



MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO LATU SENSU EM TECNOLOGIAS DIGITAIS
APLICADAS À EDUCAÇÃO – TECDAE

MARCOS FABRÍCIO LOPES ALVES

**ENSINO DE FÍSICA UTILIZANDO TECNOLOGIAS DIGITAIS:
RECURSOS MULTIMÍDIA APLICADOS AO ENSINO DE ONDAS
GRAVITACIONAIS NO ENSINO MÉDIO**

PETROLINA - PE

2024

MARCOS FABRÍCIO LOPES ALVES

**ENSINO DE FÍSICA UTILIZANDO TECNOLOGIAS DIGITAIS:
RECURSOS MULTIMÍDIA APLICADOS AO ENSINO DE ONDAS
GRAVITACIONAIS NO ENSINO MÉDIO**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Digitais Aplicadas à Educação - TECDAE, ofertado pelo campus Petrolina do Instituto Federal do Sertão Pernambucano, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Tecnologias Digitais Aplicadas à Educação.

Orientador(a): Prof. Dr. Júlio César Mota Silva
Linha de Pesquisa: Tecnologias Móveis e Recursos Digitais na Educação

PETROLINA - PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A474 Alves, Marcos Fabrício Lopes.

Ensino de Física utilizando Tecnologias Digitais : Recursos Multimídia aplicados ao ensino de Ondas Gravitacionais no ensino médio / Marcos Fabrício Lopes Alves. - Petrolina, 2025.
48 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Tecnologias Digitais Aplicadas à Educação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Júlio Cesar Mota Silva.

1. Tecnologia educacional. 2. Ensino de Física. 3. Ondas Gravitacionais. 4. Interferômetro de Michelson. I. Título.

CDD 371.334



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **ENSINO DE FÍSICA UTILIZANDO TECNOLOGIAS DIGITAIS: RECURSOS MULTIMÍDIA APLICADOS AO ENSINO DE ONDAS GRAVITACIONAIS NO ENSINO MÉDIO**, sob orientação de Julio Cesar Mota Silva, apresentada pelo aluno **Marcos Fabrício Lopes Alves (202327220075)** do Curso **ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS DIGITAIS APLICADAS A EDUCAÇÃO - TecDAE_UAB (Petrolina)**. Os trabalhos foram iniciados às 13:00h pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Julio Cesar Mota Silva** (Presidente)
- **Wellington dos Santos Souza** (Examinador Interno)
- **Antonildo Santos Pereira** (Examinador Interno)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado

Reprovado

Nota (quando exigido): 90

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Julio Cesar Mota Silva** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.



Documento assinado digitalmente
ANTONILDO SANTOS PEREIRA
Data: 13/12/2024 16:16:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Petrolina / PE, 29/11/2024



Documento assinado digitalmente
WELLINGTON DOS SANTOS SOUZA
Data: 13/12/2024 10:01:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Antonildo Santos Pereira

Julio Cesar Mota
Silva:07191769483

Assinado de forma digital por Julio Cesar
Mota Silva:07191769483
Dados: 2024.12.12 12:00:33 -03'00'

Julio Cesar Mota Silva

Wellington dos Santos Souza

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Toda etapa concluída marca novos inícios. E a dificuldade de chegar ao final torna mais prazerosa e digna de celebração a conclusão dos ciclos. Chegar ao término desse curso não foi tão fácil quanto pareceria a princípio, mas aqui estamos. E não seria dessa forma não fossem algumas figuras centrais em minha vida.

Primeiro, gostaria de salientar a importância da educação na minha vida. E dessa forma, agradecer a todos os professores que tive, tenho e ainda terei nessa jornada de profissional da educação. É preciso continuar com postura de estudante, para compreender os anseios e lutas dos meus estudantes!

Segundo, os discentes os quais tenho contribuído singelamente para sua formação ao longo de uma década e uns anos mais, como professor de Física. Lecionar é, sobretudo, aprender com as experiências e diferenças de cada um deles. Essa interação molda continuamente o meu ser, de forma positiva, de modo que posso seguramente afirmar que hoje sou melhor do que era antes do magistério. Por isso, não poderia deixar de agradecer a todos os que passaram pelas minhas aulas.

Por fim, minha família é minha bússola. Agradeço a cada um dos meus irmãos e sobrinhos, que contribuem para manter-me firme na busca pelos meus objetivos. A minha amada mãe, que me criou, cuidou e me forneceu toda a sólida base para ser uma pessoa íntegra, resiliente e perseverante, dando-me forças para lutar contra as intempéries da existência. Ao meu pai, que não está mais aqui, mas que de onde estiver me olha e me guarda de todo o mal. E por último, mas não menos importante, minha esposa, que está sempre ao meu lado, nos bons e maus momentos, e com todo seu amor, torna os momentos difíceis mais fáceis. Sem ela, certamente nada disso seria possível. Uma menção especial a minha filha, que chegou há pouco, trazendo mais luz para a minha vida. Ela é o motivo pelo qual luto incansavelmente para ir até o fim, para que ela tenha orgulho do seu velho e cansado pai.

A todos estes, meu muito obrigado!

Você pode perguntar por que não podemos ensinar física apenas escrevendo as leis básicas em uma página e então mostrando como elas funcionam em todas as possíveis circunstâncias (...) Não podemos fazê-lo dessa forma por dois motivos.

Primeiro, ainda não *conhecemos* todas as leis básicas: existe uma fronteira de ignorância em expansão. Segundo, o enunciado correto das leis da física envolvem algumas ideias pouquíssimo familiares que exigem uma matemática avançada para sua descrição. Portanto, é necessária uma grande preparação até mesmo para entender o que as *palavras* significam. Não, não é possível fazê-lo dessa forma. Só podemos fazê-lo passo a passo.

(Richard Feynman, Lições de Física volume 1, 2008)

RESUMO

O presente trabalho aborda a aplicação de recursos multimídia no ensino de ondas gravitacionais no nível médio, visando enriquecer a compreensão dos alunos sobre esse fenômeno complexo da física moderna. Valendo-se da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM) como base para a fundamentação da utilização de recursos multimídia diversos, em especial, uma simulação computacional interativa do artefato tecnológico conhecido como Interferômetro de Michelson, que corresponde ao instrumento utilizado para a realização da detecção experimental das ondas gravitacionais, desenvolve uma sequência didática de ensino, e discute os possíveis impactos da aplicação dessa sequência a uma turma de 3º ano do Ensino Médio. Seu objetivo é proporcionar a atualização do ensino de Física, contribuindo para um ensino mais atrativo e próximo do contexto científico e tecnológico no qual os discentes encontram-se inseridos, através da proposta de uma sequência didática de ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio.

Palavras-Chave: Ensino de Física. Ondas Gravitacionais. Interferômetro de Michelson.

ABSTRACT

This paper addresses the application of multimedia resources in teaching gravitational waves at the high school level, aiming to enrich students' understanding of this complex phenomenon of modern physics. Using the Cognitive Theory of Multimedia Learning (TCAM) as a basis for the use of various multimedia resources, in particular, an interactive computer simulation of the technological artifact known as the Michelson Interferometer, which corresponds to the instrument used for the experimental detection of gravitational waves, it develops a didactic teaching sequence and discusses the possible impacts of applying this sequence to a class of 3rd year high school students. Its objective is to provide an update on the teaching of Physics, contributing to a more attractive teaching that is closer to the scientific and technological context in which students are inserted, through the proposal of a didactic teaching sequence of Modern and Contemporary Physics in high school.

Keywords: Physics Teaching. Gravitational Waves. Michelson interferometer.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTML – Cognitive Theory of Multimedia Learning (Teoria Cognitiva do Aprendizado Multimídia)

FC – Física Clássica

FMC – Física Moderna e Contemporânea

LIGO – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser)

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

U.S. NSF – National Science Foundation (Fundação Nacional da Ciência dos Estados Unidos)

CALTECH – California Institute of Technology (Instituto de Tecnologia da Califórnia)

MIT – Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)

LSC – LIGO Scientific Collaboration (Colaboração Científica LIGO)

EGO – European Gravitational Observatory (Observatório Gravitacional Europeu)

LVK – Colaboração LIGO-Virgo-KAGRA

KAGRA – Kamioka Gravitational Wave Detector (Detector de Ondas Gravitacionais Kamioka)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3 METODOLOGIA	23
4 ANÁLISE DOS DADOS (RESULTADOS E DISCUSSÕES)	29
5 CONCLUSÕES (CONSIDERAÇÕES FINAIS)	32
REFERÊNCIAS	34
ANEXO A – PRÉ-TESTE: ONDAS GRAVITACIONAIS E INTERFEROMETRIA	36
ANEXO B – PÓS-TESTE: ONDAS GRAVITACIONAIS E INTERFEROMETRIA	41
ANEXO C – TEXTO " ONDAS GRAVITACIONAIS "	46

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física no Brasil tem a sua frente diversos desafios a enfrentar. O foco excessivo em memorização de fórmulas em detrimento da compreensão de conceitos fundamentais, concentração na mera preparação para provas e avaliações, limitando a profundidade da aprendizagem e aplicação prática dos conceitos, a ausência do desenvolvimento de competências científicas que vão além da simples memorização, e incentivem a curiosidade e o interesse dos alunos (MOREIRA, 2021), além do fato de muitas escolas ainda possuírem estrutura deficiente, com carência de laboratórios de ensino de Física e de Informática, e de grande parte dos docentes em exercício não serem licenciados em Física, são apenas alguns dos diversos problemas apontados no ensino deste componente curricular.

Devido aos problemas supracitados, observa-se uma insistência em um currículo desatualizado, baseado prioritariamente em conteúdos de Física Clássica (FC), aqueles descobertos até o final do século XIX. Embora a pesquisa em Ensino de Física mostre que é crucial a inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea (FMC) para a compreensão de fenômenos e tecnologias atuais, além de promover uma aprendizagem significativa (GOULART; LEONEL, 2020), e até mesmo a Base Nacional Comum Curricular tenha em sua concepção eixos temáticos que permitem a inserção de conteúdos de FMC, quando versa, por exemplo, sobre o eixo temático “Matéria e suas transformações”, e enfatiza a importância de relacionar os conteúdos de Física com questões sociais, tecnológicas e ambientais, promovendo uma abordagem interdisciplinar que contextualiza o aprendizado (BRASIL, 2018; GODOI, 2018), na prática o objeto do ensino de Física na educação básica ainda é a FC.

Como consequência, além da desatualização do ensino, através de um currículo que não reflete os avanços recentes na área da Física, resultando em uma formação científica deficiente para os alunos, o currículo sem FMC pode parecer aos alunos irrelevante para suas vidas e para o mundo atual, uma vez que muitos dos seus conceitos são fundamentais para entender fenômenos contemporâneos, como os relacionados à tecnologia, medicina e energia; dificultar a compreensão de conceitos mais avançados que são frequentemente abordados em cursos superiores, limitando as oportunidades acadêmicas dos alunos; levar à desmotivação dos alunos, que podem não ver a aplicação prática dos conceitos aprendidos; e não prepará-los

para enfrentar desafios e questões contemporâneas que envolvem a Física, como debates sobre energia nuclear, radiações e suas interações, que são relevantes para a sociedade atual (SILVA; CARVALHO; PHILIPPSEN, 2022).

Diante do exposto, faz-se necessário atualizar o ensino de Física, inserindo cada vez mais conteúdos de FMC no currículo escolar. Isso tem sido amplamente realizado através da pesquisa em ensino (MARQUES, et.al., 2019), e o presente trabalho visa oferecer mais uma contribuição nesse sentido, através de uma sequência didática para o ensino de Ondas Gravitacionais.

Neste trabalho propomos uma sequência didática de Ensino de Ondas Gravitacionais para estudantes do 3º ano do ensino médio, através da utilização de uma simulação computacional do Interferômetro de Michelson, dispositivo óptico utilizado para verificação da interferência de ondas luminosas, concebido inicialmente para detecção do meio de propagação das ondas eletromagnéticas, chamado de éter luminífero (SOUZA, et. al., 2019). O interferômetro de Michelson vem sendo utilizado para detectar as ondas gravitacionais, e a comprovação da primeira detecção de tais ondulações no espaço-tempo através de sua utilização rendeu o prêmio Nobel de 2017 a Rainer Weiss, Barry Barish e Kip Thorne. Dessa forma, tem-se a possibilidade de, através do entendimento básico do funcionamento do interferômetro, compreender como se dá a detecção das ondas gravitacionais, e a partir daí é possível discorrer acerca de detalhes maiores a seu respeito. É o que pretende-se fazer através da aplicação da sequência didática objeto deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia

A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (CTML: Cognitive Theory of Multimedia Learning), criada por Richard E. Mayer desde 1989 até o presente, fornece princípios para compreender como as pessoas aprendem a partir de materiais instrucionais que combinam palavras e gráficos (MAYER, 2024). Esta teoria baseia-se nas seguintes ideias centrais: i) Canais duais: os seres humanos possuem canais distintos e separados para o processamento de informações visuais e verbais, o que significa que as informações podem ser simultaneamente processadas através de gráficos (ilustrações, fotos, animações, etc.) e palavras (texto falado ou impresso); ii) Capacidade limitada: o ser humano possui uma enorme limitação na sua capacidade de processamento cognitivo, o que implica que os aprendizes precisam ser capazes de gerir a quantidade de informação recebida para evitar sobrecarga cognitiva; iii) Processamento ativo: o envolvimento do aprendiz em um processo cognitivo adequado, incluindo selecionar informações relevantes, organizá-las em estruturas coerentes e integrá-las com conhecimentos previamente armazenados na memória de longo prazo promove a aprendizagem significativa (ibid.).

2.2. Desafios ao ensino de Física no Brasil

Os principais desafios no ensino da Física incluem (MOREIRA, 2021): foco excessivo em fórmulas; preparação para testes; ausência ou dificuldade de integração de tecnologias digitais; desenvolvimento de competências científicas; conceitualização e modelagem. Para encarar tais desafios, propõe várias estratégias para promover a aprendizagem significativa no ensino da Física: alteração do foco nas fórmulas para conceitos; promoção de situações significativas; uso de modelos e modelagem; avaliação da aprendizagem significativa; despertar o interesse dos alunos; incorporação de Tecnologias Digitais. Dessa forma, o ensino pode ser mais efetivo e a aprendizagem mais significativa.

Outro grande desafio para o ensino e aprendizagem significativa de Física no Brasil diz respeito à estrutura física das escolas, sobretudo as escolas públicas, que muitas vezes não possuem laboratório de ensino de Física equipado com dispositivos

e equipamentos necessários para a realização de aulas práticas. Algumas escolas carecem até mesmo de laboratório de Informática para que os professores possam realizar a utilização de simuladores para tentar contornar a ausência de equipamentos para realização de atividades expositivas e demonstrativas práticas.

2.3. Desenvolvimento histórico da FC e FMC

2.3.1. Antiguidade e o Nascimento da Filosofia Natural

Os gregos antigos deram os primeiros passos para um entendimento racional do universo. Tales de Mileto é considerado um dos primeiros a propor que os fenômenos naturais tinham causas materiais, não sobrenaturais. Aristóteles, por sua vez, criou uma visão abrangente baseada em quatro elementos (terra, água, ar, fogo) e suas qualidades (quente, frio, úmido, seco). Embora suas ideias fossem qualitativas e sem experimentação, dominaram por séculos.

No mesmo período, outras culturas avançaram: os indianos desenvolveram ideias de atomismo e heliocentrismo, enquanto os chineses fizeram descobertas práticas em magnetismo e hidráulica.

2.3.2. Idade Média e Filosofia Islâmica

Com a queda do Império Romano, o conhecimento ocidental declinou, mas foi preservado e ampliado por estudiosos islâmicos como Alhazen (ótica) e Avicena (filosofia e medicina). Esses intelectuais aplicaram métodos sistemáticos e experimentais, preparando o terreno para o Renascimento. A tradução de obras gregas e islâmicas para o latim, durante a Reconquista, reintroduziu esses conhecimentos na Europa.

2.2.3. Renascimento e o Método Científico

A revolução científica nos séculos XVI e XVII trouxe um rompimento com explicações aristotélicas. Nicolau Copérnico propôs o heliocentrismo, desafiando o geocentrismo. Galileu Galilei usou experimentos para validar teorias e enfatizou o uso da matemática. Ele também refinou o telescópio, descobriu as luas de Júpiter e

defendeu a ideia de que os corpos caem com aceleração constante.

Isaac Newton sintetizou séculos de observações com suas leis do movimento e da gravitação universal, publicadas nos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*. Ele demonstrou que as mesmas leis governam os céus e a Terra.

2.3.4. Séculos XVIII e XIX: Física Clássica

Neste período, áreas específicas da Física floresceram:

Termodinâmica: Sadi Carnot investigou a eficiência das máquinas térmicas, e James Joule demonstrou a relação entre calor e energia mecânica, estabelecendo a conservação da energia.

Eletromagnetismo: Michael Faraday introduziu o conceito de campo e demonstrou a indução eletromagnética, enquanto James Clerk Maxwell unificou eletricidade e magnetismo em suas famosas equações. Sua teoria previu as ondas eletromagnéticas, confirmadas por Heinrich Hertz.

Mecânica Estatística: Ludwig Boltzmann e James Clerk Maxwell conectaram a termodinâmica com o comportamento molecular, estabelecendo a base para descrever sistemas macroscópicos em termos de suas propriedades microscópicas.

2.3.5. Física Moderna: Relatividade e Quântica

No início do século XX, fenômenos como o efeito fotoelétrico e a radiação de corpo negro não se ajustavam à Física clássica.

Relatividade: Em 1905, Albert Einstein formulou a teoria da relatividade restrita, introduzindo a equivalência entre massa e energia ($E = mc^2$) e a constância da velocidade da luz. Mais tarde, em 1915, sua teoria da relatividade geral reformulou a gravidade como a curvatura do espaço-tempo.

Mecânica Quântica: Max Planck introduziu a quantização de energia, e Niels Bohr aplicou isso ao modelo atômico. A teoria foi expandida por Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger e Paul Dirac, descrevendo a física de partículas subatômicas e fenômenos probabilísticos.

2.3.6. Física Contemporânea

Com a consolidação da mecânica quântica e da relatividade, a Física contemporânea busca unir as forças fundamentais:

Modelo Padrão: Descreve as partículas fundamentais e suas interações (exceto a gravidade). A descoberta do bóson de Higgs em 2012 foi uma grande vitória.

Astrofísica e Cosmologia: A relatividade geral fundamenta os modelos do Big Bang e a expansão do universo, enquanto a mecânica quântica explica processos nucleares e a formação de estrelas.

Unificação e Física Teórica: A busca pela gravidade quântica, por meio de teorias como cordas ou gravidade quântica em loop, tenta conectar relatividade geral e mecânica quântica.

2.4. O ensino de FMC

O ensino de FMC é visto como uma alternativa para a promoção da melhoria do ensino de Física na educação básica (COSTA, 2021), pois busca a integração de conceitos mais atuais e relevantes ao currículo escolar (MARQUES, et.al., 2019). Destaca-se que a inclusão de tópicos de FMC pode tornar o aprendizado mais significativo e engajador para os alunos, além de alinhar-se com as diretrizes dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (BRASIL, 2000). Os pesquisadores têm se concentrado em desenvolver propostas de intervenção didática que auxiliem no ensino de FMC, sugerindo atividades práticas e recursos didáticos que podem ser aplicados em sala de aula. Essa abordagem visa não apenas a transmissão de conteúdos, mas também a aplicação prática desses conceitos em um ambiente real de ensino-aprendizagem, o que pode contribuir para uma compreensão mais profunda e contextualizada da Física. Além disso, a pesquisa indica que a maior parte dos trabalhos na última década se dedica a sugerir atividades didáticas, refletindo uma mudança de foco dos pesquisadores, que agora buscam mais a implementação de práticas pedagógicas eficazes do que apenas justificar a necessidade de reformulação curricular (ibid.).

O ensino de Ondas Gravitacionais se configura como uma oportunidade para preencher a lacuna na formação em ciências dos alunos da educação básica, especialmente no que diz respeito ao ensino de FMC, por várias razões. O tema das Ondas Gravitacionais é um tópico atual e relevante na Física moderna, que desperta o interesse dos alunos. A inclusão desse conteúdo no currículo escolar permite que

os estudantes tenham acesso a conhecimentos que estão na vanguarda da pesquisa científica, contribuindo para uma formação mais completa e atualizada. O ensino de Ondas Gravitacionais pode despertar a curiosidade dos alunos sobre temas relacionados ao Cosmos, como estrelas, galáxias e buracos negros, não apenas enriquecendo o conhecimento dos alunos, mas também motivando-os a explorar mais sobre a Física e a ciência em geral. A inclusão de tecnologias, como aplicativos e simuladores, que são ferramentas eficazes para o ensino de conceitos complexos, prepara os alunos para um mundo cada vez mais tecnológico e interconectado, onde a ciência e a tecnologia desempenham papéis cruciais.

2.5. Simuladores virtuais e ensino de Física

Os principais benefícios do uso de simuladores virtuais na educação em Física incluem: a promoção de maior engajamento dos alunos, tornando o aprendizado mais dinâmico e interativo; reforço da compreensão de conceitos de ciências naturais, permitindo que os alunos experimentem situações que seriam difíceis ou impossíveis de reproduzir em um laboratório físico; oferecimento de resultados em curto intervalo de tempo, o que é importante para manter os alunos motivados e envolvidos nas atividades; viabilização de um ambiente controlado em que os alunos realizem experimentos, onde podem cometer erros sem consequências reais, facilitando a aprendizagem através da prática; alinhamento com a incorporação de tecnologias digitais no ensino, o que é essencial para a formação de competências científicas nos alunos (SILVA, et. al., 2023).

2.6. Ondas Mecânicas, Eletromagnéticas e Gravitacionais

2.6.1. Ondas Mecânicas

Ondas mecânicas são perturbações que se propagam em meios materiais, exigindo um meio físico para sua transmissão. Essas ondas podem ser classificadas em duas categorias principais: transversais e longitudinais. Nas ondas transversais, as partículas do meio oscilam perpendicularmente à direção de propagação da onda, como ocorre nas ondas em cordas ou em superfícies de água. Já nas ondas longitudinais, as partículas do meio oscilam na mesma direção da propagação, como

é o caso das ondas sonoras, que se propagam através de gases, líquidos e sólidos (SILVEIRA, 2019).

2.6.2. Ondas Eletromagnéticas

Ondas eletromagnéticas são oscilações de campos elétricos e magnéticos que se propagam no vácuo, não necessitando de um meio material para sua transmissão. Essas ondas são caracterizadas por sua velocidade constante no vácuo, que é aproximadamente $3,0 \times 10^8$ m/s, e podem ser classificadas em uma ampla gama de tipos, incluindo micro-ondas, luz visível, raios ultravioleta, raios X e ondas de rádio, cada uma com diferentes comprimentos de onda e frequências. As ondas eletromagnéticas são bastante relevantes no cotidiano, como na comunicação via rádio e televisão, na tecnologia de micro-ondas e na medicina com o uso de raios X (SILVEIRA, 2019).

2.6.3. Ondas gravitacionais

Ondas gravitacionais são perturbações no espaço-tempo causadas por movimentos acelerados de massas, conforme previsto pela Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein. Elas se propagam à velocidade da luz e são geradas por eventos astrofísicos extremos, como a fusão de buracos negros ou estrelas de nêutrons. Tais ondas podem ser descritas como "ondas no espaço-tempo", que provocam expansões e contrações temporárias nas distâncias entre objetos. A primeira detecção direta de ondas gravitacionais ocorreu em 14 de setembro de 2015, quando o detector Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO: Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser) registrou ondas provenientes da fusão de um par de buracos negros, um evento conhecido como GW150914. Essa descoberta confirmou uma previsão fundamental da relatividade e abriu uma nova era na astronomia, permitindo a observação de fenômenos cósmicos de uma maneira completamente nova (BASSALO; CATTANI, 2018).

As ondas gravitacionais são detectadas por meio de interferômetros altamente sensíveis, sendo o LIGO um dos mais conhecidos. O LIGO, é um projeto financiado pela U. S. National Science Foundation (NSF: Fundação Nacional de Ciência dos Estados Unidos) e foi desenvolvido e é operado pelo California Institute of Technology

(CALTECH: Instituto de Tecnologia da Califórnia) e Massachusetts Institute of Technology (MIT: Instituto de Tecnologia de Massachusetts) e de mais de 80 instituições científicas globais, sob a coordenação da LIGO Scientific Collaboration (LSC: Colaboração Científica LIGO). Foi projetado para revolucionar a astrofísica de ondas gravitacionais com a detecção direta dessas ondas, conforme previsto pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Utilizando detectores de interferometria a laser de escala multiquilométrica, o LIGO mede as mínimas ondulações no espaço-tempo causadas por eventos cósmicos como colisões de estrelas de nêutrons ou buracos negros e explosões de supernovas. Ele é composto por dois interferômetros localizados nos EUA: um em Hanford, Washington, e outro em Livingston, Louisiana, que operam em uníssono para detectar ondas gravitacionais (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2024). Tais interferômetros possuem um arranjo de dois braços em forma de "L", cada um com vários quilômetros de comprimento, onde um feixe de laser é dividido e enviado para os dois braços. O princípio básico da detecção é a interferometria, que envolve a medição de diferenças de comprimento entre os dois braços do interferômetro. Quando uma onda gravitacional passa, ela provoca uma distorção no espaço-tempo, fazendo com que um braço se alongue enquanto o outro se encurte. Um feixe de laser é dividido em dois, e cada parte do feixe viaja por um dos braços do interferômetro. Após refletir em espelhos localizados nas extremidades dos braços, os feixes retornam ao ponto de divisão. Quando os feixes de laser se encontram novamente, eles criam um padrão de interferência. Qualquer alteração na distância percorrida por um dos feixes, causada pela passagem de uma onda gravitacional, resulta em mudanças nesse padrão de interferência. O LIGO é projetado para detectar variações extremamente pequenas, da ordem de uma fração do diâmetro de um próton, o que requer tecnologia avançada e um ambiente controlado para minimizar ruídos externos. Além do LIGO, outras colaborações, como a Virgo na Europa, também utilizam interferômetros para detectar ondas gravitacionais, contribuindo para a validação e a localização de eventos astronômicos (BASSALO; CATTANI, 2018). A Colaboração Virgo é uma comunidade que construiu, desenvolveu e opera o detector de ondas gravitacionais Virgo, localizado no Observatório Gravitacional Europeu (EGO), em Cascina, próximo a Pisa, Itália. Seus membros incluem físicos, engenheiros, técnicos, administradores e pesquisadores de diversas universidades e institutos europeus, além de estudantes de graduação e pós-graduação. A Virgo trabalha em parceria com as Colaborações LIGO e KAGRA,

formando a Colaboração LIGO-Virgo-KAGRA (LVK), que coordena as operações dos detectores e a produção de resultados científicos (VIRGO COLLABORATION, 2024). Localizado na mina Kamioka, em Gifu, Japão, o KAGRA (Kamioka Gravitational Wave Detector: Detector de Ondas Gravitacionais Kamioka) é um telescópio subterrâneo que, desde 2010, busca detectar diretamente ondas gravitacionais, em vez de ondas eletromagnéticas. O projeto utiliza tecnologia criogênica avançada para estudar a gravidade, uma força essencial para compreender a estrutura e evolução do universo. O KAGRA tem como objetivo explorar fenômenos como buracos negros, contribuindo para avanços científicos significativos na cosmologia e astrofísica (KAGRA PROJECT, 2024).

2.7. Interferômetro de Michelson

O interferômetro de Michelson é um dispositivo óptico que utiliza o princípio da interferência de luz para medir pequenas distâncias, diferenças de índice de refração e outras propriedades ópticas. Ele é composto por uma fonte de luz, geralmente um laser, que fornece um feixe de luz coerente e monocromático. O feixe de luz é direcionado a um divisor de feixe, que é uma lâmina espessa de material transparente, como acrílico ou vidro. Esse divisor divide o feixe em dois, que seguem caminhos diferentes antes de serem refletidos por dois espelhos. Os espelhos são posicionados de forma precisa, e a montagem deve ser feita sobre uma superfície sólida para minimizar vibrações mecânicas que poderiam afetar a interferência. Após refletirem nos espelhos, os dois feixes retornam ao divisor de feixe, onde se recombina. A interferência entre os feixes pode resultar em franjas de luz e escuridão, que são observadas em um anteparo. Essas franjas de interferência, que são zonas alternadas de luz e escuridão, podem ser utilizadas para medir diferenças de caminho óptico, que podem ser relacionadas a variações de comprimento de onda ou mudanças no índice de refração do meio. O interferômetro de Michelson é amplamente utilizado em diversas áreas da física e engenharia, incluindo medidas precisas de comprimento de onda da luz, determinação do índice de refração de gases e detecção de ondas gravitacionais em experimentos como o projeto Virgo. É uma ferramenta poderosa e versátil que permite a exploração de fenômenos ópticos fundamentais, e sua construção pode ser realizada com materiais de baixo custo, tornando-o acessível para fins educacionais e experimentais (CATELLI; VICENZI, 2004).

2.8. A simulação virtual do interferômetro de Michelson

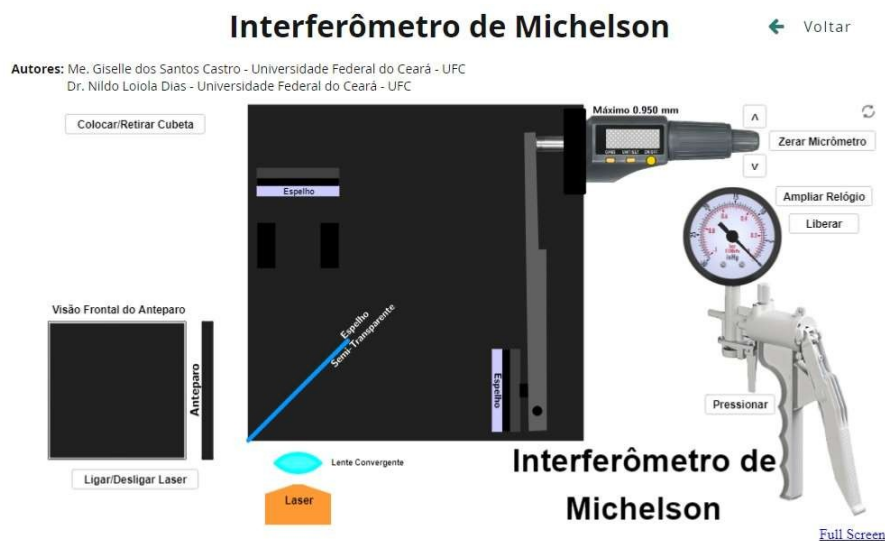
A simulação do interferômetro de Michelson foi concebida para ser uma ferramenta educacional interativa, desenvolvida por N. L. Dias e colaboradores, utilizando o software GeoGebra. O principal objetivo da simulação é permitir que os alunos realizem experimentos virtuais que substituam as aulas práticas presenciais, e foi concebido visando contornar dificuldades inerentes ao isolamento social imposto pela pandemia de Covid-19. O processo de concepção da simulação envolveu a criação de um ambiente virtual onde os usuários podem manipular componentes do interferômetro, como a fonte de luz laser, espelhos e uma cubeta para gases. A simulação permite que os alunos visualizem a trajetória da luz, observem a interferência resultante e determinem o comprimento de onda da luz para três cores diferentes, além de calcular os índices de refração de quatro tipos de gases. Os resultados obtidos na simulação são comparáveis aos de experimentos reais, com erros de medição semelhantes, o que valida a eficácia da ferramenta como uma alternativa ao ensino prático tradicional (DIAS; CASTRO; COELHO, 2021).

Assim, a implementação de uma proposta de ensino de FMC que utilize tecnologias educacionais multimídia, em particular envolvendo a utilização da simulação do interferômetro de Michelson para abordar o tema das Ondas Gravitacionais com alunos do ensino médio se revela como uma valiosa oportunidade para aprimorar o ensino de Física de maneira geral. Essa abordagem não apenas pode promover um maior engajamento dos estudantes, mas também despertar seu interesse, ao introduzir na sala de aula aspectos da ciência contemporânea. Além disso, essa iniciativa visa corrigir o anacronismo frequentemente observado no ensino de Física na educação básica, proporcionando uma formação mais alinhada com os avanços científicos atuais.

3 METODOLOGIA

A simulação do interferômetro de Michelson (Figura 1) permite que os alunos realizem experimentos virtuais para determinar o comprimento de onda da luz monocromática em três frequências diferentes e medir os índices de refração de quatro gases. A interface amigável possibilita a manipulação de componentes do interferômetro, como a fonte de luz e espelhos, além de permitir a seleção de diferentes gases para explorar a interferência da luz. Os resultados obtidos na simulação são comparáveis aos de experimentos reais (DIAS; CASTRO; COELHO, 2021), validando sua eficácia como alternativa ao ensino prático. Disponível online, a simulação oferece acesso autônomo e flexível, facilitando a aprendizagem de conceitos complexos de física de forma interativa e acessível (ibid.).

Figura 1 – Simulação do Interferômetro de Michelson.



Fonte: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/interferometro-de-michelson> (acesso em 27/10/2024).

Desenvolvemos uma sequência didática para utilização da simulação supracitada como recurso interativo e multimídia para o ensino de Ondas gravitacionais:

Tabela 1 - Sequência didática

Etapa da Sequência Didática	Duração Estimada	Descrição Detalhada
Pré-teste	10 min	Aplicação de um teste diagnóstico online para avaliar o conhecimento prévio dos alunos.
Introdução ao tema e conceitos de ondas	40 min	Apresentação dos conceitos básicos de ondas mecânicas, eletromagnéticas e gravitacionais.
Demonstração do experimento com interferômetro	30 min	Demonstração prática do funcionamento do interferômetro de Michelson.
Atividade prática de utilização da simulação do interferômetro de Michelson	20 min	Realização da atividade prática utilizando a simulação do interferômetro de Michelson.
Atividade prática de utilização da simulação do interferômetro de Michelson - continuação	20 min	Realização da atividade prática utilizando a simulação do interferômetro de Michelson.
Discussão sobre as implicações das ondas gravitacionais	30 min	Discussão em grupo sobre as implicações das ondas gravitacionais na física e astronomia.
Análise dos resultados e reflexões finais	30 min	Análise dos dados coletados na atividade prática e reflexões sobre o aprendizado.
Pós-teste	20 min	Aplicação de um teste final online para avaliar o aprendizado dos alunos após a sequência didática.

Fonte: Autor.

- Aula 1 (50 min)

1. Pré-teste (online) - 10 min

- Objetivo: Avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre ondas e conceitos relacionados.

O pré-teste (Anexo A) é uma prática recomendada para identificar as concepções iniciais dos alunos, permitindo que o professor ajuste sua abordagem pedagógica. Goulart e Leonel (2020) classificam a avaliação diagnóstica como um instrumento crucial para promover uma aprendizagem significativa, pois possibilita a identificação de lacunas no conhecimento.

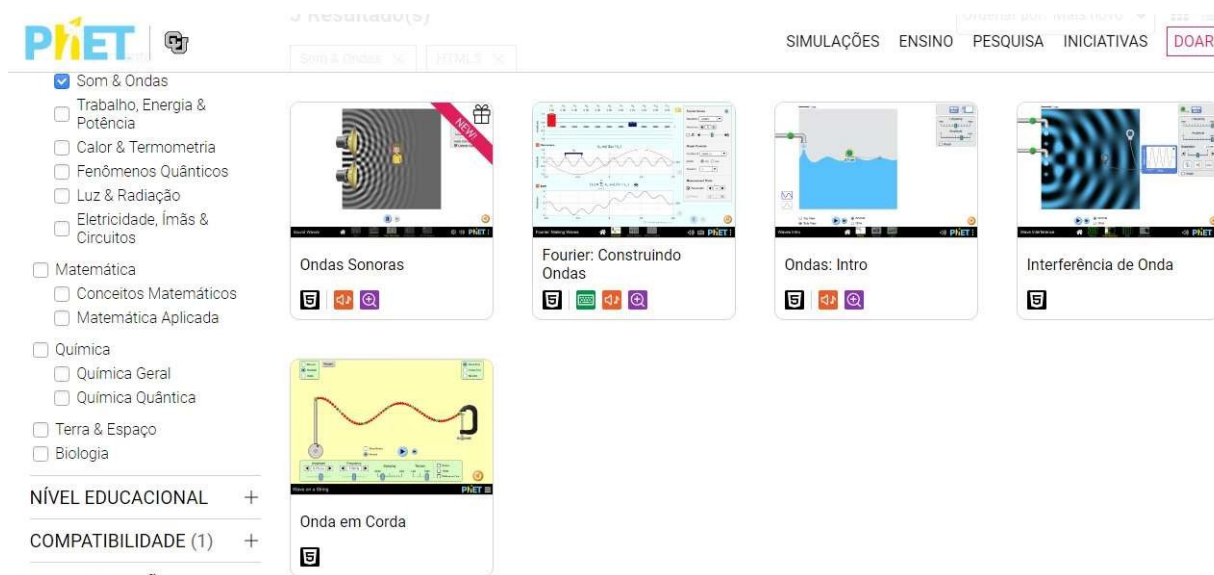
2. Introdução ao tema e conceitos de ondas - 40 min

- Objetivo: Apresentar os conceitos fundamentais de ondas, incluindo ondas mecânicas e gravitacionais.

A introdução deve ser contextualizada com exemplos do cotidiano e aplicações práticas, conforme sugerido por Moreira (2021), que destaca a importância de conectar a teoria à prática para engajar os alunos. A abordagem deve incluir a definição de ondas, suas propriedades e a distinção entre diferentes tipos de ondas, conforme discutido por Silva et al. (2022).

Os alunos receberão o texto introdutório “Ondas gravitacionais” (Anexo C), e a partir do seu conteúdo serão utilizadas simulações computacionais do Phet que tratam das ondas em geral (Figura 2) para permitir a visualização dos conceitos básicos. Em seguida, será apresentado o vídeo (<https://youtu.be/7PngA17bCQU?si=CRvEn1tz7iCxtbZO>, acesso em 11/10/2024, 11h44min), intitulado “As ondas gravitacionais previstas por Einstein e confirmadas 100 anos depois”. Baseado no exposto, serão realizadas discussões acerca do tema, preparando-os para as atividades posteriores.

Figura 2 - Simulações sobre ondas em geral do PhET



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=sound-and-waves&type=html (acesso em 11/10/2024).

- Aula 2 (50 min)
 1. Demonstração do experimento com interferômetro - 30 min
- Objetivo: Mostrar o funcionamento do interferômetro de Michelson como uma ferramenta de detecção de ondas gravitacionais.

A demonstração prática é essencial para a compreensão dos conceitos teóricos. Godoi (2018) enfatiza que a prática experimental é um componente vital no ensino de Física, pois permite que os alunos visualizem fenômenos que, de outra forma, seriam abstratos.

Esta etapa da sequência será iniciada com a exibição do vídeo que explica em detalhes o funcionamento do Interferômetro de Michelson, gravado por um dos desenvolvedores da simulação a ser utilizada na exposição (<https://youtu.be/sztEWz69IVc?si=WS75euCZHdYtBBRH>, acesso em 11/10/2024, 11h53min), bem como será fornecido aos estudantes o artigo de Catelli e Vicenzi, 2001, que trata em detalhes o Interferômetro de Michelson (<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10025/14562>, acesso em 11/10/2024, 11h57min), para consulta. A partir de então, a turma será dividida em

grupos de 3 estudantes, e serão realizadas discussões acerca do tema.

2. Atividade com simulação do interferômetro de Michelson - 20 min

- Objetivo: Utilizar a simulação interativa do interferômetro de Michelson, conforme descrito por Dias et al. (2021), para explorar o funcionamento do interferômetro e a detecção de ondas gravitacionais.

A simulação interativa permite que os alunos visualizem e manipulem variáveis do experimento, promovendo uma compreensão mais profunda dos conceitos envolvidos. Dias et al. (2021) destacam que o uso de simulações no ensino de Física pode facilitar a aprendizagem, tornando conceitos complexos mais acessíveis e compreensíveis.

Será fornecido aos estudantes o roteiro de utilização da simulação do Interferômetro de Michelson da Universidade Federal do Ceará (https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/_files/ugd/b4d494_fc8c6dcc32a743858f99debf84800093.pdf, acesso em 11/10/2024, 11h59min), e a seguir, os grupos formados anteriormente serão deslocados até o laboratório de informática, e irão acessar a simulação em si (<https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/interferometro-de-michelson>, acesso em 11/10/2024, 12h), visando realizar os experimentos constantes no roteiro de utilização, orientados pelo professor responsável pela atividade, realizando as medidas e obtendo seus resultados.

- Aula 3 (50 min)

1. Continuação da atividade com simulação - 20 min

- Objetivo: Permitir que os alunos explorem a simulação do interferômetro de Michelson, realizando experimentos virtuais e observando os resultados.

Esta etapa consiste na continuação da anterior.

2. Discussão sobre as implicações das ondas gravitacionais - 30 min

- Objetivo: Discutir as implicações das ondas gravitacionais na física e na

astronomia.

A discussão deve abordar a relevância das ondas gravitacionais para a compreensão do universo, promovendo uma reflexão crítica. Mayer (2024) sugere que discussões em grupo podem enriquecer a aprendizagem, permitindo que os alunos compartilhem suas ideias e construam conhecimento coletivamente.

Nesta etapa o professor e os alunos irão discutir os resultados obtidos com a utilização do simulador do Interferômetro de Michelson em cada experimento, e as implicações dos procedimentos, medidas e conclusões obtidas para a detecção de ondas gravitacionais, e para a ciência como um todo.

- Aula 4 (50 min)
 1. Análise dos resultados da simulação e reflexões finais - 30 min
- Objetivo: Analisar os dados coletados durante a simulação e refletir sobre o aprendido.

A análise dos resultados é uma etapa crucial para a aprendizagem reflexiva. Silva et al. (2023) afirmam que a reflexão sobre a prática ajuda os alunos a internalizarem o conhecimento e a desenvolverem habilidades críticas.

2. Pós-teste (online) - 20 min
 - Objetivo: Avaliar o aprendizado dos alunos após as atividades.

O pós-teste (Anexo B) permite medir o progresso dos alunos e a eficácia das estratégias de ensino utilizadas. A comparação entre o pré-teste e o pós-teste pode fornecer insights valiosos sobre a aprendizagem significativa, conforme discutido por Goulart e Leonel (2020).

4 ANÁLISE DOS DADOS (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

A realização de um pré-teste permite ao professor identificar as concepções iniciais dos alunos sobre ondas e conceitos relacionados. Essa avaliação diagnóstica é necessária e fundamental, pois possibilita que o docente possa ajustar sua abordagem pedagógica, promovendo uma aprendizagem mais significativa (Goulart e Leonel, 2020). Ao entender as lacunas no conhecimento dos alunos, o professor pode direcionar suas estratégias de ensino de forma mais eficaz, aumentando a probabilidade de que os alunos compreendam os conceitos complexos que serão abordados.

Introduzir o tema de ondas, contextualizado com exemplos do cotidiano, pode engajar os alunos e facilitar a conexão entre teoria e prática. A literatura sugere que essa abordagem é crucial para a motivação dos estudantes, pois ao relacionar os conteúdos com suas experiências diárias, os alunos tendem a se interessar mais pelo aprendizado (Moreira, 2021). Essa conexão pode resultar em um aumento na participação dos alunos durante as aulas e em um maior envolvimento nas atividades propostas.

A utilização de simulações interativas, como a do interferômetro de Michelson, também é um aspecto central da sequência didática. Estudos indicam que o uso de simulações no ensino de Física pode facilitar a aprendizagem, tornando conceitos complexos mais acessíveis e compreensíveis (Dias et al., 2021). A possibilidade de visualizar e manipular variáveis do experimento permite que os alunos desenvolvam uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos, o que pode levar a um melhor desempenho nas avaliações e a uma maior retenção do conhecimento.

A prática experimental, como a demonstração do funcionamento do interferômetro, é outro componente vital que pode impactar positivamente a aprendizagem. A prática experimental ajuda os alunos a visualizar fenômenos que, de outra forma, seriam abstratos (Godoi, 2018). Essa visualização pode resultar em uma maior clareza conceitual e em uma melhor capacidade de aplicar os conhecimentos adquiridos em contextos diferentes.

A análise dos resultados da simulação e as discussões sobre as implicações das ondas gravitacionais podem promover uma reflexão crítica entre os alunos. A troca de ideias em grupo enriquece a aprendizagem, permitindo que os alunos compartilhem suas percepções e construam conhecimento coletivamente (Mayer,

2024). Essa reflexão não apenas solidifica o aprendizado, mas também desenvolve habilidades críticas e analíticas, que são essenciais para a formação de cidadãos conscientes e informados.

A atualização do currículo de Física para incluir conteúdos de FMC é uma necessidade amplamente discutida na literatura educacional, uma vez que esses temas são fundamentais para a compreensão dos avanços científicos e tecnológicos atuais. A sequência didática apresentada, que aborda conceitos de ondas e interferometria, contribui significativamente para essa atualização curricular ao introduzir tópicos que são essenciais para a formação dos alunos no contexto da FMC. Silva et al. (2022) e Moreira (2021) enfatizam a importância de integrar conteúdos contemporâneos ao ensino de Física, destacando que a inclusão de temas como ondas gravitacionais e interferometria não apenas enriquece o conhecimento dos alunos, mas também os prepara para desafios futuros em áreas como astrofísica e engenharia. Além disso, em Goulart e Leonel (2020) temos que a atualização curricular deve ser acompanhada de metodologias que promovam a aprendizagem significativa, como a utilização de simulações interativas, que são uma parte central da sequência didática proposta. Assim, a sequência didática não apenas atende à demanda por uma educação mais atualizada e relevante, mas também proporciona um ambiente de aprendizagem que estimula a curiosidade e o pensamento crítico, preparando os alunos para se tornarem cidadãos informados e ativos em um mundo cada vez mais complexo e interconectado. Dessa forma, a proposta de ensino apresentada se alinha com as diretrizes contemporâneas para a educação em Física, promovendo uma formação que é tanto teórica quanto prática, e que reflete as necessidades e desafios do século XXI.

A sequência didática proposta apresenta diversas vantagens quando analisada à luz da CTML. A aprendizagem é mais eficaz quando os alunos são expostos a múltiplas formas de representação da informação, como texto, imagens e simulações interativas. A sequência didática em questão incorpora esses elementos ao utilizar vídeos, simulações dos conceitos básicos de ondas, do interferômetro de Michelson e discussões em grupo, permitindo que os alunos construam conhecimento de maneira mais rica e diversificada. Essa abordagem multimodal facilita a codificação da informação em diferentes formatos, oportunizando a promoção de uma melhor retenção e compreensão dos conceitos de FMC. Além disso, a interação com simulações permite que os alunos experimentem e visualizem fenômenos complexos,

o que, segundo Mayer, é crucial para a construção de um entendimento profundo. A combinação de teoria e prática, aliada à reflexão crítica proposta nas atividades, não apenas engaja os alunos, mas também favorece a transferência de conhecimento para novas situações, um aspecto central na teoria de Mayer. Assim, a sequência didática consiste em uma válida proposta de promoção de ensino e aprendizagem significativo, promovendo um ambiente educacional mais eficaz e dinâmico.

A aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento é relacionado de forma não arbitrária e substantiva ao que o aluno já sabe, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura (MOREIRA, 2012). Os possíveis resultados da aplicação da sequência didática proposta à luz da teoria da aprendizagem significativa, é importante considerar alguns princípios fundamentais dessa teoria: a) Conexão com o Conhecimento Prévio: a sequência didática começa com um pré-teste que visa avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre ondas e conceitos relacionados. Essa prática é decisiva, permitindo ao professor identificar as concepções iniciais dos alunos e ajustar sua abordagem pedagógica ao longo da execução da sequência. Ao conectar novos conteúdos com o que os alunos já conhecem, a aprendizagem se torna mais significativa. b) Contextualização e Aplicação Prática: a introdução dos conceitos de ondas é contextualizada com exemplos do cotidiano e aplicações práticas. Essa abordagem ajuda a engajar os alunos, tornando o aprendizado mais relevante e aplicável à vida real (ibid.). A utilização de simulações interativas também permite aos alunos visualizarem e manipularem variáveis do experimento, facilitando a compreensão de conceitos complexos. c) Reflexão e Análise Crítica: a sequência didática inclui momentos de discussão e reflexão sobre os resultados obtidos nas simulações. Essa prática é fundamental para a aprendizagem significativa, permitindo aos alunos internalizarem o conhecimento e desenvolverem habilidades críticas. A análise dos dados coletados e a reflexão sobre o aprendizado ajudam a consolidar o conhecimento adquirido. d) Avaliação do Aprendizado: a aplicação de um pós-teste após as atividades permite medir o progresso dos alunos e a eficácia das estratégias de ensino utilizadas. A comparação entre o pré-teste e o pós-teste pode fornecer bons indícios sobre o bom desenvolvimento das atividades propostas, evidenciando o quanto os alunos conseguiram relacionar e aplicar os novos conhecimentos.

5 CONCLUSÕES (CONSIDERAÇÕES FINAIS)

A análise da sequência didática proposta para o ensino de FMC revela a importância de uma abordagem pedagógica que integre teoria e prática, utilizando recursos interativos e promovendo a reflexão crítica. A utilização de simulações facilita não apenas a compreensão de conceitos complexos, mas também engaja os alunos em um processo de aprendizagem mais ativo e significativo.

A inclusão de temas contemporâneos, como as ondas gravitacionais, é essencial para a atualização curricular e para a formação de cidadãos críticos e informados. Esta deve ser acompanhada de metodologias capazes de promover a aprendizagem significativa, como a utilização de simulações interativas, enriquecendo o conhecimento dos alunos, bem como preparando-os para enfrentar os desafios do século XXI, em um mundo cada vez mais interconectado e complexo.

Discussões em grupo oferecem uma estratégia eficaz para promover a troca de ideias e a construção coletiva do conhecimento, solidificando o aprendizado, através do desenvolvimento de habilidades críticas e analíticas, essenciais para a formação de cidadãos conscientes. A reflexão sobre a prática é um componente importante para a internalização do conhecimento e para o desenvolvimento de competências que vão além do conteúdo curricular.

É fundamental as instituições de ensino continuarem a investir na formação de professores, capacitando-os a utilizar metodologias ativas e recursos tecnológicos que favoreçam a aprendizagem. A pesquisa e a prática pedagógica devem caminhar juntas, permitindo que novas abordagens sejam testadas e avaliadas, contribuindo assim para a evolução do ensino de Física. A colaboração entre educadores, pesquisadores e instituições é vital para a construção de um currículo que atenda às necessidades dos alunos e às demandas da sociedade contemporânea.

As práticas pedagógicas propostas na sequência didática podem proporcionar um ambiente de aprendizado mais engajador e eficaz. A ênfase na conexão entre o conhecimento prévio dos alunos e os novos conteúdos, aliada ao uso de simulações interativas e discussões reflexivas, favorece a construção de um entendimento mais profundo e contextualizado dos conceitos de ondas e interferometria. Para o futuro, é essencial que educadores continuem a explorar e integrar tecnologias educacionais e metodologias ativas que promovam a participação e a colaboração dos alunos, além de realizar avaliações contínuas que permitam ajustes nas abordagens pedagógicas.

A pesquisa e a prática devem caminhar juntas, buscando sempre inovações que tornem o ensino mais significativo e que preparem os alunos para enfrentar os desafios do conhecimento científico de forma crítica e reflexiva.

A proposta de ensino apresentada neste trabalho se alinha com as diretrizes contemporâneas para a educação em Física, promovendo uma formação que é tanto teórica quanto prática, e que reflete as necessidades e desafios do século XXI. A continuidade da pesquisa e a implementação de práticas inovadoras são essenciais para garantir que o ensino de Física se mantenha relevante e eficaz, preparando os alunos para um futuro em que a ciência e a tecnologia desempenham papéis cada vez mais centrais.

REFERÊNCIAS

- BASSALO, J. M. F.; CATTANI, M. Detecção de ondas gravitacionais. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 3, p. 879-895, dez. 2016.
- BASSALO, J. M. F.; CATTANI, M. S. D. O Prêmio Nobel de Física de 2017 e as Instituições Brasileiras de Pesquisas Físicas. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 35, n. 2, p. 440-460, ago. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n2p440>.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 20 nov. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília, DF: MEC, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. About LIGO. Pasadena, CA: LIGO Laboratory, 2024. Disponível em: <https://www.ligo.caltech.edu/page/about>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- CATTANI, M. Gravitational waves I: Basic emission equations. arXiv preprint arXiv:1001.2518, 2010.
- CATTANI, M. Gravitational Waves II: Emitting Systems. arXiv preprint arXiv:1003.2105, 2010.
- CATTANI, M. Gravitational waves III: Detecting systems. arXiv preprint arXiv:1004.2470, 2010.
- CATTANI, M.; BASSALO, J. M. F. Observação de ondas gravitacionais: breves comentários. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 38, n. 4, e4202, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0192>.
- CATELLI, F.; VICENZI, S. Interferômetro de Michelson. Cadernos Brasileiros de Ensino de Física, v. 21, n. especial, p. 350-358, 2004.
- COSTA, A. Ondas gravitacionais no ensino médio. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.
- DIAS, N. L.; CASTRO, G. dos S.; COELHO, A. de A. Simulação interativa do interferômetro de Michelson usando o GeoGebra. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, e20210205, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0205>.
- GODOI, G. H. de. O ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DA BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR. 2018.
- GOULART, G. S.; LEONEL, A. A. Revisão da literatura sobre o Ensino de Física

Moderna Contemporânea no Ensino Médio: potencialidades a partir da aprendizagem significativa. *Revista Dynamis*, v. 26, n. 1, p. 192-215, 2020.

HISTÓRIA DA FÍSICA. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2024. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Hist%C3%B3ria_da_f%C3%ADsica&oldid=69079848>. Acesso em: 11 dez. 2024.

KAGRA PROJECT. About KAGRA project. Hida-city: Kamioka Gravitational Wave Detector, 2024. Disponível em: <https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/about-kagra-project>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MARQUES, T. C. de F. et al. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. *Scientia Plena*, v. 15, n. 7, 2019.

MAYER, Richard E. The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, v. 36, n. 8, p. 1-25, 2024.

MOREIRA, M. A. ¿ Al afinal, qué es aprendizaje significativo?. *Curriculum: revista de teoría, investigación y práctica educativa*. La Laguna, Espanha. No. 25 (marzo 2012), p. 29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, p. e20200451, 2021.

SILVA, A. B.; SOUZA, C. D.; LOPES, E. F. Ensino de Física com uso de simuladores virtuais: potencial de utilização em sala de aula. *HOLOS*, v. 39, n. 1, e14365, 2023. Disponível em: [link do artigo]. Acesso em: [data de acesso].

SILVA, A. S. G. da; CARVALHO, H. A. P. de; PHILIPPSEN, G. S. Ensino de Física Moderna no Ensino Médio: uma proposta didática para o estudo da evolução do modelo atômico. *Revista Insignare Scientia-RIS*, v. 5, n. 3, p. 392-408, 2022.

SILVEIRA, J. A. Ondas Mecânicas e Eletromagnéticas: Propostas de atividades para uma aprendizagem significativa. *Produto Educacional (Mestrado)*. UFSCAR, campus Sorocaba, 2019.

SOUZA, L. G.; SANTIAGO, L. R.; JESUS, V. L. B. de. Interferômetro de Michelson construído com material de fácil acesso. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, p. e20190070, 2019.

VIRGO COLLABORATION. Scientific collaboration. Cascina: European Gravitational Observatory, 2024. Disponível em: <https://www.virgo-gw.eu/about/scientific-collaboration/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ANEXO A – PRÉ-TESTE: Ondas Gravitacionais e Interferometria

1. O que são ondas gravitacionais?

- A) Ondas de som que se propagam no espaço.
- B) Perturbações no espaço-tempo causadas por movimentos acelerados de massas.
- C) Ondas eletromagnéticas emitidas por estrelas.
- D) Ondas que se propagam apenas em fluidos.

Resposta correta: B

2. Quem previu a existência das ondas gravitacionais?

- A) Albert Einstein
- B) Isaac Newton
- C) Niels Bohr
- D) Stephen Hawking

Resposta correta: A

3. Qual é a principal fonte de ondas gravitacionais?

- A) Ondas sonoras
- B) Movimentos de partículas em um gás
- C) Fusões de buracos negros e estrelas de nêutrons
- D) Radiação eletromagnética

Resposta correta: C

4. Qual é o princípio básico do interferômetro de Michelson?

- A) Medir a temperatura de um corpo.
- B) Dividir um feixe de luz e recombina-lo para observar interferência.
- C) Detectar ondas sonoras.
- D) Medir a pressão atmosférica.

Resposta correta: B

5. O que é necessário para detectar ondas gravitacionais?

- A) Um detector de partículas.
- B) Um acelerador de partículas.
- C) Um telescópio óptico.

D) Um interferômetro altamente sensível.

Resposta correta: D

6. Qual dos seguintes interferômetros é mais utilizado na detecção de ondas gravitacionais?

A) Interferômetro de Mach-Zehnder

B) Interferômetro de Fabry-Pérot

C) Interferômetro de Michelson

D) Interferômetro de Sagnac

Resposta correta: C

7. O que acontece com a distância entre os braços do interferômetro quando uma onda gravitacional passa?

A) Aumenta e diminui alternadamente.

B) Permanece constante.

C) Aumenta permanentemente.

D) Diminui permanentemente.

Resposta correta: A

8. Qual é a unidade de medida da frequência das ondas gravitacionais?

A) Hertz (Hz)

B) Joules (J)

C) Newtons (N)

D) Metros (m)

Resposta correta: A

9. O que é um detector sólido ressonante?

A) Um dispositivo que usa luz para detectar ondas.

B) Um dispositivo que utiliza a vibração de sólidos para detectar ondas gravitacionais.

C) Um telescópio que observa ondas gravitacionais.

D) Um acelerador que gera ondas gravitacionais.

Resposta correta: B

10. Qual é a principal dificuldade na detecção de ondas gravitacionais?

- A) A intensidade extremamente baixa das ondas.
- B) A baixa frequência das ondas.
- C) A complexidade dos cálculos matemáticos.
- D) A falta de tecnologia adequada.

Resposta correta: A

11. O que é a interferência construtiva em um interferômetro?

- A) Quando os feixes de luz se cancelam.
- B) Quando a luz é refletida.
- C) Quando não há luz.
- D) Quando os feixes de luz se somam, aumentando a intensidade.

Resposta correta: D

12. Qual é a importância das ondas gravitacionais na astrofísica?

- A) Elas ajudam a medir a temperatura das estrelas.
- B) Elas são usadas para calcular a massa de planetas.
- C) Elas fornecem informações sobre eventos cósmicos que não podem ser observados de outra forma.
- D) Elas não têm importância na astrofísica.

Resposta correta: C

13. O que é um buraco negro?

- A) Um objeto que emite luz.
- B) Um objeto com gravidade tão forte que nada pode escapar dele.
- C) Um tipo de estrela.
- D) Um planeta.

Resposta correta: B

14. Qual é a relação entre ondas gravitacionais e a Teoria da Relatividade Geral?

- A) A Teoria da Relatividade Geral prevê a existência de ondas gravitacionais.
- B) As ondas gravitacionais não têm relação com a Teoria da Relatividade.
- C) A Teoria da Relatividade Geral refuta a existência de ondas gravitacionais.
- D) As ondas gravitacionais são uma consequência da mecânica quântica.

Resposta correta: A

15. O que é um evento de fusão de buracos negros?

- A) Quando dois buracos negros se afastam um do outro.
- B) Quando um buraco negro se transforma em uma estrela.
- C) Quando dois buracos negros colidem e se fundem, emitindo ondas gravitacionais.
- D) Quando um buraco negro desaparece.

Resposta correta: C

16. Qual é a função do laser em um interferômetro?

- A) Medir a temperatura.
- B) Refletir ondas sonoras.
- C) Aumentar a pressão.
- D) Produzir um feixe de luz coerente para a detecção de interferência.

Resposta correta: D

17. O que é a "sensibilidade" de um detector de ondas gravitacionais?

- A) A capacidade de detectar ondas de alta frequência.
- B) A capacidade de medir a temperatura do ambiente.
- C) A capacidade de detectar ondas gravitacionais de baixa intensidade.
- D) A capacidade de refletir luz.

Resposta correta: C

18. O que é um "sinal" em um experimento de detecção de ondas gravitacionais?

- A) Um feixe de luz.
- B) Uma variação detectada que indica a passagem de uma onda gravitacional.
- C) Um som produzido pelo interferômetro.
- D) Um tipo de radiação.

Resposta correta: B

19. Qual é a principal aplicação das ondas gravitacionais na pesquisa científica?

- A) Estudar eventos astrofísicos e a estrutura do universo.
- B) Medir a temperatura de planetas.
- C) Calcular a massa de estrelas.

D) Observar a luz de galáxias distantes.

Resposta correta: A

20. O que é a "onda gravitacional de fundo"?

A) Ondas gravitacionais geradas por eventos isolados.

B) Ondas gravitacionais que permeiam o universo, resultantes de múltiplos eventos cósmicos.

C) Ondas gravitacionais que não podem ser detectadas.

D) Ondas gravitacionais que ocorrem apenas em buracos negros.

Resposta correta: B

ANEXO B – PÓS-TESTE- Ondas Gravitacionais e Interferometria

1. O que caracteriza uma onda gravitacional?

- A) Uma onda que se propaga apenas em meios materiais.
- B) Uma perturbação no espaço-tempo que se propaga à velocidade da luz.
- C) Uma onda que é gerada por partículas subatômicas.
- D) Uma onda que não interage com a matéria.

Resposta correta: B

2. Qual é a principal consequência da fusão de dois buracos negros?

- A) A emissão de radiação eletromagnética intensa.
- B) A criação de novas estrelas.
- C) A geração de ondas gravitacionais detectáveis.
- D) A formação de um novo buraco negro.

Resposta correta: C

3. Como as ondas gravitacionais afetam o espaço-tempo?

- A) Elas não têm efeito sobre o espaço-tempo.
- B) Elas criam ondas de pressão que se propagam pelo espaço.
- C) Elas distorcem o espaço-tempo, causando variações nas distâncias.
- D) Elas apenas afetam a gravidade localmente. Resposta correta: C

4. O que é um interferômetro de Michelson?

- A) Um dispositivo que mede a temperatura de objetos.
- B) Um instrumento que utiliza a interferência de luz para medir grandezas físicas.
- C) Um tipo de telescópio que observa ondas gravitacionais.
- D) Um acelerador de partículas.

Resposta correta: B

5. Qual é a contribuição das ondas gravitacionais para a física moderna?

- A) Elas oferecem novas maneiras de observar o universo e testar a relatividade.
- B) Elas confirmam teorias antigas sem novas implicações.
- C) Elas são irrelevantes para a física moderna.
- D) Elas complicam a compreensão da física clássica.

Resposta correta: A

6. O que acontece com a frequência das ondas gravitacionais à medida que os objetos que as geram se aproximam?

- A) A frequência diminui.
- B) A frequência permanece constante.
- C) A frequência aumenta.
- D) A frequência se torna irrelevante.

Resposta correta: C

7. Qual é a principal vantagem do uso de interferômetros na detecção de ondas gravitacionais?

- A) Eles são mais baratos que outros métodos.
- B) Eles podem detectar ondas de alta frequência.
- C) Eles não requerem tecnologia avançada.
- D) Eles são capazes de medir variações extremamente pequenas de distância.

Resposta correta: D

8. O que é um "sinal de fundo" em experimentos de ondas gravitacionais?

- A) Um ruído que pode interferir na detecção de ondas gravitacionais.
- B) Um sinal que indica a presença de luz.
- C) Um tipo de onda gravitacional.
- D) Um sinal que é sempre detectado.

Resposta correta: A

9. Como as ondas gravitacionais podem ser utilizadas na astrofísica?

- A) Para medir a temperatura das estrelas.
- B) Para observar a luz de galáxias distantes.
- C) Para estudar eventos cósmicos que não podem ser observados de outra forma.
- D) Para calcular a massa de planetas.

Resposta correta: C

10. O que é a "onda de choque" gerada por uma supernova?

- A) Uma onda gravitacional que se propaga pelo espaço.
- B) Uma onda que não tem relação com eventos astrofísicos.
- C) Uma onda eletromagnética que é emitida durante a explosão.
- D) Uma onda de pressão que se forma durante a explosão de uma estrela.

Resposta correta: D

11. Qual é a relação entre ondas gravitacionais e a expansão do universo?

- A) As ondas gravitacionais não têm relação com a expansão do universo.
- B) Elas podem fornecer informações sobre a taxa de expansão do universo.
- C) Elas são causadas pela expansão do universo.
- D) Elas apenas afetam a gravidade localmente.

Resposta correta: B

12. O que é um "detector de ondas gravitacionais de próxima geração"?

- A) Um novo tipo de interferômetro com maior sensibilidade e capacidade de detecção.
- B) Um dispositivo que usa tecnologia antiga para detectar ondas.
- C) Um telescópio que observa ondas gravitacionais.
- D) Um acelerador que gera ondas gravitacionais.

Resposta correta: A

13. Qual é a importância da calibração em um experimento de detecção de ondas gravitacionais?

- A) Para garantir que o equipamento funcione corretamente.
- B) Para aumentar a intensidade das ondas detectadas.
- C) Para medir a temperatura do ambiente.
- D) Para refletir a luz de forma mais eficiente.

Resposta correta: A

14. O que é um "evento de fusão" em astrofísica?

- A) Um evento que ocorre quando duas estrelas se afastam.
- B) Um evento que ocorre quando dois objetos massivos colidem e se fundem.
- C) Um evento que não tem relação com ondas gravitacionais.
- D) Um evento que ocorre apenas em laboratórios.

Resposta correta: B

15. Como as ondas gravitacionais podem ajudar a entender a natureza da gravidade?

- A) Elas não têm relação com a gravidade.
- B) Elas podem fornecer dados sobre a gravidade em situações extremas.
- C) Elas apenas confirmam teorias já existentes.
- D) Elas são irrelevantes para a compreensão da gravidade.

Resposta correta: B

16. O que é a "resolução temporal" em um experimento de ondas gravitacionais?

- A) A capacidade de medir a intensidade das ondas.
- B) A capacidade de medir a temperatura do ambiente.
- C) A capacidade de detectar variações em um curto período de tempo.
- D) A capacidade de refletir luz.

Resposta correta: C

17. O que é um "padrão de interferência" em um interferômetro?

- A) Um padrão que indica a presença de luz.
- B) Um padrão que não tem relação com a luz.
- C) Um padrão que é sempre constante.
- D) Um padrão que resulta da superposição de feixes de luz.

Resposta correta: D

18. Qual é a principal limitação na detecção de ondas gravitacionais?

- A) A baixa frequência das ondas.
- B) A complexidade dos cálculos matemáticos.
- C) A intensidade extremamente baixa das ondas.
- D) A falta de tecnologia adequada.

Resposta correta: C

19. Qual é a relação entre a frequência de uma onda gravitacional e o tipo de evento que a gera?

- A) Eventos mais massivos geram ondas de baixa frequência.
- B) Eventos de baixa massa geram ondas de alta frequência.
- C) Não há relação entre frequência e tipo de evento.

D) Eventos de alta energia geram ondas de baixa frequência.

Resposta correta: A

20. Qual é a principal fonte de ruído em experimentos de detecção de ondas gravitacionais?

A) Ruído atmosférico.

B) Vibrações sísmicas e acústicas.

C) Radiação eletromagnética.

D) Luz solar.

Resposta correta: B

ANEXO C – texto “Ondas gravitacionais”

As ondas são perturbações que se propagam em meios materiais ou no vácuo, transportando energia e informação sem a necessidade de transporte de matéria. Elas podem ser classificadas em diferentes tipos, como ondas mecânicas, que necessitam de um meio material para se propagar (como ondas sonoras), e ondas eletromagnéticas, que podem se propagar no vácuo (como a luz). Um conceito fundamental no estudo das ondas é a superposição, que se refere à combinação de duas ou mais ondas que se encontram em um mesmo ponto do espaço. Quando as ondas se superpõem, a onda resultante é a soma algébrica das amplitudes das ondas individuais.

A interferência é um fenômeno que ocorre como resultado da superposição de ondas. Ela pode ser construtiva ou destrutiva. Na interferência construtiva, as ondas estão em fase, resultando em uma amplitude maior na onda resultante. Por outro lado, na interferência destrutiva, as ondas estão em oposição de fase, levando a uma diminuição da amplitude ou até mesmo ao cancelamento total das ondas. A condição para a interferência construtiva é que a diferença de fase entre as ondas seja um múltiplo inteiro de 2π , enquanto para a interferência destrutiva, essa diferença deve ser um múltiplo ímpar de 2π .

Os interferômetros são dispositivos que utilizam o princípio da interferência para medir pequenas variações em distâncias ou para detectar ondas. Existem vários tipos de interferômetros, sendo o interferômetro de Michelson um dos mais conhecidos e utilizados. Este dispositivo consiste em um feixe de luz que é dividido em dois, que seguem caminhos diferentes e, ao serem refletidos, se recombinam. A diferença de caminho percorrido entre os dois feixes resulta em um padrão de interferência que pode ser relacionado a variações de comprimento de onda ou mudanças no índice de refração do meio com alta precisão. O interferômetro de Michelson foi fundamental na detecção de ondas gravitacionais, pois permite medir variações extremamente pequenas na distância entre os espelhos do dispositivo, que podem ser causadas pela passagem de ondas gravitacionais.

As ondas gravitacionais são ondulações na curvatura do espaço-tempo, previstas pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Elas são geradas por eventos astrofísicos extremos, como a fusão de buracos negros ou estrelas de nêutrons. As ondas gravitacionais se propagam à velocidade da luz e são caracterizadas por duas

polarizações, que podem ser descritas como campos escalares no espaço-tempo. A detecção dessas ondas é um desafio técnico, pois as variações que elas causam nas distâncias são extremamente pequenas, da ordem de frações do diâmetro de um núcleo atômico.

Os detectores de ondas gravitacionais, como o LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), utilizam o princípio do interferômetro de Michelson. O LIGO consiste em dois braços perpendiculares, cada um com vários quilômetros de comprimento, onde feixes de laser são enviados e refletidos. Quando uma onda gravitacional passa, ela provoca uma alteração na distância entre os espelhos, resultando em um padrão de interferência que é monitorado. O sucesso na detecção de ondas gravitacionais foi um marco na física, culminando no Prêmio Nobel de Física de 2017, concedido a Rainer Weiss, Barry C. Barish e Kip S. Thorne, em reconhecimento ao seu trabalho pioneiro na construção e operação do LIGO, que confirmou a existência das ondas gravitacionais e abriu uma nova era na astronomia.