

A Física das máscaras PFF2: uma sequência didática

The Physics N95 masks: a didactic sequence

Jéssica da Cruz Ferreira¹, Jean Duarte da Silva², Raquel dos Santos Silva², Yuri Alisson Rodrigues de Oliveira¹, Clever Reis Stein², Moacy José Stoffes Junior^{1*}

RESUMO

Com o agravamento da pandemia decorrente do vírus SARS-COV II (COVID-19), ocorrido a partir do início do ano de 2020, o uso de um acessório, pouco habitual para a maioria de nós, as máscaras, tornou-se um hábito. Um modelo em especial rapidamente ganhou destaque devido ao nível de proteção fornecido contra o Coronavírus: as máscaras PFF2. Neste contexto, apresenta-se uma proposta de sequência didática, direcionada ao ensino de física, envolvendo o processo de filtragem das máscaras PFF2. A partir da adoção de uma metodologia de aprendizagem ativa, Ensino sob Medida, foi possível construir uma sequência didática que corrobora com o estudo de conceitos de processos de eletrização, força elétrica, campo elétrico, potencial elétrico e dipolo magnético de uma forma dinâmica e contextualizada. Basicamente, o desenvolvimento da proposta se dá em três momentos: exercícios de aquecimento, discussão em sala de aula e atividade em grupo.

Palavras-chave: Máscaras PFF2; Ensino Sob Medida; Eletreto; Ensino de Física.

ABSTRACT

With the worsening of the pandemic as result of the SARS-COV II virus (COVID-19), from the beginning of the year 2020, the use of an accessory, unusual for most of us, the masks, has become a custom. A special model gained prominence due to the level of protection against Coronavirus: the N95 masks. In this context, we present a teaching-learning sequence proposal, directioned to physics teachers, about the filtering process of the N95 scenes. From the adoption of an active learning methodology, just-in-time teaching, it was possible to build a didactic sequence that corroborates the study of concepts of electrification processes, electric force, electric field, electric potential and magnetic dipole by a dynamic and contextualized way. Basically, the development of the activity takes place in three moments: warm-up exercises, classroom discussions and group activities.

Keywords: N95 masks; Just-in-time teaching; Electret; Teaching Physics.

¹ Instituto Federal do Paraná.

*E-mail: moacy.stoffes@ifpr.edu.br

² Instituto Federal de Rondônia.

INTRODUÇÃO

O estudo da física é imprescindível para compreendermos o mundo ao nosso redor, o mundo dentro de nós e o mundo além de nós (GIBBS, 2003). Apesar de ser inquestionável a importância da física como ciência, no que tange o seu ensino na educação básica, há inúmeros pontos que ainda carecem de atenção e aprimoramento. Existem diversos fatores que afetam a qualidade do ensino de física, dentre eles, atividades descontextualizadas com a realidade e um número reduzido de aulas (CACHAPUZ; PRAIA; JORGE, 2004; PEDRISA, 2008; DIOGO; GOBARA, 2007).

Neste contexto, no campo do ensino de física, as sequências didáticas focadas em metodologias de aprendizagem ativa vêm despontando. Uma característica marcante desse tipo de aprendizagem é o fato do discente ser centro do processo de ensino-aprendizagem, por ser um processo dinâmico, contribui na formação de indivíduos autônomos e críticos. Existem diversas metodologias com estas características (LOVATO, *et al.*, 2018).

Inserido neste contexto, propomos uma sequência didática que aborda um tema atual e relevante, a física das máscaras PFF2. O trabalho é fundamentado em uma das metodologias de aprendizagem ativa: Ensino sob Medida.

Optamos por dar um maior enfoque à atração eletrostática, um dos princípios de filtragem da máscara PFF2, como veremos mais adiante. A escolha da atração eletrostática se deu por sua relevância, uma vez que envolve vários conceitos de eletromagnetismo: processos de eletrização; força elétrica; campo elétrico; potencial elétrico e dipolo magnético.

Ensino sob Medida

Nas últimas décadas, tem emergido diversos modelos educacionais que primam o maior engajamento e colaboração entre professores e estudantes. Nessa área, as metodologias ativas vêm ocupando um papel de destaque (PAIVA, *et al.*, 2016). Dentre elas, no ensino de física, o Ensino Sob Medida (EsM), originalmente, Just-in-Time Teaching, que consiste em uma estratégia pedagógica adotada em mais de 300 cursos de mais de 100 instituições (FORMICA; EASLEY; SPRAKER, 2010; PATTERSON, 2005).

O EsM é uma estratégia de ensino e aprendizagem proposta pelo professor da Universidade de Indiana, Gregor Novak e colaboradores no final dos anos de 1990 para

o ensino de física (PATTERSON, 2005; CUPITA, 2016). Já o termo "Just-in-Time" é intencionalmente uma reminiscência do processo de fabricação iniciado pela Toyota na década de 1970 (MONDEN, 1998). Este modelo baseia-se na interação de uma preparação prévia dos alunos para os conteúdos que serão trabalhados na sala de aula, através de leituras e questionários acessados na (NOVAK, *et al.*, 1999). Um dos pilares desse modelo é desenvolver maior responsabilidade e comprometimento do aluno com sua própria aprendizagem e aumentar a retenção de entendimento dos conteúdos a longo prazo (PATTERSON, 2005; CUPITA, 2016).

O Ensino sob Medida aproveita o poder e a conveniência da tecnologia para melhorar a aprendizagem do aluno, sua construção de habilidades e atitudes. No EsM, os cursos criam ciclos de *feedback* entre as preparações pré-aula por alunos e professores e as atividades em sala de aula que atendem os alunos para ajudá-los a seguir em frente (PATTERSON, 2005; CUPITA, 2016).

O emprego da metodologia do EsM capacita os alunos a utilizarem o tempo a fim de aumentar sua bagagem intelectual. Além de aprimorar o engajamento dentro da sala de aula, já que os alunos possuem o conhecimento prévio da informação, possibilitando-os de participarem com maior segurança do processo de ensino (PATTERSON, 2005; CUPITA, 2016).

Acredita-se que quando aplicado, as estratégias sugeridas pelo EsM gera-se mais opções para promover o envolvimento dos alunos, o que facilita o processo de aprendizagem (OLIVEIRA; VEIT; ARAÚJO, 2015). Basicamente, o desenvolvimento do método ocorre em três momentos distintos, detalhados a seguir.

Exercícios de aquecimento: nesta etapa o professor disponibiliza um material a ser estudado antes da aula, podendo ser um texto, artigo, vídeo, entre outros. Em sequência, é solicitado que os alunos respondam um breve questionário eletrônico com questões conceituais apresentadas no material disponibilizado (PASTÓRIO, 2020). Estes, devem ser entregues poucas horas antes do início da aula e tem como finalidade despertar o interesse dos alunos a estudarem o próximo conteúdo a ser trabalhado, promover o pensamento crítico sobre o tema, e servir como um guia para o planejamento de aula do professor. Essa combinação de fatores faz com que o ciclo torne-se benéfico tanto para os alunos quanto para os professores (PASTÓRIO, 2020; NOVAK; PATTERSON, 1998).

Discussão em sala de aula: A partir das respostas recebidas, o professor consegue analisar quais são os pontos de maior dificuldade dos alunos, com isso, prepara exposição e atividades que possam remediar as dificuldades específicas dos alunos (PASTÓRIO, 2020).

O professor, após a coleta das respostas, separa-as cuidadosamente e apresenta-as, garantindo o anonimato dos alunos, à turma. Vendida esta etapa é dado início às discussões em sala de aula. Durante esta etapa os conceitos mal interpretados são discutidos e, através desse debate, é buscado demonstrar os motivos pelos quais são considerados inválidos. Em paralelo à discussão o conceito real é apresentado (FORMICA, EASLEY; SPRAKER, 2010; PASTÓRIO, 2020; RHEM, 2005).

Além de ser um momento que motiva os alunos a participarem dentro do EsM, é também uma forma de discutir conceitos físicos com a linguagem do dia a dia e não através de textos memorizados e mais formais (FORMICA, EASLEY; SPRAKER, 2010; PASTÓRIO, 2020).

Atividade em grupo: num terceiro momento, é realizado o desenvolvimento e aplicação dos conceitos trabalhados em atividades em grupo. Espera-se que o tempo de aula seja otimizado, uma vez que esta já foi preparada a partir das dificuldades dos alunos. Com isso, o professor poderá realizar uma breve exposição sobre o conteúdo e dar mais ênfase nas discussões e realização das atividades de fixação (FORMICA, EASLEY; SPRAKER, 2010; PASTÓRIO, 2020).

A atividade em grupo dentro do EsM, são projetadas para serem relacionadas com o cotidiano do aluno. As atividades, as quais podem envolver, experimentos, simulações, demonstrações, problemas dentre outros. Permitindo que os alunos se coloquem ativos e aprendam fazendo, ao invés de simplesmente escutar, passivamente, uma aula na qual o docente possui papel de protagonista e único papel ativo durante o processo. Neste momento é esperado que os alunos recebam o *feedback* do professor, bem como o do seu grupo (FORMICA, EASLEY; SPRAKER, 2010; PASTÓRIO, 2020; RHEM, 2005).

A Física da Máscaras PFF2

As máscaras PFF2 (Figura 1) são respiradores consolidados há bastante tempo na indústria, hospitais, construção civil *etc.*, entretanto, se tornaram mais conhecidas pela maior parte da população com o agravamento da Pandemia de COVID-19. A

nomenclatura PFF2 significa “Peça Facial Filtrante Nível 2” (ALMEIDA, *et al.* 2016), sendo que, nos EUA recebem o nome de N95.

Figura 1 – Máscara PFF2.

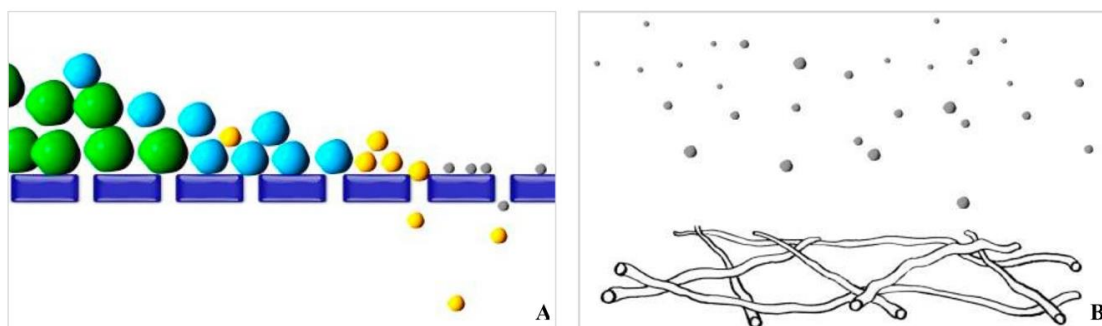


Fonte: Elaborado pelos autores.

Como justificaremos mais adiante, uma analogia mais adequada para explicar o funcionamento das máscaras PFF2 não é uma tela fina que limita a passagem dos insetos maiores, mas sim uma teia de aranha grudenta que retém qualquer tamanho de inseto desde que o inseto toque um desses fio (MINUTE PHYSICS, 2020).

A princípio, podemos pensar que as máscaras PFF2 tem o funcionamento similar a uma peneira muito fina (MINUTE PHYSICS, 2020), retendo as partículas transportadas pelo ar nas malhas finas do polímero sintético (TSAI, 2020) que as constitui. Todavia, se a máscara PFF2 funcionasse exclusivamente dessa forma, a partir de um determinado limite, as partículas conseguiriam atravessar entre as tramas da malha (Figura 2A), uma vez que as partículas filtradas pelas máscaras PFF2 são muito menores que os espaços entre as fibras do tecido da máscara (Figura 2B), (MINUTE PHYSICS, 2020).

Figura 2 –Mostra que partículas muito pequenas atravessariam as fibras do tecido da máscara se ela funcionasse exclusivamente como uma peneira fina (A). Mostra que as partículas filtradas pelas máscaras PFF2 são muito menores que o espaçamento entre as fibras do tecido (B).



Fonte: Adaptada de Minute Physics, 2020.

Poderíamos pensar, em um primeiro momento que, se diminuíssemos o tamanho dos poros superaríamos a dificuldade mostrada na Figura 2A, mas os mecanismos de filtragem da máscara facial devem ser otimizados a fim de atender dois requisitos concorrentes. Haja vista que, o tamanho dos poros deve ser pequeno o suficiente para reter as partículas, mas que permita que o usuário respire, uma vez que poros muito pequenos impediria a livre respiração. Perante o exposto, os filtros das máscaras não podem ir abaixo de um certo diâmetro médio de poro (JOHNSON, 2005; CHUA, *et al.*, 2020).

Para atender a este requisito de otimização, as máscaras PFF2 operam essencialmente em três princípios. Impacto inercial: partículas de aerossol ou pó tipicamente maior ou igual a $1\ \mu m$ de diâmetro, as quais têm inércia suficiente para evitar que fluam ao redor das fibras nas camadas de filtração colidem com o material da máscara e são retidas. Difusão: partículas menores, geralmente abaixo de $0,1\ \mu m$, que possuem pouca inércia, sofrem difusão e ficam presas às camadas fibrosas do filtro. Atração eletrostática: este mecanismo emprega polímero carregado eletricamente, fibras de resina que atraem partículas com diâmetros compreendidos entre a faixa $0,1\ \mu m \leq \text{diâmetro} \leq 1,0\ \mu m$, e que possuem com carga oposta, prendendo-as por meio de interações eletrostáticas (JOHNSON, 2005).

Impacto inercial

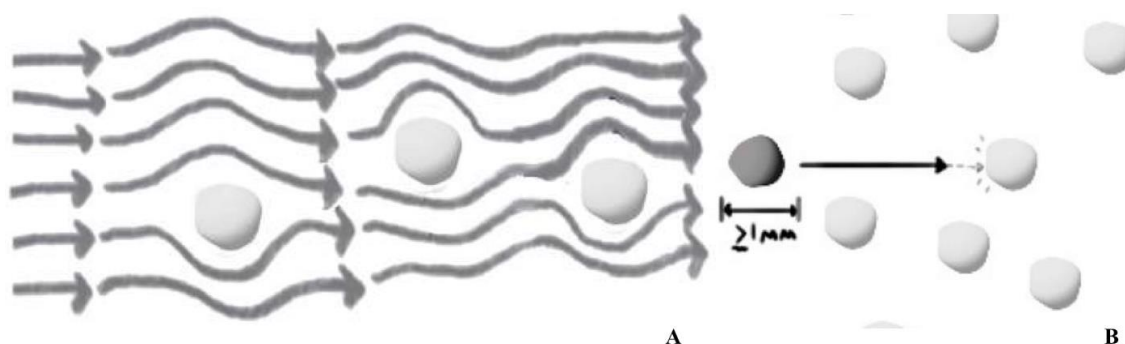
Antes de explanar sobre o princípio do impacto inercial, primeiramente, é preciso considerar o movimento do ar através filtro para compreender como uma partícula é capturada.

Podemos descrever o caminho que o ar percorre no entorno das fibras em termos de linha de fluxos imaginarias. Estas linhas se curvam ao passar em torno da fibra

(coletor) e a capacidade da partícula acompanhar estas linhas decresce com o aumento da sua massa, devido a sua inércia (Figura 3 A). Qualquer partícula carregada pelo ar, pode ou não ficar dentro das linhas dependendo do seu tamanho (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020).

Partículas grandes, iguais ou superiores a $1\ \mu\text{m}$ de diâmetro, tendem a ser coletadas através do impacto inercial (Figura 4), uma vez que devido a seu tamanho ou massa, as partículas não conseguem seguir a linha de fluxo ao redor da fibra. Isso resulta num processo de colisões entre partículas, que reduz suas velocidades, facilitando assim o processo de captura pelas malhas do filtro (STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020).

Figura 3 – Linha de fluxo imaginária entre as fibras do meio filtrante (A). Representação do impacto inercial (B).



Fonte: Adaptada de Minute Physics, 2020.

Difusão

Sabe-se, através da teoria cinética dos gases, que um gás é constituído por uma grande quantidade de pequenas partículas, átomos ou moléculas, as quais, deslocam-se rapidamente em um constante movimento aleatório, colidindo constantemente uma com as outras (STEFFENS, 2007; CHUA, *et al.*, 2020).

Em virtude desse movimento estocástico, pequenas partículas presentes no ar acabam sendo deslocadas por estas colisões, difundindo-se rapidamente. Como consequência, a trajetória das partículas desvia das linhas de fluxo, podendo vir a colidir com as fibras do meio filtrante (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020).

Deste modo, o mecanismo de difusão retrata a influência do movimento das moléculas na probabilidade em capturar as partículas dispersas no ar pelas fibras (STEFFENS, 2007).

Este processo é responsável por coletar pequenas partículas, afetando majoritariamente partículas menores que $0,1\ \mu\text{m}$. Estas, são bombardeadas pelas moléculas de ar, o que as faz desviar das linhas de fluxo. Os movimentos aleatórios de ar são responsáveis por fazer as partículas perambularem em movimento browniano através das linhas de fluxo até se chocarem com as fibras do meio filtrante (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020).

Figura 4 – Representação da difusão.

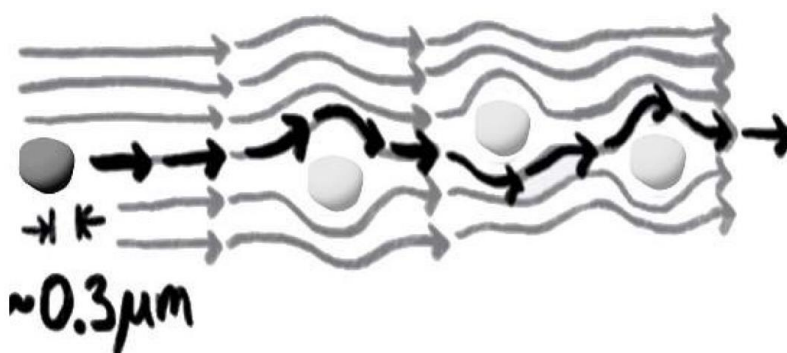


Fonte: Adaptada de Minute Physics, 2020.

Atração Eletrostática

Partículas entre $0,1\ \mu\text{m}$ e $1\ \mu\text{m}$, não são grandes o bastante para serem coletadas por impacto e nem pequenas o suficiente para serem capturadas por difusão. Assim, as partículas intermediárias costumam seguir o fluxo de ar, não sendo retidas pelo processo da difusão e do impacto inicial (Figura 5) (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020).

Figura 5 – Representação do movimento de partículas intermediárias.



Fonte: Adaptada de Minute Physics, 2020.

Para interceptar essas partículas, há um mecanismo de captura que se diferencia totalmente do impacto inercial e da difusão, sendo considerado o mais eficaz, chamado de atração eletrostática (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007).

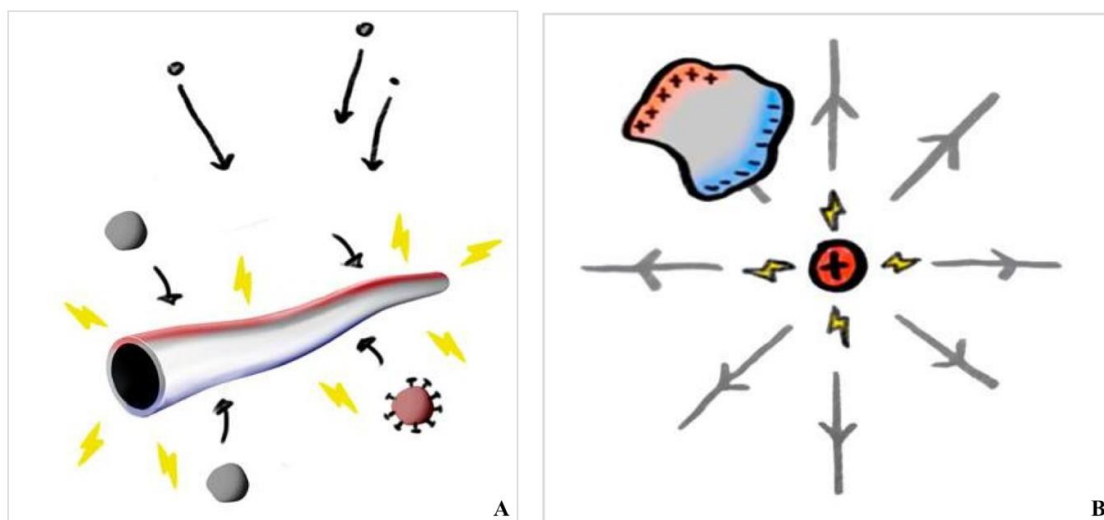
É pensando nesse efeito que a filtração por atração eletroestática se fundamenta. Desde a década de 1930, muitos filtros vêm sendo ajustados eletrostaticamente por se mostrar um meio altamente eficaz para captura de partículas (ABRAHÃO, 2004; SILVA JÚNIOR, 2010). Empiricamente, é sabido que quanto atrita-se dois tecidos de diferentes materiais, eles ganham eletricidade estática, fenômeno conhecido como efeito triboelétrico. Tecidos que possuem alta aspereza, tais como lã, algodão e náilon, por exemplo, são materiais com alta capacidade triboelétrica. Ou seja, apresentam alta capacidade de acumular carga quando atritados (BANDI, 2020; ASSIS, 2010).

A filtração por atração elétrica se baseia em induzir uma carga eletroestática nos fios do tecido do meio filtrante, o que os transforma em eletretos. Embora os eletretos tenham sido descobertos 1732 por Stephen Gray, somente em 1919 o físico japonês Mototaro Eguchi desenvolveu uma técnica confiável para obtê-los experimentalmente (ABRAHÃO, 2004; SILVA JUNIOR, 2010).

Podemos considerar, através de uma analogia, que os eletretos são os ímãs eletrostáticos. Assim como os ímãs, que possuem dipolos magnéticos e geram um campo magnético ao seu redor, os eletretos também apresentam propriedades semelhantes, inclusive produzindo um campo no seu entorno, nesse caso, um campo elétrico (ABRAHÃO, 2004; SILVA JUNIOR, 2010).

É este campo elétrico gerado pelos eletretos em seu entorno, é responsável por atrair as partículas de todos os tamanhos em direção as fibras do filtro (Figura 6A). Partículas irregulares serão atraídas pela fibra que possuir carga oposta. Até mesmo as partículas neutras são atraídas, pois acabam reorganizando suas cargas, internamente através do processo de indução eletrostática, criando assim regiões positivas e negativas (Figura 6B) (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020; MINUTE PHYSICS, 2020).

Figura 6 – Representação do campo elétrico ao redor da fibra do filtro atraindo partículas de diferentes tamanhos (A). Interação das partículas com o campo elétrico das fibras da máscara.



Fonte: Adaptada de Minute Physics, 2020.

Desta forma, ao incorporar entre as camadas de uma máscara, o tecido de eletreto sintético que possui como principal característica a alta densidade de carga eletrostática, as partículas com carga opostas, independente do seu tamanho, são atraídas pela força eletrostática de longo alcance em direção à camada eletrostática. Uma vez capturadas, as partículas são mantidas no lugar por meio das forças de van der Waals. É possível trazer como exemplos desses tecidos as fibras plásticas de polipropileno (PP) e de poliestireno (PS) (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020; MINUTE PHYSICS, 2020).

Uma vantagem adicional no emprego de tecido de eletretos é que, devido ao seu padrão desordenado (Figura 7), em oposição ao tecido de malha com fios de fibra intercalados em uma grade, é criado um meio poroso altamente irregular, garantindo que as partículas sigam linhas tortuosas através da matriz porosa (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020; MINUTE PHYSICS, 2020).

Figura 7 – Meio filtrante das máscaras PPF2.



Fonte: Elaborado pelos autores.

São esses conjuntos de mecanismos que garantem a enorme eficiência de pelo menos 95% de filtração (JOHNSON, 2005; STEFFENS, 2007; BROSSEAU, 2009; CHUA, *et al.*, 2020; LEE; KIM, 2020).

A sequência didática

No presente trabalho é proposto, então, uma sequência didática fundamentada no Ensino sob Medida, partindo da notoriedade que as máscaras PFF2 ganharam com a pandemia de COVID-19 como uma forma de atrair a atenção e melhorar o engajamento dos alunos na disciplina de Física. Embora a compreensão do mecanismo de filtração desse modelo de respirador envolva vários fenômenos físicos, alguns simples e outros mais complexos, foi preferível focar, dentro da sequência didática proposta, apenas no processo de filtração por meio da atração eletrostática. Assim sendo, tal sequência se restringe a abordar apenas os conceitos de processos de eletrização, força elétrica, campo elétrico, potencial elétrico e dipolo magnético.

Para a implementação integral da sequência didática é necessário dispor de uma carga horária de 6 horas, organizadas da seguinte forma: 1 hora em um momento anterior ao primeiro encontro, para que o estudante possa realizar as atividades de aquecimento; 2 horas para o primeiro encontro (tema processos de eletrização e força elétrica), 2 horas para o segundo encontro (tema campo e potencial elétrico; dipolo magnético) e 1 hora para uma atividade de avaliação e um momento posterior ao segundo encontro.

A primeira etapa da sequência didática consiste nas atividades de aquecimento: sugere-se que o professor solicite aos alunos que assistam ao vídeo “O grande segredo das máscaras N95 e PFF2” disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=fqQx080ckJU>. Na sequência, deve ser respondido o questionário eletrônico inicial. Este deve ser disponibilizado através da ferramenta mais acessível aos seus alunos, seja ela física ou digital. Como por exemplo, questionário impresso, plataforma virtual utilizada pela instituição, envio de e-mails ou até mesmo por grupo de aplicativos de troca de mensagens.

Tendo em mãos as respostas dos alunos, realiza-se um diagnóstico sobre a qual assunto ou tema deve ser desprendida a maior relevância e, a seguir, preparam-se as aulas com base nesse diagnóstico realizado. Como esta etapa é muito particular de cada turma, é sugerido que o professor se atente somente aos conceitos mal interpretados e que os trabalhe em sala de aula a fim de auxiliar na compreensão dos alunos.

Seguindo para a próxima etapa da metodologia EsM, o professor pode se valer de várias estratégias, como por exemplo, apresentar em resumo os conceitos trabalhados até o momento, dando sequência para as atividades em grupos ou até mesmo realizar uma atividade experimental. As atividades desenvolvidas neste momento servirão como uma forma de avaliação parcial, uma vez que poderão acompanhar a evolução do conhecimento adquirido pelos alunos.

A etapa final da sequência didática consiste na aplicação de um questionário eletrônico após o segundo encontro. Os objetivos deste questionário são compor a avaliação, fazer uma revisão dos conceitos físicos e verificar a compreensão do mecanismo de filtragem das máscaras PFF2.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da proposta de elaborar uma sequência didática fundamentada na concepção didática Ensino sob Medida para estudar a física por trás das máscaras PFF2. É possível considerar que a junção dos temas máscaras PFF2 e eletrostática, por meio da estratégia didática EsM, quando aplicada em sala de aula, proporcione um maior engajamento dos alunos, se caracterize como uma forma adicional que possibilita o desenvolvimento de comunicação e cooperação.

No tocante às atividades docente, o desenvolvimento dos conteúdos por meio da metodologia do EsM, possibilita melhorar a gestão do tempo em sala de aula, haja vista que, aplicando as atividades de aquecimento, o professor, ao mesmo tempo que ganha um tempo “extra”, consegue preparar suas aulas voltadas às necessidades específicas de cada turma.

Embora possa ser desenvolvido de formas alternativas, há a necessidade de resaltar que a sequência didática proposta neste trabalho terá mais sucesso se desenvolvida em instituições onde os estudantes disponham de acesso a recursos tecnológicos, tais como, rede de internet e equipamentos eletrônicos.

Por fim, como o Ensino sob Medida permite diagnosticar as dificuldades dos estudantes e, assim, elaborar aulas personalizadas, mostra-se uma valiosa metodologia que pode ser empregada concomitantemente com outras estratégias didáticas em diversos campos do saber.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, E. M. Uma descoberta inesperada. **Ciência hoje**, v. 35, n. 209, p.75-77, 2004.
- ALMEIDA, T. *et al.* **Guia de Seleção de Aparelhos de Proteção Respiratória Filtrantes**. Lisboa: ACT, 2016.
- ASSIS, A. K. T. **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. Montreal: Apeiron Montreal, 2010.
- BANDI, M.M. Electrocharged facepiece respirator fabric using common materials. **Proceedings of the Royal Society A**, v. 446: 20200469, 2020.
- BROSSEAU, L.; Berry, R. **N95 Respirators and Surgical Masks**. 2009. Disponível em <<https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2009/10/14/n95/>>. Acesso em: 16 de ago. de 2022.
- CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M. Da educação em ciência às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. **Ciência & Educação**, v.10, n.3, p. 363-381, 2004.
- CUPITA, L. A. L. Just in Time Teaching: A Strategy to Encourage Student's Engagement. **HOW**, v. 23, n. 2, p. 89-105, 2016.
- DIOGO, R. C.; GOBARA, S. T. Sociedade, educação e ensino de física no Brasil: do Brasil Colônia ao fim da Era Vargas. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2007.
- FORMICA, S.; EASLEY, J.; SPRAKER, M. Transforming Common Sense Beliefs into Newtonian thinking through Just-in-Time Teaching. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 6, p. 020106-1- 020106-7, 2010.
- Gibbs, K. **Advanced Physics**. United Kingdom: Cambridge University press, 2003.
- JOHNSON, E. Filtration mechanisms of Particulate Respirator. **Managing Infection Control**, p. 62-70, 2005.
- LEE, J.; KIM, J. Material Properties Influencing the Charge Decay of Electret Filters and their Impact on Filtration Performance. **Polymers**, v. 12, p. 62-74, 2020.
- LOVATO, F. L.; MICHELOTTI, A.; LORETTO, E. L. S. Metodologias ativas de aprendizagem: uma breve revisão. **Acta Scientiae**, v.20, n. 2, p.154-171, 2018.
- McKINNIE, K; STIVER, M. TREBONI, A. Chapter 8 – Just-in-time: Delivery that is not just in case. In **ESLTECH 6223, Issues and Practices in Learning Technologies**. 2019.
- MINUTE PHYSICS. **The astounding physics of N95 masks**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eAdanPfQdCA>. Acesso em 10 de agosto de 2022.
- MOLINA, A. *et al.* Project 1000 x 1000: Centrifugal melt spinning for distributed manufacturing of N95 filtering facepiece respirators, **Cornell University**, 2020.
- MONDEN, Y. **Toyota production system: An integrated approach to Just-in- Time**. Norcross. Boca Raton: HE Press, 1998.

NOVAK, G.; PATTERSON, E. Just-in-Time Teaching: Active Learner Pedagogy with WWW. In: **International Conference on Computers and Advanced Technology in Education**, May 27 -30, 1998 in Cancun, Mexico, 1998.

NOVAK, G. **Just-in-Time Teaching: Blending active learning with Web technology**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

OLIVEIRA, V.; VEIT, E. A.; ARAÚJO, I. S. Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching) e Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n.1, p. 180-206, 2015.

PAIVA, M. R. F. *et al.* Metodologias ativas de ensino aprendizagem: revisão integrativa. **Sanare**, v. 15, nº 02, p. 145-153, 2016.

PASTÓRIO, D. *et al.* Elaboração e implementação de uma unidade didática baseada no Just-in-Time Teaching: um estudo sobre a percepção dos estudantes. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 42, p. e20200296-1-e20200296-13, 2020.

PATTERSON, E. Just-in-Time Teaching: Technology Transforming Learning. **Successful Pedagogies**, p. 49-54, 2005.

PEDRISA, C. M. Características históricas do ensino de ciências. **Ciência & Educação**, Campinas, v. 1 n.1, p. 9-12, 2008.

RHEM, J. Just-in-Time Teaching Tomorrow's Professor listserv posting. **National Teaching and Learning Forum Newsletter**, v. 14, n. 1, 2005.

SILVA JÚNIOR, V. A. **História e Propriedade dos Eletretos**. Campinas: Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

STEFFENS, J. **Desempenho de filtros fibrosos operando na remoção de partículas manométricas de aerossóis**. São Carlos: Tese de Doutorado em Engenharia Química, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal de São Carlos, 2007.

TSAI, Peter. Putting the charge back into face-mask filters. **Nature**, v. 585, n. 7824, p. 316-319, 2020.

Recebido em: 21/08/2022

Aprovado em: 23/09/2022

Publicado em: 30/09/2022