

Biofísica da respiração: uma proposta de abordagem com o uso de recursos educacionais digitais

RESUMO

Frederico Alan de Oliveira Cruz
frederico@ufrrj.br
[0000-0002-2612-3952](tel:0000-0002-2612-3952)
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Natalia Alves Machado
nat.alves.machado@gmail.com
[0000-0003-2505-1800](tel:0000-0003-2505-1800)
Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Paulo Simeão Carvalho
psimeao@fc.up.pt
[0000-0002-5381-955X](tel:0000-0002-5381-955X)
Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Nas disciplinas de física destinadas a atender os cursos das áreas biológicas e da saúde no ensino superior duas realidades são encontradas, uma delas onde os conteúdos de física são pouco relacionados com os temas apresentados dentro da área de interesse do público ao qual se destina e a outra onde as disciplinas possuem uma estrutura que enfatiza a relação entre as áreas, ao discutir os princípios físicos que estão relacionados ao funcionamento de estruturas biológicas. A questão é que em ambas as situações não estão previstas ou planejadas, de forma acessível, aulas práticas que permitam a realização de atividades compatíveis com os conteúdos teóricos de biofísica, tornando-se improvável que elas ocorram de forma a dar conta das necessidades de aprendizagem dos estudantes inscritos nessas disciplinas. Deste modo é fundamental que existam materiais e recursos que contribuam com um papel mais ativo por parte dos estudantes para melhorar a aprendizagem, uma vez que a realidade atual é desfavorável para a compreensão adequada dos temas em biofísica. Assim, será apresentado aqui uma discussão das leis envolvidas nos processos respiratórios - Lei de Boyle, Lei de Henry, Lei de Graham – ao propor uma sequência didática, com a utilização dos recursos educativos digitais (REDs), focados em três simulações, que visam apoiar a compreensão das relações matemáticas que descrevem alguns fenômenos físicos descritos e dois pequenos vídeos, que buscam conectar algumas informações pertinentes do que está sendo abordado.

PALAVRAS-CHAVE: Lei de Boyle. Lei de Henry. Lei de Graham.

INTRODUÇÃO

Nas disciplinas de física destinadas a atender os cursos das áreas biológicas e da saúde no ensino superior duas realidades são encontradas, uma delas onde os conteúdos de física são apresentados de forma “canônica”, pouco discutindo a relação dos temas apresentados dentro da área de interesse do público ao qual se destina (UFES, 2018; UFRJ, 2015; UFOPA, 2013), e a outra onde as disciplinas disponibilizadas para esses cursos possuem uma estrutura que enfatiza a relação entre as áreas razoavelmente mais interessante (UFRRJ, 2011; UEFS, 2010; UC, 2018).

No segundo caso mencionado, muito em função da estrutura das fontes bibliográficas utilizadas, são apresentados aos estudantes tópicos denominados de “Biofísica de Sistemas”, onde espera-se discutir os princípios físicos que estão relacionados ao funcionamento de estruturas como, por exemplo, o coração, o pulmão e o rim (IFCE, 2015; UFPE, 2012) permitindo que isso possa contribuir com uma visão mais completa sobre esses órgãos.

Pode-se pensar que essas disciplinas realizam um grande aporte na formação dos futuros profissionais, porém em muitos casos os conteúdos são apresentados de forma apenas expositiva sem que existam atividades práticas que possam contribuir para a uma aprendizagem mais completa. Assim, os estudantes acabam sucumbindo a ideia de apenas decorar um conjunto de fórmulas para resolver questões das avaliações como relatado por Moreira:

[...] o graduando após chegar à Universidade tem pouco conhecimento prévio para lidar e identificar nos fenômenos biofísicos os seus fundamentos físicos. Logo, não há um vínculo entre teoria e prática, na verdade, o estudante vê a técnica ou fenômeno, mas não é capaz de descrevê-lo em termos físicos e restringe a apenas citar seus resultados, sem correlacionar com as variáveis biológicas envolvidas (MOREIRA *et al.*, 2018, p. 6).

Além disso, percebe-se, devido à complexidade dos temas, uma série de simplificações nos problemas presentes nos livros utilizados como referências, sendo quase impossível para o estudante perceber a ligação entre o que está sendo estudado e o mundo real. Essa realidade estende-se as salas de aula, visto que os professores em muitos casos não possuem a formação adequada para apresentação desses conteúdos como dito por Corso:

A impressão primeira oferecida pela biofísica a um físico que por descuido se tornou professor desta disciplina foi a de um conjunto de conteúdos de biologia que para sua compreensão requer um conhecimento um pouco mais sofisticado de física. Paralelamente, quem tem o poder nos departamentos que lecionam biofísica, são biólogos ou médicos. Este pessoal, não muito familiarizado com física, acaba passando a bola do ensino desta disciplina para alguns poucos dentre eles que por aptidão, renúncia ou emprego público estável, se sujeitam a mexer um pouco com equações e abstratos conceitos da física (CORSO, 2009, p. 2703-1).

Deste modo é fundamental que existam materiais e recursos que contribuam com um papel mais ativo por parte dos estudantes para melhorar a aprendizagem, uma vez que a realidade atual é desfavorável para a compreensão adequada dos temas em biofísica.

USO DE RECURSOS EDUCATIVOS DIGITAIS

Os materiais escritos são importantes para uma boa compreensão dos conteúdos existentes, porém utilizar apenas esses recursos como fonte de conhecimento pode não contribuir de forma abrangente e efetiva na aprendizagem dos estudantes. Esses materiais não precisam ser descartados e sim complementados para que algumas lacunas sejam preenchidas. Uma possibilidade é introduzir atividades experimentais que permitam a visualização dos fenômenos ou das leis discutidas em sala de aula, para que exista uma aprendizagem efetiva dos conceitos envolvidos nesse processo. Segundo Binsfeld e Auth (2011):

A experimentação tem um papel fundamental no ensino de Ciências, de Física e Química, pois necessita estabelecer elos entre as explicações teóricas a serem discutidas em sala de aula e as observações possibilitadas por esse tipo de atividade. Há de se fazer uma retomada dos conceitos e da observação que possibilite a interpretação, compreensão e (re)significação do que foi proposto, de modo a tornar a atividade realizada adequada para o desenvolvimento da aprendizagem; há de se compreender a função da experimentação no desenvolvimento científico, isto é, um princípio que oriente a aprendizagem [...] (BINSFELD; AUTH, 2011, p. 2).

A questão é que em muitas situações não estão previstas ou planejadas, de forma acessível, aulas práticas que permitam a realização de atividades compatíveis com os conteúdos teóricos de biofísica, tornando-se improvável que elas ocorram de forma a dar conta das necessidades de aprendizagem dos estudantes inscritos nessas disciplinas. Um bom exemplo disso é a discussão da difusão de um gás de uma região para outra, dada pela Lei de Graham, parte importante na compreensão do funcionamento da passagem de ar pelos alvéolos pulmonares e que nem nas atividades comuns dos laboratórios das disciplinas identificadas de Física Experimental II, onde são analisados o comportamento dos gases, ela aparece.

Em algumas realidades a utilização de novas metodologias, baseadas em tecnologias de comunicação e informação (TIC), são implementadas visando a realização de atividades experimentais dentro de sala de aula pela falta de infraestrutura adequada para a realização de experimentos reais. Ferramentas como quadros interativos, projetores e multimídia, simulações, aplicações informáticas e vídeos educativos, chamados de recursos educativos digitais (REDs), têm desempenhado o papel de fixar os aspectos importantes do fenômeno estudado, utilizando uma linguagem a partir do visual em diferentes níveis de escolarização (SILVA; MACHADO; CRUZ, 2017; CHRISTIAN; BELLONI, 2001; RIBEIRO; GIL, 2016; FRANCISCO; BARROS, 2013).

Os denominados REDs podem ser entendidos como os produtos que contêm, para além das necessidades educativas, objetos com identidade e autonomia (RAMOS *et al*, 2005) não devendo ser vistos como meros recursos educativos. As suas potencialidades podem ser melhor compreendidas com auxílio de Hylén (2007, p. s/i, apud RAMOS *et al*, 2010, p. 26): "a comunicação pode ter lugar com texto, imagens e áudio simultaneamente" e também podem "ser interactivas e convidar o utilizador a responder ou integrar e então responder às acções do utilizador". Assim, esses recursos não são apenas um aparato sem "vida" para a aprendizagem.

Levando em consideração que nos últimos anos a sociedade teve o seu modo de vida completamente modificado devido ao grande avanço das TIC, que tornaram a difusão da informação um processo quase instantâneo, a adaptação a esta nova realidade faz-se extremamente necessária devido à necessidade delas responderem aos novos anseios e demandas da geração atual que está sendo formada.

Independentemente da maneira que os REDs são empregues em sala de aula, é de suma importância que a sua implementação contribua para a autonomia necessária do aluno no seu processo de aprendizagem, tornando a participação deles mais responsável, flexível e persistente, com grande capacidade de interação e cooperação dentro da sociedade complexa atual. Para isso, o professor deve estruturar adequadamente o seu uso e também indicar como os alunos devem utilizar esses recursos, para que o ganho na aprendizagem seja positivo. Isso deve ficar claro dentro do contexto de sala de aula por vários motivos, mas o principal deles é que esses materiais por si só podem não produzir o impacto esperado se não foram utilizados de forma adequada.

Quando voltamos o nosso olhar para o ensino de ciências, ao fazer uma comparação entre os principais REDs - simulações, animações ou vídeos – Carvalho, Christian e Belloni (2013) mostram que esses recursos, ao serem utilizados de forma complementar, tornam a aprendizagem mais efetiva por levantar questões e trazer dados importantes. A coleta de dados, e não apenas a visualização dos fenômenos, motiva e envolve os estudantes na utilização das tecnologias em favor da sua aprendizagem. Deste modo, apesar da existência de muitos REDs que podem ser aplicados em sala de aula, serão aqui discutidos mais especificamente os vídeos e as simulações, por serem estes os recursos pilares que apoiarão a sequência didática que aqui será apresentada e proposta.

O uso de vídeos como recurso auxiliar a exposição de conteúdos tem sido utilizado de várias formas distintas para contribuir na aprendizagem dos alunos, (BROWN; COX, 2009; SILVA *et al*, 2016; CARVALHO; RODRIGUES, 2017; DIAS *et al*, 2018), podendo ser destacadas (MORAN, 1995, apud NUNES, 2012, p. 14): “a sensibilização, a ilustração, a simulação, o conteúdo de ensino e a produção”. É importante que o professor perceba as potencialidades dessa ferramenta, já que ela não é uma novidade nos processos educacionais:

Desde que vídeos foram usados no treinamento de soldados durante a Segunda Guerra Mundial (HOVLAND, LUMSDAINE, SHEFFIELD, 1949), os educadores têm dado maior importância à capacidade dos recursos audiovisuais para despertar a atenção dos alunos, aumentando a motivação e melhorando o processo de aprendizagem (COOPER-CAPETINI *et al*, 2017, p. 108).

As simulações são ferramentas que possuem um grande potencial por incorporarem diversas possibilidades em um só momento de prática pedagógica, mas fundamentalmente serem um processo ilustrativo e animado do que está sendo abordado. Além disso, elas estão cada dia mais presentes nas investigações científicas sobre os fenômenos que são mais difíceis de serem experimentados de forma real, como por exemplo, o nascimento do universo, por evitarem a manipulação de substâncias potencialmente perigosas como produtos químicos ou substâncias radioactivas, ou até mesmo para realizarem previsões de resultados, com um custo reduzido, como estimativa do resultado real (DINIZ,

2011; NEVES; TEODORO, 2013; SANTOS, 2016). Isso mostra a importância e a necessidade de inserção dos estudantes desde cedo nessa realidade para que eles compreendam como o saber científico é produzido e se sintam familiarizados com esses recursos educativos.

Muitas das simulações existentes para o uso em sala de aula foram criadas em linguagem Java®, permitindo uma atividade interativa e que em muitas situações podem ser acessados e executados a partir de um navegador (*browser*) conectado à rede mundial de computadores (*internet*). Atualmente e devido a problemas de segurança da plataforma Java, muitas destas simulações são criadas ou reescritas em HTML 5 e linguagem javascript, embora mantendo o objetivo educativo primário.

A utilização destes recursos educativos digitais para ensinar Física ganhou destaque por ser uma ótima opção, principalmente quando não se tem acesso aos experimentos relacionados a um dado fenômeno ou quando este não pode ser visualizado diretamente. A sua inserção dentro das aulas apresenta a possibilidade dos estudantes terem uma visão mais concreta do que será estudado compreendendo de forma mais efetiva os conteúdos lecionados pelo professor, pois:

- Auxiliam os alunos a visualizar conceitos abstratos.

No ensino tradicional, os estudantes aprendem os conceitos físicos por imagens estáticas e constroem modelos mentais incompletos ou incorretos, que dificultam uma aprendizagem mais profunda desses conceitos (Beichner, 1997). O benefício mais óbvio das simulações é que estas ajudam a operacionalizar os problemas em situações concretas.

- São interativos e requerem a participação dos alunos.

Quando resolvem problemas, os alunos procuram frequentemente a fórmula matemática adequada, sem refletirem criticamente nos conceitos físicos envolvidos (Maloney, 1994). Com simulações apropriadamente construídas, há grandezas físicas (como a posição ou a velocidade) que não são fornecidas, tendo assim que ser medidas ou calculadas a partir dos dados recolhidos da simulação. Ao determinar a informação relevante para a resolução do problema proposto, os estudantes aprendem (CARVALHO 2015, p. 2).

Vale também ressaltar, além de tudo que já foi exposto, que os recursos educativos digitais, além de promoverem significativamente o processo de ensino e aprendizagem, mostram-se eficazes no contexto de sala de aula da inclusão de estudantes com algum tipo de necessidade educativa especial (RODRIGUES; TEIXEIRA, 2006). Dessa forma, acreditando que essas ferramentas possuem uma possibilidade de implementação viável e que pode apresentar resultados positivos para a aprendizagem dos estudantes das disciplinas de “biofísica”, neste trabalho é apresentada uma proposta no intuito de facilitar a adoção dessa ferramenta como estratégia auxiliar da exposição dos conteúdos da referida disciplina.

BIOFÍSICA DA RESPIRAÇÃO: CONCEITOS BÁSICOS

Devido à complexidade dos temas das disciplinas que discutem a física em sistemas biológicos, muitos aspectos relevantes são tratados de forma apenas teórica sem que sejam apresentadas atividades que possibilitem uma reflexão completa acerca dos conceitos. Um exemplo que pode ser colocado é a biofísica da respiração, que é o tema central deste artigo. Para compreender esse sistema

podemos considerar que o aparato respiratório pode ser descrito, de forma simplificada, da seguinte forma:

- 1) um conjunto de vias cuja função é conduzir o ar do exterior para a cavidade alveolar e vice-versa;
- 2) um conjunto de cavidades, os alvéolos, através de cuja parede ocorre troca de gás com o sangue, e
- 3) estrutura músculo-esquelética, constituída pela caixa torácica e pelos músculos respiratórios, cuja função é produzir a expansão e retração alternativa dos pulmões, causando a circulação de gases. (FRUMENTO, 1974, p. 262/263).

Cada uma dessas estruturas tem uma função específica no processo respiratório e os vários eventos ocorridos neles podem ser explicados com o uso de leis físicas bem estabelecidas. A Lei de Boyle, por exemplo, descreve a evolução de um gás aprisionado em uma região à temperatura constante, onde o volume (V) varia de forma inversamente proporcional à pressão (p) submetida sobre ele:

$$V = \frac{k}{p} \quad (1)$$

sendo que a constante (k) dependerá da massa de gás na região aprisionada (EISBERG, LERNER, 1982), sendo a sua representação gráfica uma hipérbole. A aplicação dessa lei no processo respiratório se dá considerando inicialmente que a temperatura corporal é constante, tal que:

Durante a inspiração os músculos intercostais externos contraem-se, as costelas e os esterno movem-se para cima e para fora, e o diafragma desce. Com estes movimentos há um aumento dos diâmetros torácicos e os pulmões se expandem e, como consequência, há uma diminuição de sua pressão interna, que se torna menor que a pressão atmosférica, e o ar entra.

Durante a expiração os músculos intercostais externos relaxam, as costelas e o esterno movem-se para baixo e para dentro, e o diafragma se eleva. A capacidade torácica diminui, provocando um aumento de pressão nos pulmões, o que provoca a saída do ar (KOBBER, 1969, p. 106/107).

Um aspecto importante sobre o pulmão que deve ser compreendido é que ele tem muitas funções pouco abordadas, como mostrado por Skibicki:

As funções do pulmão são de duas naturezas: respiratória e não-respiratória. Dentre as funções não respiratórias destacam-se a de reservatório sanguíneo para o ventrículo esquerdo; a de filtro para proteção da circulação sistêmica de fenômenos embólicos; a de trocas líquidas e as funções metabólicas. A função cardinal, porém, é a de promover as trocas gasosas entre o sangue e o ar ambiente.

Às trocas gasosas entre o sangue e o ar, que ocorrem a nível pulmonar da interface gás-sangue, chamamos difusão.

Difusão é um termo físico que significa processo de maior transferência de soluto num sistema, da região de maior concentração para outra de menor concentração, devido ao movimento aleatório de suas moléculas (SKIBICKI, 1981, p.27-28).

Sendo assim, torna-se importante a abordagem de outra relação importante dentro do processo de respiração que a é denominada Lei de Graham, que indica que a razão entre os coeficientes de difusão D_i é igual à raiz quadrada da razão inversa das massas molares M_i de dois gases que se difundem em um mesmo fluido (PIIPER, WORTH, 1980). Essa relação pode, após alguns pequenos ajustes

algébricos, ser descrita em função das velocidades de difusão (v_i) e das densidades (ρ_i) dos gases:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \quad (2)$$

Nos processos de trocas gasosas entre o sangue e os alvéolos pulmonares, a liberação de CO_2 ocorre de uma forma mais rápida que a absorção de O_2 devido a diferença de densidade entre eles. É importante dizer que, em condições clínicas normais, a membrana capilar alveolar nunca impõe limitações à difusão externa de CO_2 (BEACHEY, 2018).

Além das leis já mencionadas, temos outra fundamental para a compreensão do processo respiratório e que é denominada Lei de Henry, que “estabelece que a solubilidade de um gás em um líquido é diretamente proporcional à pressão parcial do gás” (FEARNSIDE, 2004, p. 41), sendo descrita pela relação:

$$x = \frac{1}{H} p \quad (3)$$

onde p é a pressão parcial do gás, H é constante de proporcionalidade da Lei de Henry e x é a solubilidade do gás (CASTELLAN, 1986). O significado dessa constante pode ser compreendido da seguinte forma: quanto menor o valor da constante de Henry para um gás, maior será a probabilidade dele se dissolver num líquido, conseqüentemente quanto mais alto este valor menor será sua chance de dissolver.

A lei supracitada é discutida quando é abordado o processo de transferência do oxigênio do pulmão para a corrente sanguínea e do gás carbônico da corrente sanguínea para o pulmão, visto que esses processos dependem da solubilidade de cada gás. Isso é apresentado por Kober:

A respiração é regulada pela solubilidade destes gases no sangue, uma vez que o sangue é o meio pelo qual o oxigênio é levado dos pulmões para todo o corpo, e o gás carbônico é recambiado aos pulmões e eliminado. Como o sangue contém hemoglobina que é uma substância que se combina quimicamente com o oxigênio, este é mais solúvel no sangue do que na água. O mesmo acontece com o gás carbônico, que também é mais solúvel no sangue do que em água. As solubilidades de todos os gases no sangue aumentam com a pressão parcial dos gases (KOBBER, 1969, p. 107-108).

Do ponto de vista químico, o processo possui algumas nuances importantes que são apresentados nos seguintes trechos trazido por Silva:

O transporte dos gases dos alvéolos, com ar rico em oxigênio, para o interior dos capilares (sangue pobre em oxigênio) através da membrana, dá-se por diferença de pressões parciais. Entretanto, a baixa solubilidade do oxigênio no sangue exige um transportador de O_2 eficiente para atender às necessidades do corpo, função desempenhada pela hemoglobina (Hb). Enquanto que 1 L de plasma sanguíneo é capaz de dissolver 2,3 mL de O_2 a 38 °C, temperatura média do sangue humano, a hemoglobina contida no mesmo volume de sangue é capaz de transportar 220 mL de O_2 .²⁰ O oxigênio contido no sangue, dissolvido no plasma e, principalmente, na forma conjugada com a hemoglobina (oxi-hemoglobina), difunde-se para os tecidos e é transferido para a mioglobina, onde esse será armazenado para atender as demandas das

células em diversas funções metabólicas.

O CO_2 é cerca de 30 vezes mais solúvel em água que o oxigênio, consequência da maior polarizabilidade da sua nuvem eletrônica e da capacidade de combinar-se com a água para formar íons bicarbonato e íons H^+ . No entanto, essa reação é muito lenta para atender a necessidade de remoção de CO_2 diante de elevada atividade metabólica das células. A reação é, então, catalisada pela enzima anidrase carbônica, que eleva em cerca de 10⁷ a ordem de grandeza da constante cinética,²¹ o que permite maior eficiência no processo de remoção de CO_2 , evitando o acúmulo desse gás no plasma que levaria à ruptura dos capilares pelo aumento excessivo da pressão interna (SILVA, *et al.*, 2017, p. 828).

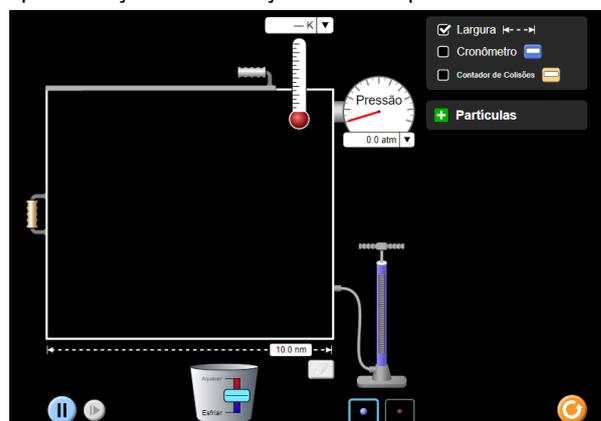
Uma vez descritas todas as leis envolvidas nos processos respiratórios, será proposto neste artigo uma sequência didática, com a utilização dos REDs, focados em três simulações, que visam apoiar a compreensão das relações matemáticas que descrevem alguns fenômenos físicos descritos e dois pequenos vídeos, que buscam conectar algumas informações pertinentes do que está sendo abordados.

METODOLOGIA DE ABORDAGEM

Antes de começar a proposta de abordagem é importante dizer que será apresentada uma sequência que visa discutir os princípios físicos envolvidos na respiração e uma sequência simplificada de como eles aparecem no processo, sem afetar a compreensão total do fenômeno e favorecer a aprendizagem.

Para a abordagem dos conceitos físicos preliminares envolvidos no processo de respiração, a proposta inicial é utilizar uma simulação disponível na página do projeto PhET denominada de “Ley de Boyle” (Figura 1), que traz entre seus objetivos: “Descrever o comportamento das partículas de gás na caixa” e “Identificar a relação entre pressão, volume, temperatura e número de moléculas de gás” (UCB, 2020). Uma vez que o processo de respiração e de expiração ocorrem pela variação do volume pulmonar à temperatura constante, a ideia é que os estudantes, com auxílio do professor, realizem um experimento onde seja possível explorar a referida lei.

Figura 1 – Apresentação da simulação utilizada para o estudo da Lei de Boyle



Fonte: UCB (2020).

Ao abrir a simulação, mantendo-se a temperatura em 300 K (27 °C), o aluno deve inserir um número de partículas para dentro da região que se assemelha a um compartimento fechado e, em seguida, anotar os valores da pressão e da

largura da caixa. Posteriormente, o tamanho da caixa deverá ser alterado e o aluno deverá anotar o novo valor de pressão. Repetindo os passos anteriores mais algumas vezes e anotando sempre os novos valores observados para o volume (em frações do volume inicial) e correspondente pressão, o aluno deverá ser capaz de retirar conclusões sobre a relação entre estas variáveis de estado, através da sua representação gráfica.

Antes da realização do segundo experimento, é apresentado aos alunos um vídeo com o objetivo de fazer a ligação entre os conteúdos existentes nas duas atividades virtuais de uma forma mais visual. A sugestão de material é o vídeo legendado intitulado “*The effects of underwater pressure on the body*” (figura 2) (TE, 2015), que mostra os conceitos associados às Leis de Boyle e Henry - esta última a ser abordada no final da atividade, permitindo que a passagem de um tema para o outro seja mais concreta.

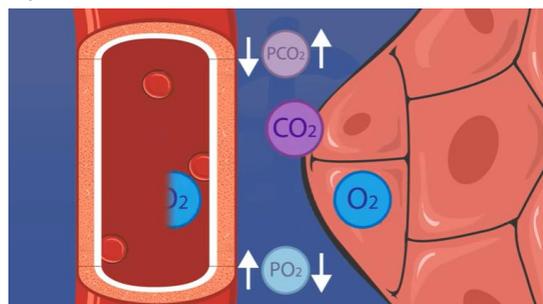
Figura 2 – Vídeo que deve ser utilizado na conexão entre a exploração das leis de Boyle e de Henry



Fonte: TE (2015).

Antes da abordagem da difusão de gases, é fundamental que novamente o processo seja introduzido por um vídeo que permita aos estudantes compreenderem a relação entre os dois processos que, por terem muitas discussões sobre os conceitos físicos, podem parecer efetivamente desconexos entre si e entre a realidade biológica dos sistemas. A sugestão aqui apresentada é a utilização do vídeo em espanhol “*Difusion de gases O₂ y CO₂*” (figura 3), que apresenta “de que maneira o CO₂ e o O₂ difundem-se através das membranas, desde o alvéolo até aos tecidos e aos meios de transporte utilizados” (RONDÓN; BRICEÑO, 2017).

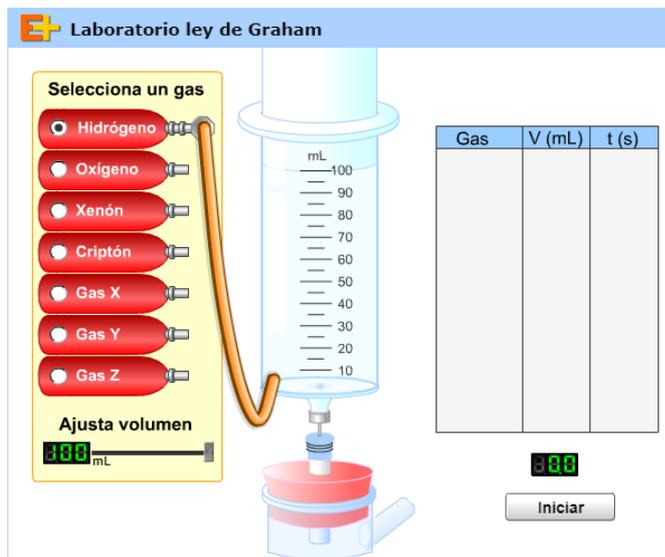
Figura 3 – Vídeo que deve ser utilizado na conexão das leis de Henry e de Graham



Fonte: RONDÓN; BRICEÑO (2017).

Para finalizar a proposta didática, a última atividade deve ser realizada com a simulação intitulada “Ley de Graham” (figura 4), que permite ao usuário determinar a velocidade de difusão de um conjunto de diferentes gases representados na mesma (PEÑAS, 2016).

Figura 4 – Apresentação da simulação utilizada na atividade proposta

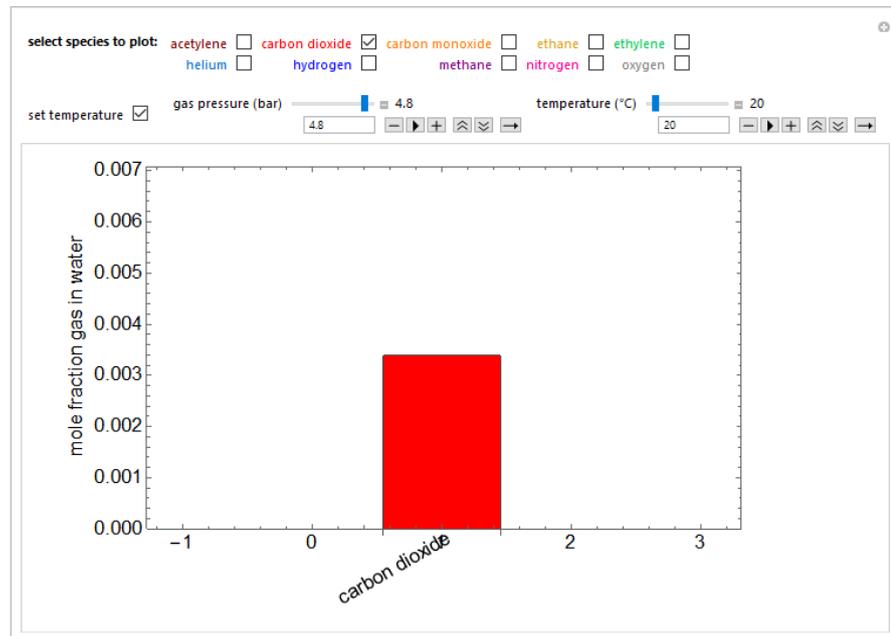


Fonte: PEÑAS (2016).

Uma vez que as opções de gases não englobam o CO₂, para essa atividade sugere-se que os estudantes escolham o oxigênio e o hidrogênio, visto que ele é um gás muito presente nos balões de mergulhadores profissionais. Após a fase de escolhas deve-se selecionar a quantidade de gás que ficará dentro da seringa, usando a opção "Ajusta volumen", e iniciar o processo. Isso fará com que na tabela presente na simulação, apareça o nome do gás, a quantidade inicial do mesmo e o tempo total que ele levou para ser difundido da seringa. Os valores devem ser anotados e o processo repetido para pelo menos outros quatro valores de volume à escolha do estudante.

Em relação à atividade de compreensão dos conceitos associados à Lei de Henry, já discutida no primeiro vídeo, a sugestão pedagógica está na utilização da simulação intitulada “Henry's Law for Gases Dissolved in Water” (figura 5), onde é possível avaliar as frações molares de diferentes gases dissolvidos em água para uma dada temperatura (DCBE, 2020). Diferentemente da simulação anterior essa não possui os mesmos atrativos visuais, no entanto ela permite que o estudante possa avaliar o comportamento de gases “reais” ao longo da atividade.

Figura 5 – Apresentação da simulação utilizada para o estudo da Lei de Henry



Fonte: DCBE (2020).

Na realização desta atividade, para efeito do estudo da Lei de Henry, os alunos devem selecionar os gases oxigênio e dióxido de carbono, por estarem envolvidos diretamente na respiração, e a temperatura deve ser fixada em 27 °C, como feito no experimento anterior. Com esses parâmetros definidos, o valor da pressão deve ser variado e para cada um dele é observada, e registrada, a fração molar dos gases dissolvidos na água.

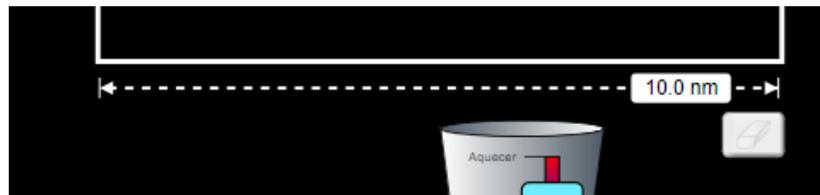
É válido destacar, na proposta aqui apresentada, a importância do professor realizar uma pequena avaliação, preferencialmente utilizando plataformas interativas como o *Kahoot!* (KAHOOT, 2020), visando obter informações acerca dos conceitos abordados nos vídeos, que foram ou não compreendidos. Essa ação permitirá que o professor dê um *feedback* rápido aos estudantes e também esclareça os pontos que forem necessários, permitindo que as demais atividades possam ocorrer sem qualquer comprometimento da aprendizagem.

AVALIAÇÃO DAS POTENCIALIDADES DA PROPOSTA

Na avaliação das relações mencionadas anteriormente, é fundamental que seja o professor a definir qual é o caráter da análise que ele busca com as atividades propostas de acordo com os seus objetivos pedagógicos. É necessário que fique claro para os estudantes quais os objetivos da atividade, para que ele faça as suas observações e registros com um olhar crítico (por exemplo, diferenciando as variáveis dependentes das independentes, criando tabelas de dados, elaborando os gráficos que melhor ilustram os resultados do estudo), bem como as conclusões das atividades, de preferência enquadradas em modelos fenomenológicos por ele conhecidos.

Para o estudo da Lei de Boyle, dada pela equação (1), o aluno deve estar atento que a simulação proposta no *PhET* não informa o valor do volume, V , da caixa, mas apenas a largura da mesma (figura 6).

Figura 6 – Detalhamento da simulação usada para estudo da Lei de Boyle



Fonte: UCB (2020).

Sabe-se que a Lei de Boyle (equação 1) é descrita em função do volume que o gás ocupa, no entanto a simulação fornece somente a largura ℓ de uma das faces do tanque. Em função disto é necessário reescreve a referida em função do parâmetro conhecido, como o volume total (V_T) é dado por:

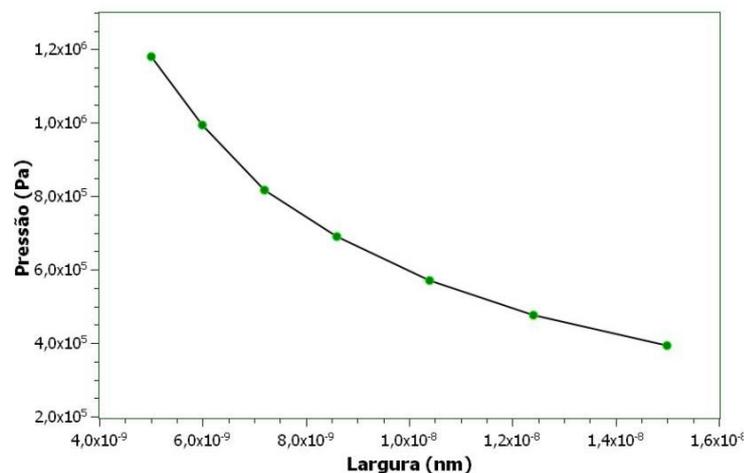
$$V_T = A_L \cdot \ell \quad (4)$$

sendo A_L é a área lateral do tanque. Então, é possível apresentar a equação (1) da forma:

$$p = \frac{k'}{\ell} \quad (5)$$

tal que k' é dado pela razão entre a constante k e a área lateral (A_L) do tanque. Assim, a partir da equação (5) é possível obter o comportamento da pressão em função do comprimento (Figura 7), representando a lei já mencionada.

Figura 7 – Representação gráfica considerando a expressão (4), mostrando o comportamento esperado na Lei de Boyle



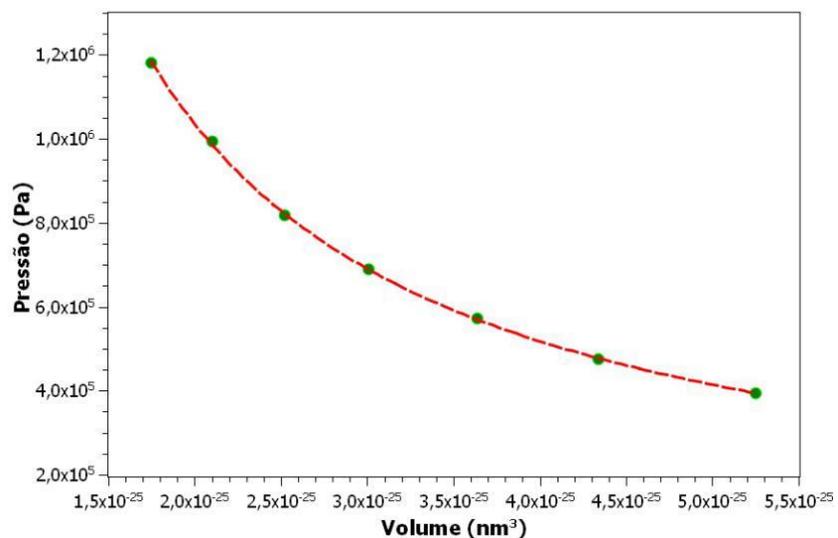
Fonte: Acervo dos autores (2020).

A questão é que a forma da Lei de Boyle apresentada pela equação (5) não permite realizar o procedimento similar ao apresentado por Inocêncio e Cruz (2019) para encontrar uma função de ajuste para os pontos do gráfico. Deste modo, para que o procedimento citado seja possível é imprescindível determinar o valor da área lateral do tanque, pelo professor, antes da atividade ser realizada e que este seja indicado aos estudantes para que seja possível realizar tal tarefa. A obtenção desse dado é realizada com auxílio da Equação de Clapeyron (CASTELLAN, 1986), considerando o volume já descrito na equação (4):

$$A_L = \frac{nRT}{p\ell} \quad (6)$$

e possui valor aproximado de $3,497 \times 10^{-17} \text{ nm}^2$. Isso permite que seja proposta uma equação de ajuste, que obviamente deve ser similar à Lei de Boyle, permitindo assim avaliar se os dados obtidos são condizentes com a referida lei (figura 8).

Figura 8 – Gráfico que descreve a pressão em função do volume ($p = k/V$), considerando uma temperatura constante de 300 K, para a atividade realizada e que apresentou uma curva de ajuste com coeficiente de correlação (r^2) igual a 0,9998



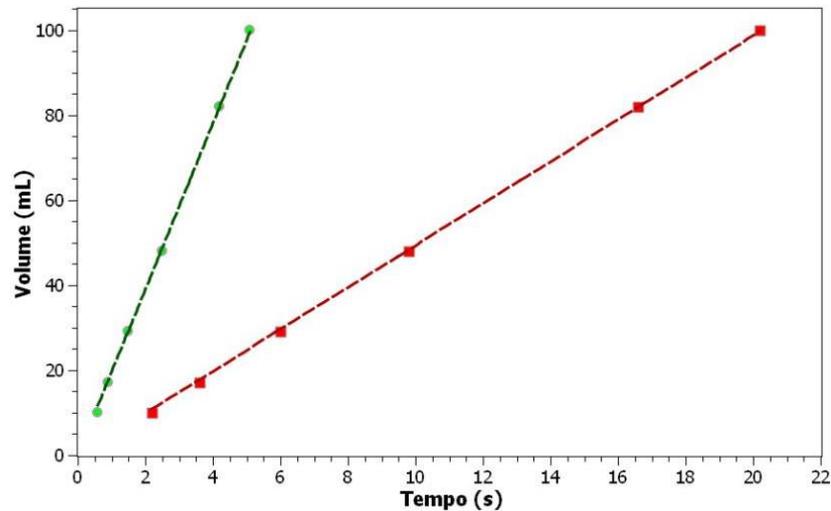
Fonte: Acervo dos autores (2020).

É importante salientar que a segunda proposta, apesar de mais complexa, permite a obtenção da constante universal dos gases a partir da análise do valor recebido pela constante k durante o processo de ajuste dos pontos representados na figura 8. Nesse caso, deve ser pedido ao aluno que ele construa um gráfico adequado com os valores obtidos, a fim de obter uma representação linear. Isto constitui uma pequena investigação para ele, e a conclusão que obterá é que apenas obtém uma relação linear quando representar P vs V^{-1} , ou V vs P^{-1} . A vantagem deste tipo de investigação é:

- Habilitar os alunos a reconhecerem representações matemáticas no comportamento entre variáveis;
- Aprender a transformar variáveis a representar nos eixos de modo a obter relações de proporcionalidade;
- Realizar medições indiretas de variáveis a partir do declive das representações de proporcionalidade, obtendo esses valores com as respectivas incertezas experimentais que resultam do cálculo estatístico do ajuste pelo método dos mínimos quadrados.

Na avaliação da Lei de Graham o gráfico construído a partir dos dados da simulação envolve as grandezas volume e tempo (figura 9). No entanto, na equação (2) estão envolvidas as velocidades de difusão e as densidades dos gases.

Figura 9 – Representação gráfica que demonstra a relação do tempo de difusão para o hidrogênio (-●-) e para o oxigênio (-■-), sendo que as retas de ajuste possuem, respectivamente, coeficientes de correlação (r^2) iguais a 0,9994 e 0,9997



Fonte: Acervo dos autores (2020).

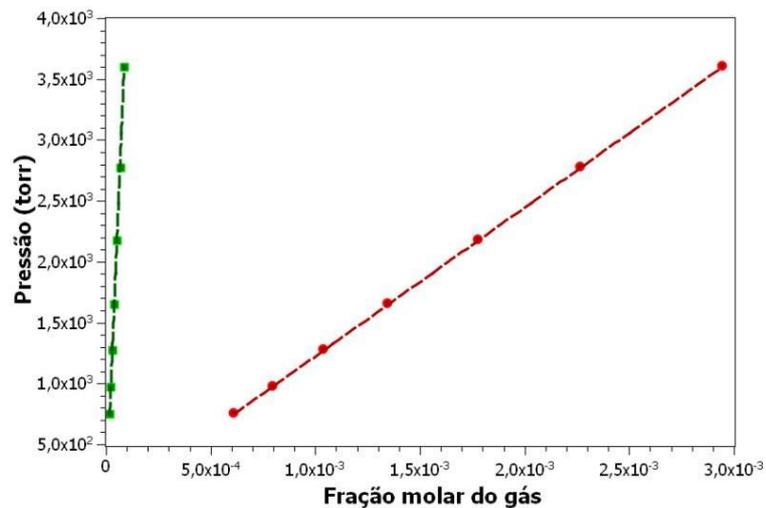
Como os declives de cada uma das retas de ajustes representam a vazão (φ) dos gases, e essa quantidade pode ser calculada a partir do produto da área (A) por onde eles escoam pelas velocidades (v) de difusão, é possível escrever a relação (1) da forma:

$$\frac{\varphi_H}{\varphi_O} = \sqrt{\frac{\rho_O}{\rho_H}} \quad (7)$$

supondo que as áreas de escoamento são iguais para ambos os gases. Nesta condição é possível mostrar que a diferença entre os valores obtidos pela atividade experimental - razão entre as vazões do oxigênio ($\approx 4,93$ mL/s) e do hidrogênio ($\approx 19,49$ mL/s) - e o estimado - dado pela raiz quadrada da razão das densidades - é em torno de 3%. Isso demonstra que a atividade virtual é condizente com o comportamento real dos gases analisados, permitindo concluir que experimentalmente, há uma confirmação do comportamento previsto pela Lei de Graham, nas condições de pressão e temperatura constantes.

Na avaliação da Lei de Henry, o software utilizado fornece como parâmetro a fração molar do gás analisado, que representa a razão entre o número de moles do gás dissolvido no líquido e o total de toda a mistura, quando são medidos diferentes valores de pressão. Isso permite a construção de um gráfico para os gases sugeridos, no caso oxigênio e hidrogênio, para avaliar juntamente com os estudantes o declive de cada uma das representações lineares (figura 10) e assim mostrar que a inclinação das respectivas retas de ajuste são condizentes com o que é esperado no processo de respiração ($H_o > H_{CO2}$).

Figura 10 – Representação gráfica que demonstra a relação entre a pressão e a fração molar para o oxigênio (-■-) e para o dióxido de carbono (-●-), sendo que as retas de ajuste possuem, respectivamente, coeficiente de correlação (r^2) próximos de 1



Fonte: Acervo dos autores (2020).

Por fim, a avaliação da aprendizagem dos estudantes deve ser realizada, no sentido de aferir o ganho de aprendizado proporcionado pelas simulações e abordagem pedagógica implementada. Para esse efeito, propomos que os estudantes sejam avaliados por intermédio de seis perguntas criadas na plataforma *Kahoot!* (KAHOOT, 2020), que se caracteriza por ter formato de perguntas online (figura 11) de caráter objetivo que devem ser respondidas em tempo real por um número ilimitado de “jogadores”, criando um ambiente de aprendizagem social com elementos de gamificação, divertido e estimulante para os participantes e que também pode ser utilizado para avaliar formativamente o conhecimento de cada estudante (CASSETTARI, 2015).

Figura 11 – Exemplo de uma questão proposta aos estudantes, usando a plataforma Kahoot! (Acervo dos autores)

Qual é a relação entre a pressão produzida por um líquido e a profundidade no qual o peixe desce no oceano?

2

54 Answers

- ▲ aumenta a medida que a profundidade aumenta.
- ◆ diminui a medida que a profundidade aumenta.
- intercala aumento em certas profundidades e diminuição em outras.
- permanece a mesma independente da profundidade.

Fonte: KAHOOT! (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É um fato que a proposta aqui apresentada não é e nem deve ser encarada como a solução para o problema de uma disciplina tão complexa como a da Biofísica da respiração. No entanto, a manutenção de métodos apenas expositivos para a abordagem destes temas não faz uso do potencial digital que inunda a realidade em que vivemos, já que os estudantes convivem em grande parte do seu dia com essas tecnologias.

Além disso, a realidade de adaptação dos métodos de exposição de conteúdos, em função dos atuais desafios enfrentados, como por exemplo, a pandemia do Covid-19, obriga que os professores busquem técnicas e recursos educativos que evitem monólogos sem a participação dos estudantes e com poucos exemplos práticos em que eles possam operacionalizar os conteúdos abordados nas aulas. Deste modo, é necessário que ocorra uma participação ativa de todos para que o processo de ensino-aprendizagem seja completo e eficiente.

Ademais, também é importante que as universidades passem a introduzir no seu dia a dia o uso das tecnologias de forma produtiva e estimulante, para mostrar aos estudantes que estas ferramentas podem ser utilizadas como recurso na sua vida profissional independente da área de conhecimento da qual ele busca formação.

BREATH BIOPHYSICS: A PROPOSED APPROACH WITH THE USE OF DIGITAL EDUCATIONAL RESOURCES

ABSTRACT

In the physics disciplines chosen to attend courses in biological and health areas in higher education, two realities are displayed, one of which where the physics content is little related to the themes presented within the area of public interest and what is the destination and another where disciplines have a structure that emphasizes the relationship between areas and discuss the physical principles that are related to the functioning of biological structures. The point is that, when there are situations in which they are not planned or planned, accessible practice classes allow activities to be used with the theoretical contents of biophysics, making it unlikely that they occur in a way that lists students' learning practices. enrolled in these disciplines. This mode is essential for existing materials and resources, which contribute to a more active role on the part of students to improve learning, since the current reality is unfavorable for the understanding of topics in biophysics. Thus, a discussion on breathing procedures - Boyle's Law, Henry's Law, Graham's Law - will be presented here with the proportion of a didactic sequence, with the use of digital educational resources (REDs), focused on three simulations, aimed at support the understanding of mathematical relationships that describe some negative effects caused by the use of small and small videos, which seek to connect some relevant information of what is being addressed.

KEYWORDS: Boyle's Law. Henry's Law. Graham's Law.

REFERÊNCIAS

BEACHEY, W. **Respiratory Care Anatomy and Physiology**. 4ª ed. Amsterdam: Elsevier, 2018.

BINSFELD, S. C.; AUTH, M. A. A Experimentação no Ensino de Ciências da Educação Básica: constatações e desafios. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO, 8., 2011, Campinas. **Trabalhos Completos [...]**. Rio de Janeiro: Abrapec, 2011. p. 1-10. Disponível em: <https://is.gd/FyVkaH>. Acesso em: 28 mar. 2020.

BROWN, D.; COX, A. J. Innovative Uses of Video Analysis, **The Physics Teacher**, v. 47, p. 145-150, 2009.

CASSETTARI, F. T. **Estudo de caso: uso de um quiz game para revisão de conhecimentos em gerenciamento de projetos**. 2015. 108 f. Monografia (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Departamento de Informática e Estatística, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CASTELLAN, G. **Fundamentos de Físico-Química**. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

CARVALHO, P. S. As animações virtuais no ensino interativo da Física. **Revista de Ciência Elementar**, v. 3, n. 1, p. 1-4, 2015.

CARVALHO, P. S., RODRIGUES, M. The bottle flip challenge demystified: where is the centre of mass? **Physics Education**, v. 52, n.4 p. 045020, 2017.

CARVALHO, P. S.; CHRISTIAN, W.; BELLONI, M. Physlets e Open Source Physics para professores e estudantes portugueses, **Revista Lusófona de Educação**, v. 25, p. 59-72, 2013.

CHRISTIAN, W.; BELLONI, M. **Physlets: Teaching physics with interactive curricular material**. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

CORSO, G. Os conteúdos das disciplinas de biofísica e a física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 2703/1-2703/4, 2009.

DCBE - Department of Chemical and Biological Engineering. **Henry's Law for Gases Dissolved in Water**, 2020. Disponível em: <http://abre.ai/aWyh>. Acesso em: 31 mar. 2020.

DIAS, M. A.; VIANNA, D. M.; CARVALHO P. S. A queda dos corpos para além do que se vê: contribuições das Imagens Estroboscópicas e da Videoanálise para a Alfabetização Científica. **Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, e2947, p. 1-28, 2018.

DINIZ, E. M. **Simulação de cirurgia mamária usando Elementos Finitos com modelos reconstruídos a partir de mamografias**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Eletricidade, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2011.

EISBERG, R. M.; LERNER, L. S. **Física: Fundamentos e Aplicações**. v. 2. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

FRANCISCO, M. C. A.; BARROS, D. M. V. **A utilização de recursos educativos digitais no ensino superior a distância: a percepção do estudante e o modo como utiliza os recursos digitais para fins educativos**, 2013. Disponível em: <http://abre.ai/aYZY>. Acesso em: 12 abr. 2020.

FRUMENTO, A. S. **Biofísica**. 2ª ed. Buenos Aires: Intermédica, 1974.

IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. **Curso Superior de Licenciatura em Ciências Biológicas: Ementas das Disciplinas**, 2015. Disponível em: <http://abre.ai/aYZP>. Acesso em: 12 abr. 2020.

KAHOOT. **Kahoot!**, 2020. Disponível em: <https://kahoot.com>. Acesso em: 14 abr. 2020.

KOBER, L. M. Princípios de físico química aplicados à enfermagem. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 3, n. 2, p. 93-129, 1969.

MOREIRA, C. H. P. *et al.* A biofísica na formação do biólogo e a opinião dos docentes formadores da área. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO, 16., 2018, Olinda. **Anais[...]**. Olinda: Fecomércio-PE, 2018. p. 1 - 11. Disponível em: <https://is.gd/zKHUJP>. Acesso em: 28 mar. 2020.

NEVES, R. G.; TEODORO, V. D. Modelação computacional, ambientes interactivos e o ensino da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática. **Revista Lusófona de Educação**, v. 25, p. 35-58, 2013.

PENÃS, J. **Laboratório ley de Graham**, 2016. Disponível em: <http://abre.ai/aUEo>. Acesso em: 29 mar. 2020.

PIIPER, J.; WORTH, H. Value and limits of graham's law for prediction of diffusivities of gases in gas mixtures. **Respiration Physiology**, v. 41, p. 233-240, 1980.

RAMOS, J. L. *et al.* **Portal das Escolas: Recursos Educativos Digitais para Portugal - Estudo Estratégico**. Lisboa: Gabinete de Estatísticas e Planeamento da Educação, 2010.

RAMOS, J. L. *et al.* Modelos e práticas de avaliação de recursos educativos digitais. **Cadernos SACAUSEF**, v. 2, p. 79-87, 2005. Disponível em: <http://abre.ai/aYZ5>. Acesso em: 12 abr. 2020.

RIBEIRO, J.; GIL, H. Contributo dos Recursos Digitais - RED - no 1º Ciclo do Ensino Básica. In: ESTILOS DE APRENDIZAGEM: EDUCAÇÃO, TECNOLOGIAS E INOVAÇÃO, 7., 2016, Bragança. **Atas[...]**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2016. p. 1853-1861.

RODRIGUES, C.; TEIXEIRA, R. Tecnologias em Processos de Inclusão. **Revista Faculdade de Educação**, v. 31, n. 2, p. 261-276, 2006.

RÓNDON, C.; BRICEÑO, J. C. **Difusion de gases O₂ y CO₂ - Fisiología**, 2017. Disponível em: <http://abre.ai/aWYq>. Acesso em: 03 abr. 2020.

SANTOS, T. F. **Aplicação do método de Elementos Finitos eXtendido (MEFX) para a previsão da resistência de juntas adesivas de sobreposição dupla**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2016.

SKIBICKI, H. A. Fisiologia Pulmonar: Difusão Pulmonar. **Jornal de Pneumologia**, v. 7, p. 1, p. 26-34, 1981.

SILVA, M. S. C. D.; LEITE, Q. D. S. S.; LEITE, B. S. O vídeo como ferramenta para o aprendizado de química: um estudo de caso no sertão pernambucano. **Revista Tecnologias na Educação**, v. 17, p. 1-15, 2016

SILVA, L. A. S. *et al.* Solubilidade e reatividade de gases. **Química Nova**, v. 40, n. 7, p. 824-832, 2017.

SILVA, M. C.; MACHADO, N. A.; CRUZ, F. A. O. O uso das TIC para o ensino (inclusivo) da física: da exposição à avaliação. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 4., 2017, João Pessoa. **Anais[...]**. Campina Grande: Realize, 2018. v. 1, p. 1 - 11. Disponível em: <http://abre.ai/aWAK>. Acesso em: 04 abr. 2020.

TE - TED-Ed. **The effects of underwater pressure on the body** - Neosha S Kashef, 2015. Disponível em: <http://abre.ai/aYT0>. Acesso em: 03 abr. 2020.

UC - Universidade Ceuma. **Farmácia**, 2018. Disponível em: <http://abre.ai/aUV7>. Acesso em: 30 mar. 2020.

UCB - University of Colorado Boulder. **Gases: Introdução**, 2020. Disponível em: <http://abre.ai/aUEK>. Acesso em: 28 mar. 2020.

UEFS - Universidade Estadual de Feira de Santana. **Biofísica I**, 2010. Disponível em: <http://abre.ai/aUVs>. Acesso em: 30 mar. 2020.

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. **Plano de Ensino**, 2018. Disponível em: <http://abre.ai/aUUv>. Acesso em: 30 mar. 2020.

UFOPA - Universidade Federal do Oeste do Pará. **Projeto pedagógico do curso de bacharelado em Farmácia**, 2013. Disponível em: <http://abre.ai/aUXt>. Acesso em: 30 mar. 2020.

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco. **Projeto Pedagógico do Curso – PPC: Licenciatura em Ciências Biológicas**, 2012. Disponível em: <http://abre.ai/aYZS>. Acesso em: 12 abr. 2020.

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Física para ciências biológicas**, 2015. Disponível em: <http://abre.ai/aUVF>. Acesso em: 30 mar. 2020.

UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Disciplina**, 2011. Disponível em: <http://abre.ai/aUUG>. Acesso em: 30 mar. 2020.

Recebido: 19 mai. 2020.

Aprovado: 17 dez. 2020.

DOI: 10.3895/rbect.v14n1.12420

Como citar: CRUZ, F. A. O.; MACHADO, N. A.; CARVALHO, P. S. Biofísica da respiração: uma proposta de abordagem com o uso de recursos educacionais digitais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v.14, n. 1, p. 216-237, jan./abr. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/12420>>. Acesso em: XXX.

Correspondência: Frederico Alan de Oliveira Cruz - frederico@ufrjr.br

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

