Neste trabalho, propomos a exploração de conceitos científicos, bem co-

mo sugestões pedagógicas para o ensino de física e ciências que envolve a transformação de uma *webcam* em microscópio por meio de diferentes arranjos. Testamos duas hipóteses e verificamos que a ideia de simplesmente inverter a lente sobre o sensor da *webcam* não é o princípio responsável por sua propriedade de produzir uma imagem ampliada de um objeto. Em consonância com teorias físicas, foi possível concluir que a distância entre lente e sensor é o que resultará em uma imagem ampliada do objeto.

Avaliamos a transformação de uma *webcam* em microscópio e sua utilização na educação, com vistas a enfatizar o potencial para abordar conceitos de óptica e biologia no Ensino Médio, assim como em ciências no ensino fundamental. Sua construção e seu uso apresentam potencial para ultrapassar as barreiras disciplinares, permitindo abordagens menos fragmentadas no ensino. A transformação também permite explorar competências associadas à criatividade, ao pensamento inventivo e resiliência, que são típicas de processos de produção de conhecimentos científicos em que os cientistas estão inseridos. Com isto, esperamos estimular o que Paulo Freire chamou de curiosidade epistemológica, uma vontade crescente de aprender e aprender sobre o mundo.

Outro ponto a ser destacado é que, muitas vezes, não há equipamentos como microscópios em escolas brasileiras.

Dessa forma, o microscópio de *webcam* é uma ferramenta interessante pois custa menos do que microscópios profissionais, podendo ser, inclusive, feito de sucata eletrônica. A qualidade do equipamento difere da de dispositivos profissionais, mas apresenta um desempenho satisfatório para muitas observações. Destacamos, ainda, que há uma variedade de *webcams*, portanto nem todas apresentam o mesmo resultado que obtivemos. Características da lente, como tamanho, material e montagem, além das propriedades do sensor digital e da eletrônica envolvida, são determinantes na qualidade da imagem produzida.

Buscamos também situar a proposta dentro de um contexto emergente mais amplo, envolvendo movimentos como Faça Você Mesmo (Do It Yourself – DIY), DIYBio e as culturas *maker* e *hacker*, fornecendo elementos para que professores e estudantes possam estar atentos a diferentes contextos que envolvem relações entre ciência e sociedade. Acreditamos que abordagens como esta podem contribuir para que estudantes descubram conhecimentos científicos e tecnológicos muito interessantes e úteis, tanto porque nos permitem compreender e modificar de maneira poderosa o mundo quanto porque impactam cultural e politicamente nossas sociedades.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Nelson Canzian da Silva e a Aline Batista pela leitura cuidadosa da versão bruta do texto e pelos importantes e cuidadosos apontamentos.

Recebido em: 10 de Fevereiro de 2021
Aceito em: 11 de Julho de 2021

Notas

¹Tutorial disponível no site syntechbio.com: https://1519b0c9-dfd8-4c1c-817e-a1552177a9de.filesusr.com/ugd/befeb2_70afe6a49dd84644975d5a17e357b334.pdf.

²YouTube: Elemento Maker.

³Mais detalhes podem ser obtidos em: <https://youtu.be/JvjRs4CNfkk>.

⁴MyCam, download disponível em: <https://mycam.br.jaleco.com/>.

⁵A densidade dos pixels para o Xiaomi Redmi Note 7 é de 409 ppi \cong 160 ppcm \cong 16 ppmm em que cada pixel ocupa aproximadamente 0,0625 mm ou 62,5 μ m.

⁶YouTube: Elemento Maker.

⁷Veja este link por exemplo: <https://www.businessinsider.com/best-microscope-pictures-nikon-small-world-photography-contest-2019-10>.

⁸Veja este link por exemplo: <https://www.youtube.com/watch?v=-CihC7xpgmY>.

Referências

- [1] M.S.T. Araújo, M.L.V.S. Abib, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 176 (2003).
- [2] A.T. Borges, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 291 (2002).
- [3] C.V. Pedroso, in: *Atas do Congresso Nacional de Educação - EDUCERE e Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia*, Curitiba, 2009.
- [4] M. Resnick, R. Berg, M. Eisenberg, *Journal of the Learning Sciences* **9**, 7 (2000).
- [5] A. Delfanti, *Biohackers: The Politics of Open Science* (Pluto Press, London, 2013).
- [6] T. Landrain, M. Meyer, A.M. Perez, R. Sussan, *Systems and Synthetic Biology* **7**, 115 (2013). doi
- [7] A.H. Abdo, *Liinc Em Revista* **10**, 460 (2014). doi
- [8] R. Bolton, R. Thomas, *Innovations* **9**, 213 (2014). doi
- [9] H. Ledford, *Nature* **467**, 650 (2010). doi
- [10] A. Delgado, B. Callen, *Public Underst. Sci.* **26**, 179 (2016). doi
- [11] C. Anderson, *Makers A Nova Revolução Industrial* (Elsevier, Rio de Janeiro, 2012), 2nd ed.
- [12] D. Dougherty, *Innovations* **7**, 11 (2012). doi
- [13] N. Gershenfeld, *Foreign Affairs* **91**, 43 (2012). <https://www.jstor.org/stable/41720933>
- [14] P. Blikstein, in: *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*, edited by J. Walter-Herrmann and C. Büching (Transcript Publishers, Bielefeld, 2013). doi
- [15] E.R. Halverson, K.M. Sheridan, *Harvard Educational Review* **84**, 495 (2014). doi
- [16] R. Samagaia, D. Delizoicov, in: *Atas do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - X ENPEC*, Águas de Lindóia, 2015.
- [17] P. Blikstein, M. Worsley, in: *Makeology: Makerspaces as Learning Environments*, editado por K. Peppler, E.R. Halverson, Y. Kafai (Routledge, New York, 2016).
- [18] R. Barbosa e Silva, *Para Além do Movimento Maker: Um Contraste de Diferentes Tendências em Espaços de Construção Digital na Educação*. Tese de Doutorado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- [19] B. Bevan, *Studies in Science Education* **53**, 75 (2017). doi
- [20] J.P. Mannrich, in: *XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - XII ENPEC*, Natal, 2019.
- [21] Foldscope, *Foldscope Instruments*, disponível em <https://www.foldscope.com/tutorials>, acesso em 29 dez. 2019.
- [22] G. Planinsic, *Physics Teacher* **39**, 76 (2001). doi
- [23] M.P. Dorta, E.C.P. Sousa, M. Muramatsu, *Revista Brasileira de Ensino Física* **38**, e4503 (2016). doi
- [24] F.L. Silveira, *Transformando Câmera Fotográfica do Celular em Microscópio*, disponível em <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=transformando-a-camara-fotografica-do-celular-em-microscopio-caseiro>, acesso em 21 abr. 2020.
- [25] C.E.P. da Silva, T.L. de Moraes, J.R.S. Freitas, in: *Atas do Congresso Nacional de Educação IV CONEDU* (Editora, Realize, Campina Grande, 2019).
- [26] G.O.F. Parikesit, M. Darmawan, A. Faisal, *Optical Engineering* **49**, 113205 (2010). doi
- [27] E.P.S. Chaves, S.B. Pereira, A.C.G. Castro, in: *Congresso Nacional de Educação VI CONEDU* (Editora, Realize, Campina Grande, 2019).
- [28] S. Arribas, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **14**, 83 (1997).
- [29] D. Soga, R.D.JR. Paiva, M.H. Ueno-Guimarães, M. Muramatsu, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e4506 (2017). doi
- [30] OpenFlexure, *OpenFlexure Microscope*, disponível em www.openflexure.org/projects/microscope/, acesso em 29 dez. 2019.
- [31] A. Delgado, B. Callen, *Public Underst. Sci.* **26**, 179 (2016). doi
- [32] R. Bowman, *Magnification, Resolution, and Field of View*, disponível em https://github.com/rwb27/openflexure_microscope/wiki/Magnification%2C-Resolution%2C-and-Field-of-View, acesso em 11 mar. de 2019.
- [33] P.A. Tipler, G. Mosca, *Física para Cientistas e Engenheiros* (LTC, Rio de Janeiro, 2006), v. 2, 5a ed.
- [34] D.B. Murphy, *Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging* (Wiley-Liss, New York, 2001).
- [35] Wikipedia, *Paramecium Bursaria*, disponível em https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Paramecium_bursaria&oldid=916063796, acesso em 4 jan. 2020.
- [36] J.A.V. Boas, M.V.X. Senra, A.L. Fonseca, R.J.P. Dias, *Brazilian Journal of Biology* **79**, 547 (2019). doi
- [37] Hackteria, *DIT Microscopy*, disponível em www.hackteria.org/wiki/DIY_microscopy, acesso em 29 dez. 2019.
- [38] M.L.Q. Medeiros, *Free-Living Protozoa in Aquatic Environments of the RN: Occurrence, Characterization and Importance to Basic Education*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.
- [39] A.P. Araújo, E.M.S. Nogueira, *Revista Ouricuri* **6**, 1116 (2016). doi
- [40] B.P.De-Carli, F.P. Albuquerque, V. Moschini-Carlos, M. Pompêo, *Iheringia - Série Zoologia* **108**, e2018013 (2018). doi
- [41] J. Zanic, *Ciência e Cultura* **57**, 21 (2005).