

## **O USO DE SIMULADORES NO ENSINO DE FÍSICA: explorando a dualidade onda-partícula**

THE USE OF SIMULATIONS IN PHYSICS TEACHING: exploring wave-particle duality

**Giovanna Ferreira dos Santos**

giovannaf.s00@hotmail.com

**Oberlan da Silva**

oberlan.silva@pesqueira.ifpe.edu.br

---

### **RESUMO**

Ao longo das últimas décadas, as novas tecnologias vêm contribuindo como ferramentas didáticas para a melhoria da Educação. No ensino de Física, essas ferramentas passam a integrar este processo com o intuito de promover melhorias no estudo de fenômenos de difícil visualização e compreensão. Nesse contexto, analisamos a utilização das simulações Interferência de Onda e Interferência Quântica do PhET como recursos didáticos no estudo da Dualidade onda-partícula, relacionando-os com as teorias que compõem o estudo do fenômeno. A pesquisa é de natureza qualitativa e de caráter descritivo. A coleta de dados ocorreu por meio de capturas de tela dos simuladores utilizados. Os resultados evidenciaram uma consonância entre as teorias que regem a discussão do comportamento dual da luz e o que é observado no manuseio das simulações em questão, destacando a importância e o benefício das mesmas no auxílio no processo de ensino e aprendizagem. Consideramos que a utilização de simuladores virtuais poderá contribuir para o estudo de fenômenos físicos na perspectiva de um ensino e aprendizagem de qualidade.

Palavras-chave: Dualidade. Simulação. Ensino de Física.

### **ABSTRACT**

Over the last few decades, new technologies have contributed as didactic tools for the improvement of Education. In physics teaching, these tools become part of this process in order to promote improvements in the study of phenomena that are difficult to visualize and understand. In this context, we analyzed the use of the Wave Interference

Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 17 de fevereiro de 2022.

and Interference simulations Quantum of PhET as didactic resources in the study of wave-particle duality, relating them to the theories that make up the study of the phenomenon. The search is qualitative and descriptive in nature. Data collection took place through screenshots of the simulators used. The results showed a consonance between the theories that govern the discussion of the dual behavior of light and what is observed in the handling of the simulations in question, highlighting the importance and benefit of the same in helping in the teaching process and learning. We believe that the use of virtual simulators may contribute to the study of physical phenomena from the perspective of teaching and quality learning.

Keywords: Duality. Simulation. Physics Teaching.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o ensino de Física tem sofrido inúmeras transformações para atender as demandas de uma sociedade em constante evolução. Nessa perspectiva, as novas tecnologias<sup>1</sup> surgem como estratégias didáticas no processo educacional afim de colaborar na construção de conhecimentos, no desenvolvimento e no aprimoramento de habilidades que serão essenciais no futuro.

No ensino de Ciências, as simulações virtuais têm sido propostas, há mais de trinta anos, como ferramentas didáticas de grande utilidade na melhoria da compreensão de conceitos e desenvolvimento de capacidades científicas dos alunos (GRECA; SEIANE; ARRIASSECQ, 2014).

Para Silva, Germano e Mariano (2011), o ensino de Física é uma das áreas que pode se beneficiar com o uso dessas tecnologias, isso porque ao compreender temas que fazem parte do cotidiano, além de tentar explicar situações difíceis de serem demonstradas, a Física desperta nos alunos a sensação de quem não são capazes de aprendê-la.

Entretanto, Registro, Scapin e Marenga Jr. (1999) esclarecem que, no contexto de inserção de tecnologias na Educação,

[...] o simples uso do computador conectado à Internet não caracteriza, por si só, nenhuma mudança relevante no processo ensino/aprendizagem. É então, muito mais, pela atitude do professor mediante o uso que faz desses recursos, em sala de aula, bem como de uma postura descentralizadora do saber, que se pode conseguir resultados mais próximos do desejável.

Nesse sentido, ressaltamos o papel do professor enquanto mediador entre o conhecimento e o aluno, com o intuito de promover o desenvolvimento integral e despertar a autonomia e o protagonismo do mesmo. Diante desse contexto, faz-se necessária a participação efetiva do professor, enquanto planejador e mediador de

---

<sup>1</sup> Segundo Kenski (2007, p.22) “o conceito de tecnologia engloba a totalidade de coisas que a engenhosidade do cérebro humano conseguiu criar em todas as épocas, suas formas de uso, suas aplicações”. Nem sempre uma nova tecnologia está surgindo, mas uma tecnologia já existente sofre inovação, o que torna o conceito de novas tecnologias variável e contextual (KENSKI, 2007).

ferramentas computacionais para favorecer a aprendizagem, e do aluno enquanto sujeito ativo no processo de construção e desenvolvimento das suas habilidades e potencialidades.

As novas tecnologias são capazes de proporcionar a abordagem de conteúdos por meio da visualização de fenômenos físicos que não podem ser observados de outra maneira. Com isso, as simulações virtuais possibilitam essa visualização através do manuseio por parte do estudante, de maneira prática e fácil.

Os simuladores virtuais do PhET (Physics Education Technology Project) surgem como recursos didáticos que facilitam o processo de ensino e aprendizagem, pois tornam o estudante um sujeito ativo da sua própria aprendizagem, permitindo que observe fenômenos físicos, colete dados, elabore questionamentos, contribuindo, de maneira significativa, na construção de conhecimento e na compreensão de fenômenos que fazem parte do seu cotidiano.

Nesse contexto, neste trabalho buscamos analisar a utilização dos simuladores virtuais Interferência de Onda e Interferência Quântica do PhET como recursos didáticos no estudo da Dualidade onda-partícula, relacionando as ferramentas dispostas nas simulações com as teorias que compõem o estudo do fenômeno.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 História da discussão da natureza da luz: onda ou partícula?

As concepções sobre a natureza da luz geram debates desde a época da Grécia Antiga, quando filósofos questionavam-se sobre a sua composição. O debate ganhou força a partir do século XVII, quando houve uma disputa acirrada entre duas teorias que buscavam explicar a composição da luz: a corpuscular, defendida por Isaac Newton (1642-1727), e a ondulatória, proposta por Christiaan Huygens (1629-1695) (MOURA, 2016). É a partir desse cenário que tem início o percurso para a explicação de um dos maiores, e mais emblemáticos, questionamentos científicos.

A Física Clássica define uma partícula como um objeto pontual que se move em uma determinada direção com uma velocidade bem definida, descrevendo uma trajetória contínua e previsível por todo o espaço (HALLIDAY, 2019).

Uma onda é caracterizada com uma perturbação que se propaga num meio material ou no vácuo, acompanhada de uma energia associada a ela (HALLIDAY, 2019). Diferente de uma partícula, uma onda não pode ser localizada em pontos bem definidos no espaço.

Na visão atual da Física Quântica, uma partícula é descrita como uma função de onda que permite calcular a probabilidade de encontrar a partícula em um dado momento em um pequeno volume de espaço (HALLIDAY, 2019).

Ao longo da década de 1670, Newton reuniu textos e artigos particulares em uma obra intitulada *Óptica*, com uma primeira versão publicada por volta de 1704, e composta por três livros divididos em partes. Além disso, a obra incluía *Questões* sobre temas que não haviam sido amplamente discutidos por ele anteriormente. Embora tenha sido um defensor da concepção da luz constituída por minúsculas partículas, em *Óptica*, o físico não chegou a defender explicitamente a natureza corpuscular da luz. Segundo Sepper (1994), o objetivo da obra de Newton não era o Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 17 de fevereiro de 2022.

*estudo da luz*. A tendência era trabalhar as características dos fenômenos ópticos mais do que discutir, em especial, a natureza da luz. Foi somente nas “Questões” Livro III que Newton discorreu sobre a natureza corpuscular da luz, ao fazer o seguinte questionamento: “Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham?” (NEWTON, 1996, p. 271). A partir dele, o autor apresentou diversos aspectos que, relacionados aos fenômenos ópticos discutidos ao longo de sua obra, confirmariam sua hipótese. Um dos seus argumentos fazia referência ao fato da luz não sofrer o fenômeno da difração, ou seja, não ser capaz de contornar obstáculos como as ondas sonoras, por exemplo, e à analogia ao fenômeno da reflexão e a colisão de partículas com um anteparo.

Christiaan Huygens foi o precursor da concepção ondulatória da luz. Em sua obra denominada *O Tratado sobre a Luz*, publicada em 1690, o autor aborda seis fenômenos, cada um dividido em um capítulo, quais sejam: propagação retilínea da luz, reflexão, refração, refração no ar, dupla fenda e forma dos corpos para produzir a refração e a reflexão. Para Huygens, a luz não passava de pulsos não periódicos propagados pelo Éter<sup>2</sup>, ou seja, uma onda. Contudo, no *Tratado*, não há a presença de conceitos de ondulatória como período, frequência e comprimento de onda. Para Moura (2016a), a teoria de Huygens está mais adequada a uma concepção vibracional da luz do que, de fato, ondulatória, já que não há a discussão de fenômenos que possam ser incluídos na discussão acerca do caráter dual da luz, tais como interferência e difração, por exemplo.

As teorias defendidas por Newton e Huygens apresentavam algumas incompatibilidades e vulnerabilidades. No que diz respeito a concepção corpuscular, se a luz fosse composta por partículas, ao cruzarmos dois raios luminosos, suas trajetórias deveriam ser alteradas por meio da colisão de partículas, obedecendo à mecânica dos corpos, o que não ocorria na prática. Além disso, Newton acreditava que a refração da luz, ao passar do ar para a água, estaria associada ao aumento da velocidade dos corpúsculos de luz, atraídos gravitacionalmente pelas partículas de água, mais pesadas que o ar, fazendo com que a velocidade da luz na água fosse maior que no ar. Já na concepção de Huygens, a refração estaria associada a redução da velocidade de propagação da luz ao entrar na água, associado a comportamentos ondulatórios, fazendo com que a velocidade da luz no ar fosse maior que na água (MOURA, 2016).

A concepção ondulatória de Huygens, com conceitos de refração e reflexão, assim como as ondas sonoras, levantava dúvidas sobre sua veracidade, pois como era de conhecimento que o som não se propagava no vácuo, como poderíamos explicar a chegada dos raios solares até o planeta Terra? Para tentar explicar esse fenômeno, Huygens propôs a existência de um meio etéreo que permeava todo o Universo e que, graças a sua vibração, permitia o deslocamento da luz, o que, segundo Polito (2016), era inconsistente, já que o fato dessas vibrações não serem periódicas, não explica os fenômenos de interferência luminosa.

Em meio a tantos questionamentos e embates entre as duas teorias propostas, durante os séculos XVII e XVIII prevaleceu a concepção newtoniana sobre a natureza corpuscular da luz, graças ao prestígio acadêmico de Newton devido ao trabalho

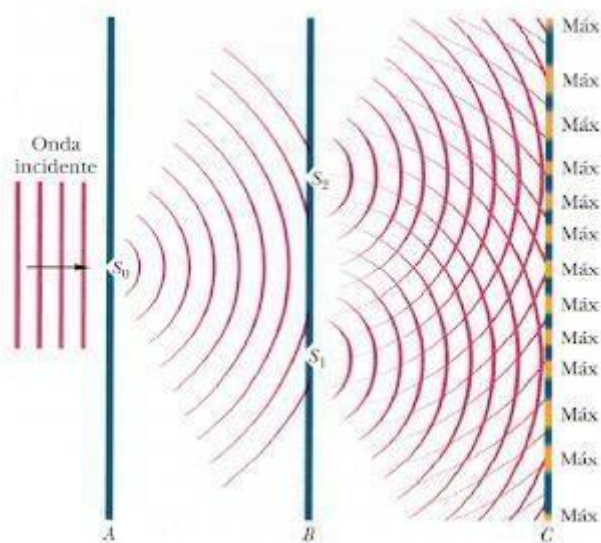
---

<sup>2</sup> Substância invisível que permeava todo o espaço, incluindo o interior dos corpos, e que permitia a ocorrência de fenômenos eletromagnéticos, bem como a propagação da luz (MENEZES JR. & LORDÉLO, 2019).

desenvolvido em *Óptica* e por sua Teoria da Gravitação Universal (PIETROCOLA, 1993b), mesmo não tendo explicitado sua defesa da luz enquanto partícula, como já discutido anteriormente.

No início do século XIX, a discussão sobre a natureza da luz ganharia um novo capítulo. Thomas Young (1773-1829) elaborou sua própria teoria ondulatória (ou seria vibracional?) da luz, buscando responder as questões que o modelo de Huygens não conseguia. Uma delas diz respeito ao fenômeno da interferência da luz. Em 1801, Young realizou o experimento da dupla fenda (Fig. 1), que consistiu em uma fonte de luz monocromática incidindo, inicialmente, no anteparo A com uma fenda  $S_0$ . A luz difratada propaga-se até atingir o anteparo B, composto por duas fendas,  $S_1$  e  $S_2$ . Em seguida, a luz sofre uma nova difração ao atravessar as duas fendas, propagando-se de forma simultânea no espaço, superpondo uma sobre a outra, e projetando sob uma tela de observação C, usada para interceptar a luz, um conjunto de franjas, linhas claras e escuras que se alternam, ocorrendo, assim, o fenômeno da interferência (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2019).

**Figura 1 - Arranjo experimental de Young**



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2019, p. 83)

Com o experimento, Young conseguiu provar experimentalmente que a luz é uma onda através da observação do fenômeno da interferência, conhecido também pelas ondas mecânicas, por exemplo. Além disso, o cientista conseguiu medir o valor do comprimento de onda da luz, obtendo o resultado de 570 nm, muito próximo ao aceito atualmente, de 555 nm (HALLIDAY, 2019). Contudo, embora tenha conseguido novos adeptos, a teoria ondulatória da luz não conseguiu ser aceita pela maioria da comunidade científica, mesmo depois dos resultados do experimento da dupla fenda de Young, talvez por estar em desacordo com a proposição corpuscular de Newton.

Por volta de 1819, a Academia de Ciências da França realizou um concurso para premiar o melhor trabalho sobre a difração da luz. O físico e engenheiro francês Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), adepto da teoria ondulatória, venceu a competição com a explicação do fenômeno da difração considerando a luz como uma

onda. Poisson, defensor da teoria corpuscular, propôs que, se Fresnel estivesse correto, ao passarem pela borda de uma esfera, as ondas luminosas produziriam sombras em volta de um ponto luminoso. Em 1818, a indicação de Poisson foi comprovada experimentalmente e denominada de *O ponto de Fresnel*. Já em 1850, um novo resultado experimental daria mais força à teoria ondulatória, quando Leon Foucault (1819-1868) conseguiu determinar a velocidade da luz em determinados meios e demonstrou que a mesma era maior no ar e não na água, como acreditava Huygens (HALLIDAY, 2019). Com isso, sua teoria passou a dominar em meio aos cientistas da época.

Outro personagem importante na discussão sobre a natureza da luz foi James Clerk Maxwell (1831-1879). Em 1865, ao propor sua Teoria Eletromagnética das ondas luminosas, Maxwell conseguiu determinar que a velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas transversais no vácuo corresponde ao mesmo valor de propagação da luz, 300.000.000 m/s (POLITO, 2016). Essa descoberta propôs que a luz era um tipo de onda eletromagnética, o que foi confirmado anos mais tarde por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894).

Quando a Ciência caminhava para a confirmação e aceitação da teoria ondulatória de Huygens, Albert Einstein (1879-1955), em um artigo publicado em 1905 sobre o efeito fotoelétrico, propôs que a luz era formada por corpúsculos indivisíveis, ou *quanta*, os quais chamou de *fótons*, afim de explicar como um feixe de luz à determinada frequência e incidindo contra uma placa metálica era capaz de arrancar elétrons dela (WEBBER; RICCI, 2006). Além disso, o experimento da dupla fenda de Young ganhou outras versões para elétrons e nêutrons, por exemplo, e também apresentou um padrão de interferência, como observado com os fótons. É nesse momento que a discussão da concepção da luz como uma partícula volta à tona.

Na Física Clássica, a luz possui um comportamento ondulatório, ao passo que, na Física Quântica, apresenta uma composição por partículas singulares, chamadas fótons. Sendo assim, como seria possível que corpúsculos, como fótons e átomos, por exemplo, apresentassem comportamentos ondulatórios sendo partículas? É a partir daí que surge a primeira discussão da luz como uma partícula e uma onda. Por volta de 1925, Louis De Broglie (1892-1987), em sua tese de doutorado, postulou que “devido ao fato de que os fótons possuem características ondulatórias e corpusculares, talvez todas as formas de matéria tenham propriedades ondulatórias e corpusculares” (MARTINS & ROSA, 2014, p. 72). Para De Broglie, toda partícula estaria associada a uma onda, e que o comprimento de onda de uma onda de matéria seria dado por

$$\lambda = h/p \quad (1)$$

onde  $h$  é a constante de Planck e  $p$  o momento relativístico. Dessa forma, quanto maior o momento da partícula, ou seja, quanto maior a sua massa e/ou a sua velocidade, menor o seu comprimento de onda. Isso nos leva ao pensamento de De Broglie de uma partícula como uma onda de matéria que transfere energia e momento a outras partículas.

Em 1928, Niels Henrik David Bohr (1885-1962) enunciou o princípio da complementaridade. Para Bohr, os pontos de vista corpuscular e ondulatório se complementam na Natureza para descrever o comportamento de elétrons, por exemplo, mas nunca poderão ser usados simultaneamente para o mesmo objetivo, Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 17 de fevereiro de 2022.

pois o seu comportamento (ora onda, ora partícula) será definido pelo arranjo experimental utilizado (PESSOA JR., 1997). Atualmente, admite-se o comportamento dual da luz, ou seja, ora comportando-se como partícula, ora como onda, a partir do fenômeno que está sendo observado, diante das limitações científicas contemporâneas para explicar o seu comportamento (WEBBER & RICCI, 2006).

A integração da teoria corpuscular e ondulatória na Mecânica Quântica é interpretada de diferentes formas, correspondendo assim a cada corrente de pensamento assumida pelo cientista diante dos resultados obtidos experimentalmente. Dentre as muitas interpretações da Mecânica Quântica, estão a interpretação ondulatória-realista (proposta por Schrödinger), dualista-positivista (proposta por Bohr) e dualista-realista (proposta por De Broglie e Bohm), que serão abordadas no tópico a seguir (ARAÚJO, 2018).

## 2.2 Simulações virtuais no ensino de Física

As simulações virtuais são ferramentas tecnológicas que, ao longo das últimas décadas, têm sido grandes aliadas no processo de ensino e aprendizagem graças as inúmeras possibilidades didáticas que podem oferecer para a melhoria da qualidade da Educação, contribuindo para o desenvolvimento de competências e habilidades dos estudantes. Valente (2001) destaca que a simulação virtual

envolve a criação de modelos dinâmicos e simplificados do mundo real. Estes modelos permitem a exploração de situações fictícias, de situações com risco, como manipulação de substância química ou objetos perigosos; de experimentos que são muito complicados, caros ou que levam muito tempo para se processarem (p.11).

No ensino de Física, essas ferramentas didáticas têm sido cada vez mais utilizadas para o estudo de fenômenos demasiadamente abstratos e difíceis de serem representados. Dessa forma, as simulações são consideradas alternativas didáticas para o enfrentamento desses entraves, e que têm, por consequência, a capacidade de favorecer a compreensão de fenômenos físicos através de suas visualizações, estimulando a curiosidade dos sujeitos afim de motivá-los a estudar e aprender, resultando em uma superação da condição passiva do estudante através do estímulo à uma postura ativa no processo de ensino e aprendizagem (HECKLER; SARAIVA; FILHO, 2007).

Nessa perspectiva, o uso de simulações virtuais no ensino de Física traduz-se como uma ferramenta capaz de promover avanços na aprendizagem por serem capazes de superar entraves como a ausência de laboratórios nas escolas, o alto custo de materiais, a falta de tempo, bem como professores não formados na área e não capacitados para o desenvolvimento de atividades laboratoriais, o que dificulta o processo de ensino e aprendizagem. Pensando nisso, Coelho (2002) acredita que a utilização desses recursos tecnológicos no ensino de Física se dá:

[...] pela óbvia vantagem que tem como ponte entre o estudo do fenômeno da maneira tradicional (quadro-e-giz) e os experimentos de laboratório, pois permitem que os resultados sejam vistos com clareza, repetidas vezes, com um grande número de variáveis envolvidas (p.39).

Em março de 2020, o Brasil e o mundo foram assolados pela pandemia da Covid-19, doença causada por um novo coronavírus, denominado SARS-CoV-2. Nesse contexto pandêmico, buscando conter a disseminação do vírus, medidas e protocolos de isolamento e distanciamento social com o objetivo de diminuir os impactos causados pela doença. Nesse contexto, as escolas passaram a adotar a modalidade remota de ensino diante da impossibilidade de aulas presenciais em todo o sistema educacional.

Diante da nova modalidade de ensino, o profissional docente precisou reelaborar a sua prática pedagógica afim de que o processo de ensino e aprendizagem se mantivesse mesmo diante da adversidade pandêmica. Nesse sentido, para Silva & Peixoto (2020), o sistema utiliza plataformas digitais que estejam disponíveis, que sejam confiáveis e proveitosas como soluções remotas para a Educação durante o período de crise sanitária. Pensando nisso, as simulações virtuais surgem, mais uma vez, como grandes aliadas no ensino de Física diante de um contexto de isolamento social e de enfrentamento de entraves que dificultam a visualização e a compreensão de conceitos e fenômenos físicos associados a realidade estudantil.

O uso das simulações virtuais no ensino de Física surge como possibilidade didática de auxílio ao professor no enfrentamento das dificuldades encontradas ao ministrar aulas de temas de difícil compreensão por parte dos alunos, bem como para servir de alternativa para a apresentação de fenômenos que não podem ser observados em laboratório por ausência desses ou falta de capacitação do profissional docente. Com isso, Santos, Coelho e Bulegon (2017, p. 86) afirmam que o uso de simulações virtuais proporciona uma aprendizagem mais dinâmica e interessante, com o objetivo de construir, de maneira significativa, o conhecimento nos diferentes níveis de aprendizagem dos estudantes.

### 2.3 O PhET

O PhET é um projeto de um laboratório virtual, desenvolvido pela Universidade do Colorado (EUA), que disponibiliza simulações interativas e gratuitas de Matemática e Ciências para uso em Educação. O software testa e avalia as simulações com base em pesquisas científicas a fim de assegurar sua eficácia educacional, com objetivo de propor a aprendizagem através da interação aluno-simulação (PHET, 2022).

No ensino de Física, o PhET surge como um grande aliado no processo de ensino e aprendizagem de temas de difícil compreensão, pois, para Carraro & Pereira (2014), o software

[..] age como facilitador e motivador no processo de ensino e aprendizagem. Busca-se colocar o estudante mais ativo no processo de ensino de forma que observe os modelos físicos, avance na construção de conceitos, leis e teorias, colete dados das simulações, elabore hipóteses e teste a validade das mesmas, confronte o seu conhecimento prévio com o conhecimento científico, questione, estabeleça relação entre a teoria e prática na compreensão dos fenômenos físicos presentes no seu dia a dia (p. 3).

Sendo assim, o simulador virtual PhET emerge com uma ferramenta didática importante para o auxílio ao profissional docente que precisa lidar com as dificuldades



do ensino de Física em um contexto de dificuldades de compreensão e correlação do que é estudado com a realidade do estudante, intensificados pelo contexto pandêmico atual em que estamos inseridos.

### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa. Segundo Minayo (1995), esse tipo de abordagem

trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis (p. 21-22).

Quanto aos fins, a pesquisa é caracterizada como descritiva por, segundo Vergara (2000), expor as características de determinada população ou fenômeno, estabelecer correlações entre variáveis e definir sua natureza.

Na etapa de organização do instrumento de observação definimos os simuladores que fariam parte da pesquisa: simulação Interferência de Onda e Interferência Quântica.

A coleta de dados ocorreu por meio do manuseio dos simuladores utilizados com o objetivo de observar, através dos mesmos, o comportamento dual de partículas luminosas.

O instrumento de coleta utilizado foi a captura de tela por se tratar de uma importante instrumento para pesquisas com o uso de recursos computacionais.

A análise dos dados se deu através da identificação e observação das relações existentes entre os simuladores e os estudos do fenômeno da dualidade onda-partícula através dos dados obtidos com as simulações virtuais.

#### 3.1 Descrição dos Simuladores Virtuais Utilizados

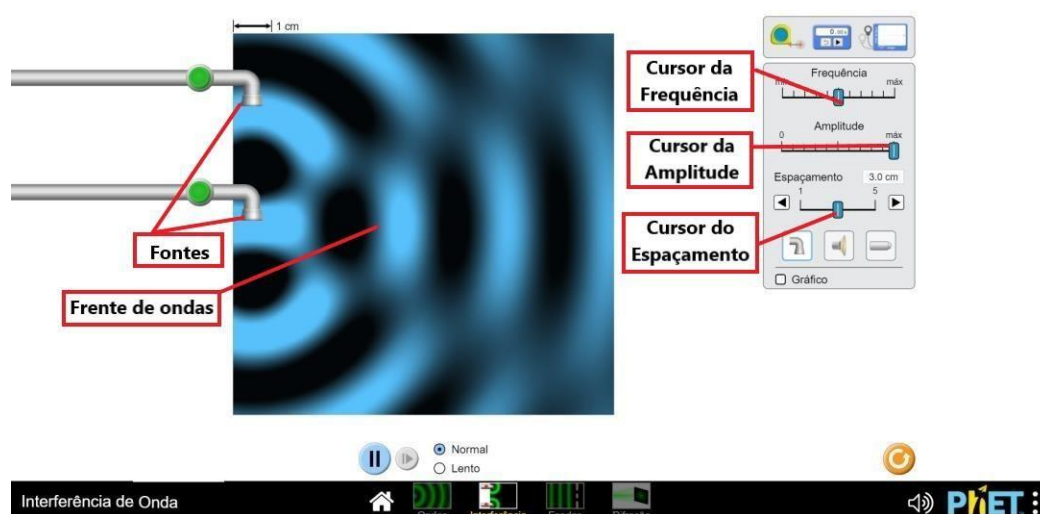
##### 3.1.1 *Simulador Interferência de Onda*

Com o simulador em questão, é possível observar a interação entre ondas mecânicas produzidas por duas fontes síncronas separadas por uma distância  $d$  sobre uma superfície aquosa, com regiões claras, denominadas cristas, e escuras, conhecidas como vales. Ao interagirem, as frentes de onda produzidas passam a se sobrepor.

Quando alteramos a frequência e a amplitude das ondas produzidas pelas gotas de água, controlamos o número de oscilações delas por um certo intervalo de tempo e a distância entre cristas e vales, respectivamente.

A Figura 2 mostra a interface inicial da simulação utilizada.

**Figura 2 – Simulador Interferência de Onda**



Fonte: PhET (2022)

A Tabela 1 discrimina as ferramentas da simulação em questão.

**Tabela 1 – Ferramentas do Simulador Interferência de Onda**

Fontes	Produzem ondas ou pulsos contínuos de água, vibrações sonoras ou luz
Frente de ondas	Exibe as ondas formadas por cristas e vales
Cursor da Frequência	Ajusta a frequência das ondas emitidas, analogamente ao comprimento de onda das mesmas
Cursor da Amplitude	Ajusta a amplitude das ondas, ou seja, a distância entre as cristas e os vales
Cursor do Espaçamento	Controla a distância entre as duas fontes emissoras

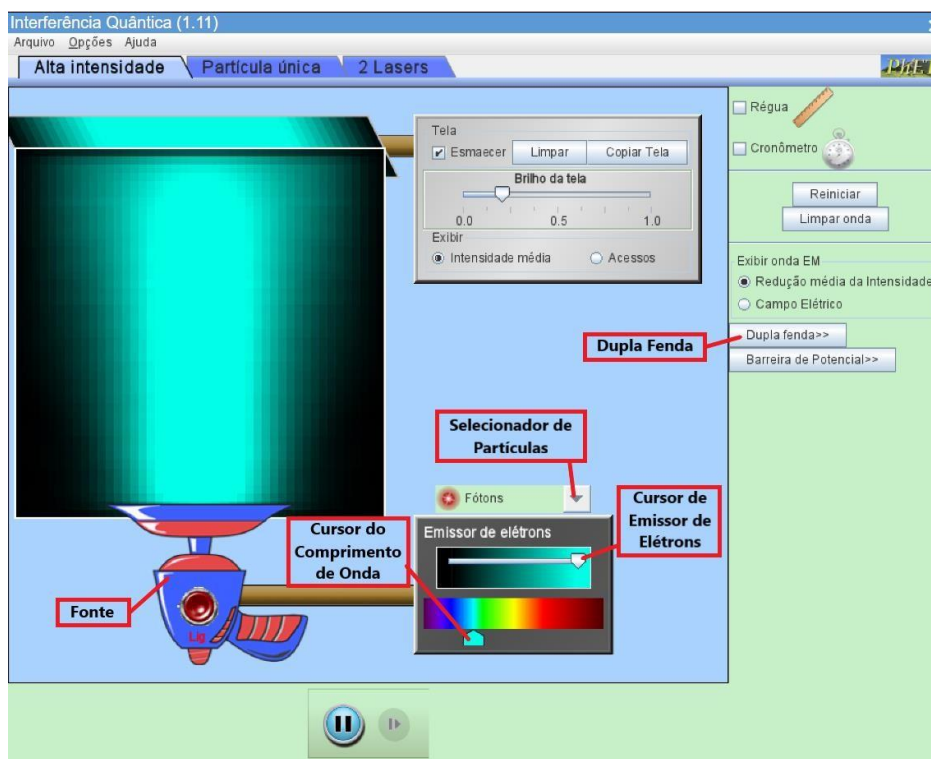
Fonte: a autora

### 3.1.2 *Simulador Interferência Quântica*

O simulador virtual de Interferência Quântica do PhET nos permite visualizar o comportamento de uma onda entre as fendas e a tela de projeção, afim de explicar, através do experimento simulado da dupla fenda, como a matéria e a luz apresentam um comportamento ondulatório. Somado a isso, é possível observar o comportamento de uma onda na presença de um detector e a relação do padrão de interferência com o comprimento de onda.

A Figura 3 mostra a interface inicial da simulação utilizada.

**Figura 3 – Simulador Interferência Quântica**



Fonte: PhET (2022)

A Tabela 2 discrimina as ferramentas da simulação em questão.

**Tabela 2 – Ferramentas do Simulador Interferência Quântica**

Fonte	Emitte feixes de partículas
Selecionador de Partículas	Permite escolher as partículas que serão emitidas, entre fótons, elétrons, nêutrons, e átomos de hélio
Cursor de Emissor de Partículas	Ajusta a intensidade emitida pela fonte, ou seja, a quantidade de partículas que incidem na tela
Cursor de Comprimento de Onda	Ajusta o comprimento de onda das partículas emitidas
Dupla Fenda	Permite inserir fendas duplas na simulação, bem como ajustar o tamanho, a distância e a posição delas, assim como inserir detector de partículas em cada uma

Fonte: a autora

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

### 4.1 Simulação Interferência de Onda

A partir da discussão realizada ao longo deste trabalho, foram coletados resultados com a utilização das simulações a fim de interligarmos os conceitos físicos Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 17 de fevereiro de 2022.

do comportamento dual de uma partícula ao manuseio das simulações para o ensino do tema.

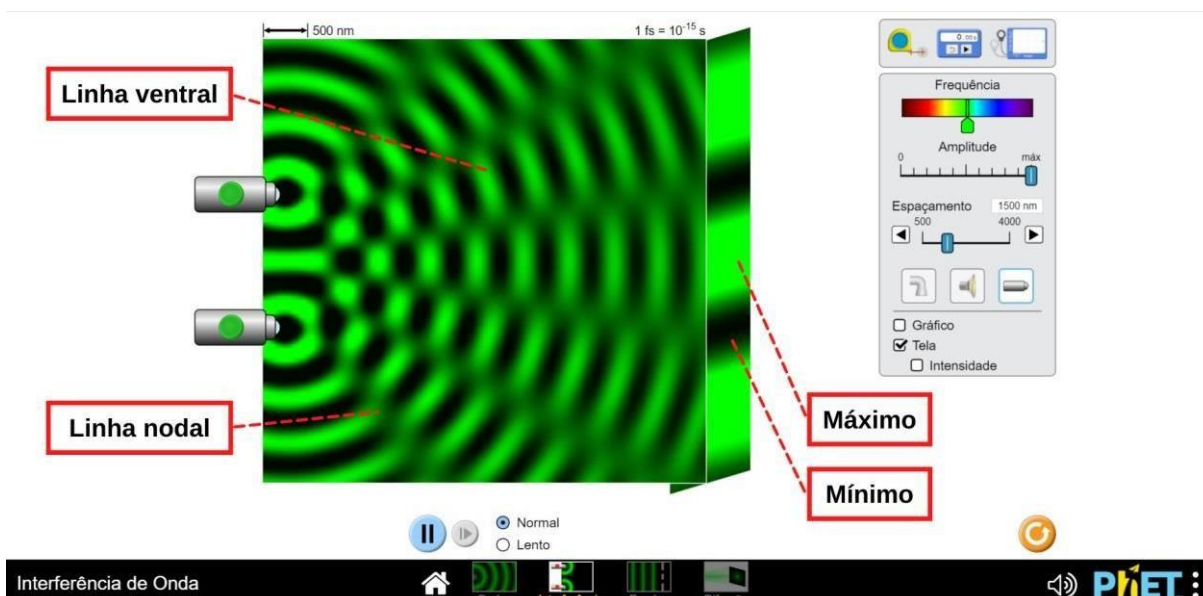
Ao atentarmos para o comportamento de ondas produzidas por duas fontes luminosas, podemos observar, através da projeção em uma tela, franjas em que a onda se propaga, representadas pela sobreposição de cristas e vales e denominadas de linhas ventrais, e regiões escuras onde a mesma onda parece não estar se propagando, representadas por nós e denominadas de linhas nodais. Isso ocorre graças a um fenômeno denominado de padrão de interferência.

Calçada e Sampaio (2001) definem:

Quando duas (ou mais) ondas atingem simultaneamente um dado ponto de um meio no qual se propagam, esse ponto sofre um efeito resultante da “soma” dos efeitos que cada onda produziria isoladamente no ponto. A esse fenômeno dá-se o nome de interferência. A interferência é um fenômeno localizado, ficando restrito ao local onde ocorre a superposição das ondas. Vale o denominado princípio da independência das ondas: nos demais pontos do meio em que não há superposição, os efeitos produzidos por uma onda ocorrem como se a outra não existisse (p. 416-17).

Como podemos observar na Figura 4, os pontos iluminados, chamados de máximos, representam a ocorrência de uma interferência construtiva, enquanto os pontos escuros, chamados de mínimos, representam a ocorrência de uma interferência destrutiva.

**Figura 4 – Descrição do Padrão de Interferência**



Fonte: PhET (2022)

A interferência construtiva ocorre quando duas ondas em fase, ou seja, com  $\theta$  que representa a diferença de fase entre duas ondas igual a  $0^\circ$ , se encontram e se somam. Por outro lado, quando essas mesmas ondas se encontram em fases opostas, ou seja, quando suas amplitudes não coincidem, elas cancelam-se, isso é o

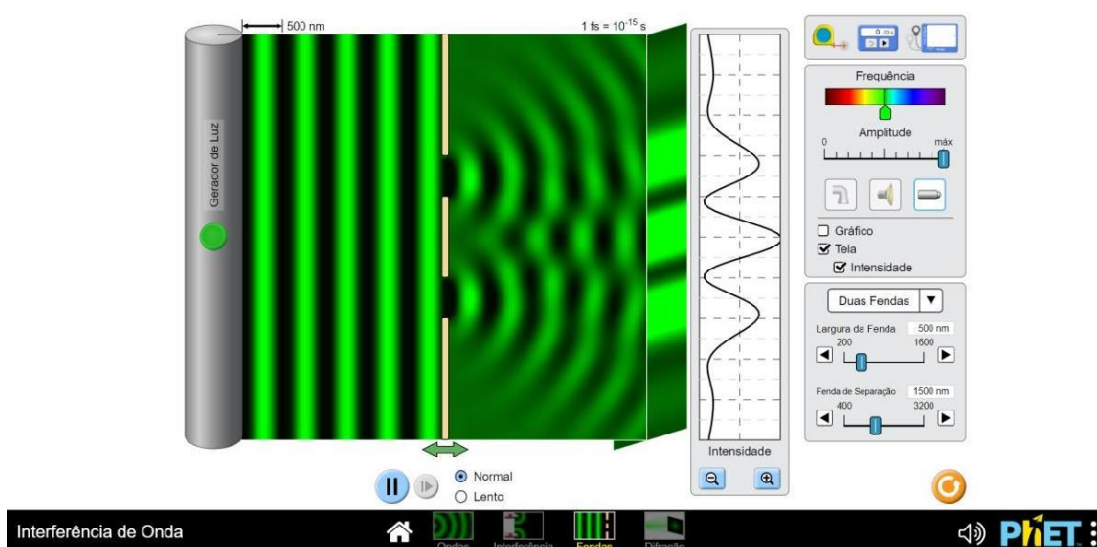
Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 17 de fevereiro de 2022.

que chamamos de interferência destrutiva.

Ao utilizar uma fonte que produz ondas planas direcionadas a uma barreira com uma fenda simples, é possível identificar que, ao se deparar com o obstáculo, a onda consegue contorná-lo, o que descreve o fenômeno da difração.

Quando dispomos de duas fendas, demonstradas na Figura 5, há a presença dos dois fenômenos anteriormente citados. Em princípio, as ondas contornam as fendas presentes no obstáculo, caracterizando um padrão de difração. Em seguida, o espalhamento da onda difratada cria um padrão de interferência que é projetado em tela.

**Figura 5 – Descrição dos fenômenos de difração e interferência em uma fenda dupla**



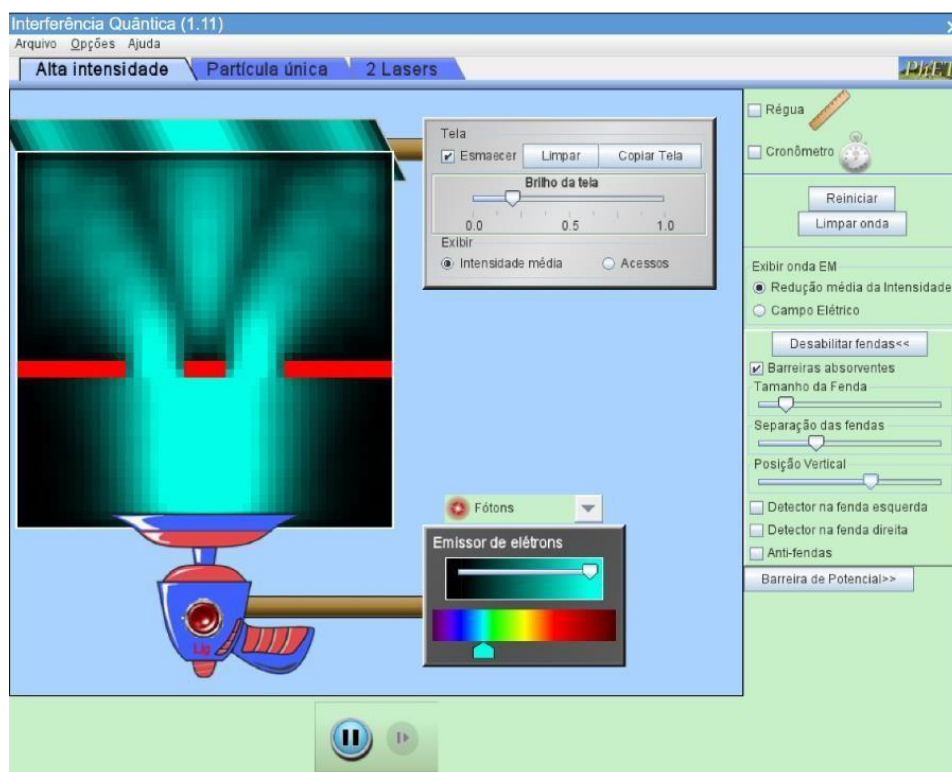
Fonte: PhET (2022)

A simulação em questão nos permite utilizar ferramentas didáticas para a compreensão dos fenômenos observados. Neste caso, podemos identificar os fenômenos ondulatórios que ocorrem quando dispomos de fontes diversas, como gotas de água e luz, com a presença ou não de obstáculos ao longo do meio de propagação das ondas observadas, permitindo analisar o comportamento final das frentes de onda em tela.

## 4.2 Simulação Interferência Quântica

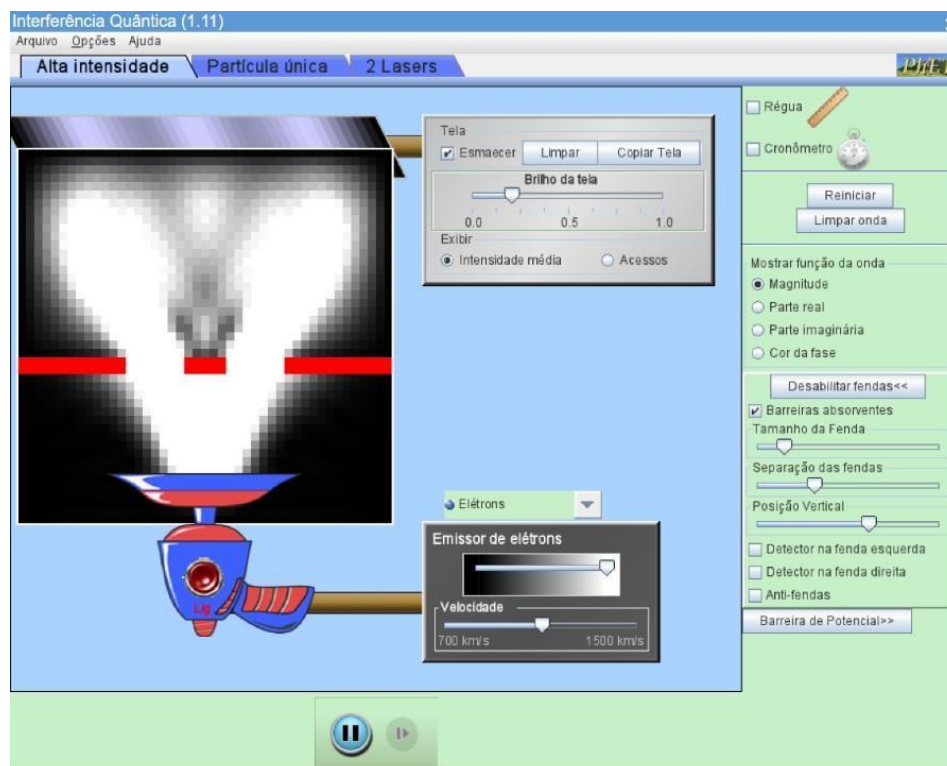
O simulador virtual de Interferência Quântica do PhET nos permite trabalharmos com fótons, elétrons, nêutrons e átomos de Hélio. Nos domínios deste trabalho, utilizamos apenas fontes emissoras de fótons e elétrons, como mostram as Figuras 6 e 7.

**Figura 6 – Simulador de Interferência Quântica com fótons**



Fonte: PhET (2022)

**Figura 7 – Simulador de Interferência Quântica com elétrons**



Fonte: PhET (2022)

Quando dispomos de duas fendas, há a presença dos dois fenômenos anteriormente citados. Em princípio, as ondas contornam as fendas presentes no obstáculo, caracterizando um padrão de difração. Em seguida, o espalhamento da onda difratada cria um padrão de interferência que é projetado em tela.

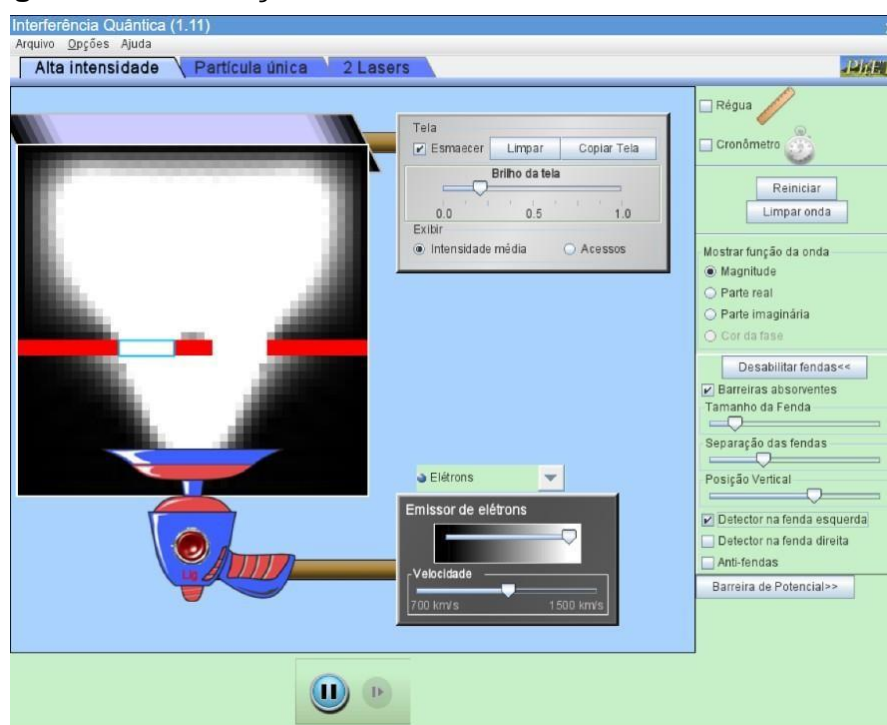
Em um contexto de alta intensidade, ou seja, de alto fluxo de partículas sendo emitidas, é possível observar o comportamento de um feixe paralelo propagando-se em direção a uma tela e esbarrando em uma fenda dupla durante o percurso, como observado anteriormente nas Figuras 6 e 7. Em relação as fendas, pode-se modificar os seus tamanhos, a distância entre elas e suas posições ao longo do trajeto, bem como é permitido inserir detectores de partículas em cada uma delas.

Assim como na simulação discutida na seção anterior, é possível observar os padrões de difração e interferência apresentados pelas partículas, onde as mesmas contornam as fendas dispostas no obstáculo e, em seguida, produzem ondas que interferem entre si, caracterizando os comportamentos ondulatórios citados, respectivamente.

Sabe-se que os elétrons são partículas atômicas e que se comportam como matéria. Entretanto, na simulação em questão, a projeção de elétrons sobre a tela é determinada pela intensidade de duas ondas de matéria que interferem entre si. Isso significaria que o mesmo elétron ao atravessar as duas fendas, interfere consigo mesmo, comportando-se como uma onda.

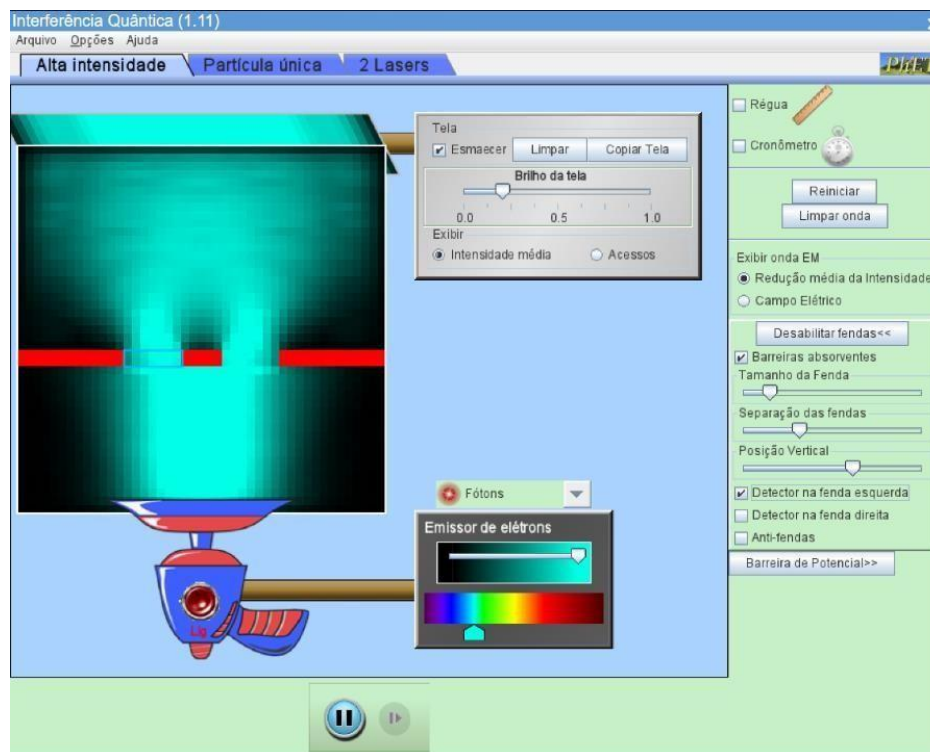
Como não podemos determinar por qual fenda o elétron passou, surge a necessidade de utilizar um detector de elétrons para observar o fenômeno, demonstrado nas Figuras 8 e 9. O mesmo acontece quando observamos um feixe de fótons incidir sobre a tela.

**Figura 8 – Destruição do Padrão de Interferência com elétrons**



Fonte: PhET (2022)

**Figura 9 – Destruição do Padrão de Interferência com fótons**



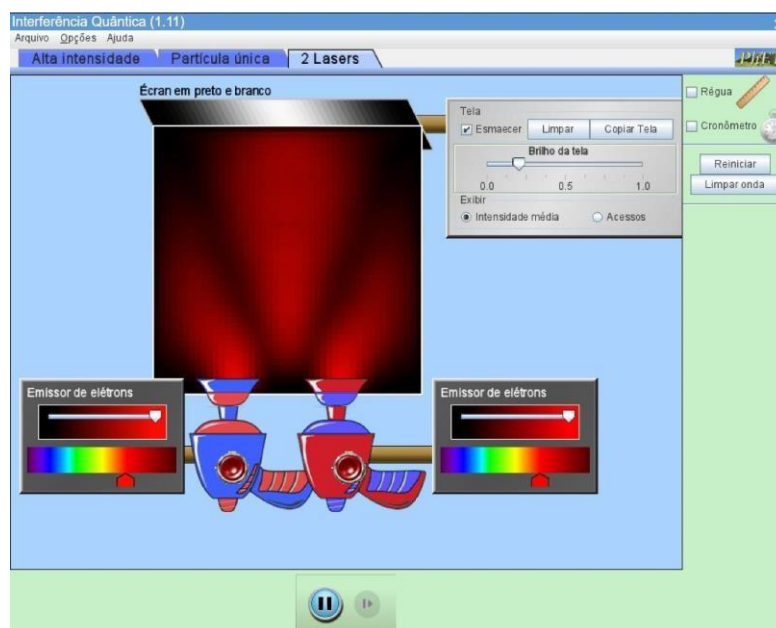
Fonte: PhET (2022)

Ao adicioná-lo, fica evidente que o padrão de interferência é destruído, isso porque o simples ato de medir o caminho das partículas destrói o padrão de interferência, que é muito delicado. Isso faz com que o elétron e o fóton revelem seus caminhos, comportando-se agora como partículas clássicas. Fica explícito, portanto, a impossibilidade de observar o padrão de interferência e, ao mesmo tempo, determinar por qual fenda uma partícula quântica passa, pois viola o Princípio da Incerteza de Heisenberg.

Ao executar a simulação, ainda é possível relacionar o padrão de interferência ao comprimento de onda dos elétrons emitidos. Como podemos observar nas Figuras 10 e 11, quando duas fontes de mesmo comprimento de onda, ou de mesma coloração, são emitidas simultaneamente fica evidente a presença de um padrão de interferência, o que não ocorre quando se emite dois feixes de elétrons com comprimentos de onda diferentes, fazendo com que o padrão em questão colapse.

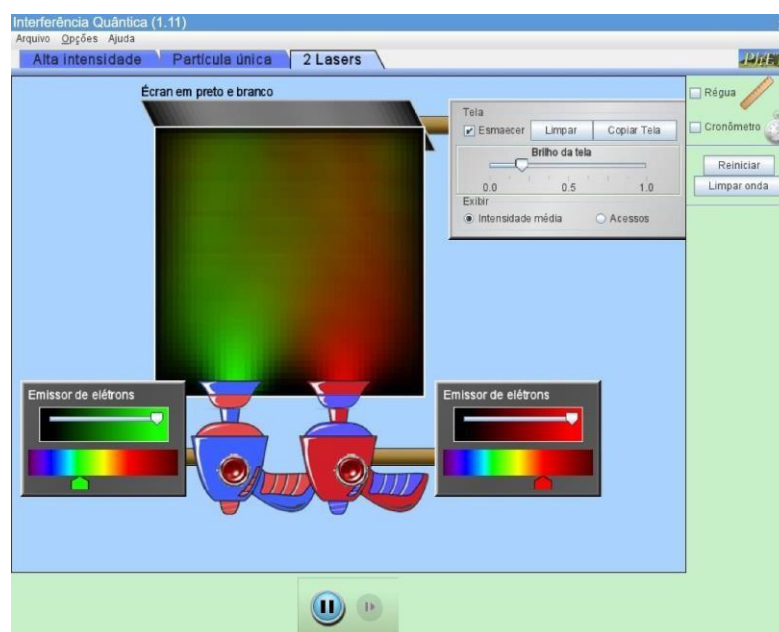


**Figura 10 – Destruição do Padrão de Interferência com elétrons**



Fonte: PhET (2022)

**Figura 11 – Destruição do Padrão de Interferência com fótons**



Fonte: PhET (2022)

As simulações em questão surgem como ferramentas didáticas para a compreensão dos fenômenos observados. Neste caso, podemos relacionar as interpretações clássicas e modernas do comportamento da luz, ora partícula, ora onda, com padrões ondulatórios de interferência e difração, ambos em um mesmo experimento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, buscamos analisar a utilização dos simuladores virtuais Interferência de Onda e Interferência Quântica do PhET como recursos didáticos no estudo da dualidade onda-partícula.

Os resultados evidenciaram uma consonância entre as teorias que regem a discussão do comportamento dual da luz e o que é observado no manuseio das simulações em questão. Somado a isso, destacamos a importância e o benefício das mesmas no auxílio no processo de ensino e aprendizagem possibilitando a exploração do tema afim de colaborar na sua compreensão através da visualização dos experimentos de maneira virtual.

Diante disso, a utilização de simulações virtuais no ensino de Física revela-se como alternativas didáticas para o estudo de fenômenos de difícil compreensão e visualização, por demandarem poder de abstração dos estudantes, por exigirem materiais de alto custo ou por não serem possíveis de realizar em laboratórios escolares, seja por ausência ou precariedade dos mesmos.

Para Smetana e Bell (2012), a utilização de simulações virtuais, excepcionalmente no ensino de Física, pode ser tão eficaz, senão mais, quanto outras práticas mais tradicionais na promoção do aprendizado de conceitos científicos, desenvolvimento de habilidades e reestruturação dos conhecimentos prévios dos alunos.

Em síntese, podemos dizer que os resultados apontam contribuições para o ensino de Física. Consideramos que a utilização de simuladores virtuais poderá contribuir para o estudo de fenômenos físicos na perspectiva de um ensino e aprendizagem de qualidade.

## 6 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. S. **Ensino da dualidade onda-partícula por meio de vídeos de experimentos**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2018.
- CALÇADA, C. S., SAMPAIO, J. L. **Física – Volume Único**. 1a ed., Atual, São Paulo, 2001.
- CARRARO, F. L., & PEREIRA, R. F. **O uso de simuladores virtuais do PhET como metodologia de ensino de eletrodinâmica**. In: Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE, Cadernos PDE, v. 1, 2014. Disponível em: <[http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes\\_pde/2014/2014\\_uem\\_fis\\_artigo\\_francisco\\_luiz\\_carraro.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_francisco_luiz_carraro.pdf)>. Acesso em: 06 jan. 2022.
- COELHO, R. O. **O uso da informática no ensino de Física de nível médio**. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2002.

GRECA, I. M., SEOANE, E., ARRIASSECQ, I. **Epistemological issues concerning computer Simulations in science and their implications for science education.** Science & Education, Millsboro, v. 23, p. 879-921, 2014.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física.** v. 1. 10.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física.** v. 2. 10.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física.** v. 4. 10.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

HECKLER, V.; SARAIVA, M. F. O.; FILHO, K. S. O. **Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica.** Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n2/a11v29n2> Acesso em: 11 jan. 2022.

KENSKI, V. M. **Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação.** 1. ed. Campinas: Papirus, 2007.

MARTINS, R. A., ROSA, P. S. **História da teoria quântica: a dualidade ondapartícula, de Einstein a De Broglie.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

MENEZES JR, R. S., LORDÊLO, F. S. **Uma análise de experimentos de corpos em movimento no éter sob a perspectiva da teoria ondulatória da luz de Fresnel.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, nº 2, 2019.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. (Org.). **Pesquisa Social: Teoria, Método e Criatividade.** Petrópolis: Vozes, 1995.

MOURA, B. A. Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, p. 111-141, 2016.

NEWTON. **Óptica.** São Paulo: Edusp, 1996.

PhET – Physics Education Technology. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 22 dez. 2021.

PESSOA JR., O. **Interferometria, Interpretação e Intuição: uma Introdução Conceitual à Física Quântica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, 19(1), p. 27-48, 1997.

PIETROCOLA, M. **Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, 10(2), 157-172, 1993b.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da Física clássica.** EditoraLivraria da Física, São Paulo, 1ª edição, p. 89-116, 2016.

REGISTRO, E. L., SCAPIN, R. H. e MARENKA JR., E. **Uma proposta de integração da internet ao ensino de Física do curso médio das escolas da rede pública.** In: VI CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, [S.I.], [s.d.]. ANAIS. Disponível em: [http://www.abed.org.br/antiga/htdocs/paper\\_visem/rafael\\_scapin.htm](http://www.abed.org.br/antiga/htdocs/paper_visem/rafael_scapin.htm). Acesso em: 17 jan. 2022.

SANTOS, D. S; COELHO, F. B. O; BULEGON, A. M. **'Uso de simulador no ensino**

**de Física: unidade de aprendizagem para o estudo de eletrostática'**. In: 7º Simpósio Hipertexto e Tecnologias na Educação e 3º Colóquio Internacional de Educação com Tecnologias, 2017, Recife. 7º Simpósio Hipertexto e Tecnologias na Educação, 2017.

SILVA, J. S., GERMANO, J. S. E., MARIANO, R. S. SimQuest – ferramenta de modelagem computacional para o ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 1508-1 a 1508-8, 2011.

SILVA, F. C. S. & PEIXOTO, G. T. B. **Percepção dos professores da rede estadual do Município de São João da Barra-RJ sobre o uso do Google Classroom no ensino remoto emergencial**. Research, Society and Development, v. 9, n. 10, p. 1-24, 2020.

SMETANA, L. K., BELL, R. L. Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, Abingdon, Volume 34, Issue 9, Pages 1337-1370, 2012.

VALENTE, J. A. **Diferentes usos do computador na Educação**. 2001. Disponível em:

<<http://www.mrherondomingues.seed.pr.gov.br/redeescola/escolas/27/1470/14/arquivos/File/PPP/Diferentesu-sosdocomputadoreducacao.PDF>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

WEBBER, M. C. M.; RICCI, T. R. Inserção de mecânica quântica no ensino médio: uma proposta para professores. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v.17, n.5, 2006.