

# EFEITO CASIMIR: PROPOSTA DO USO DE EXPERIMENTO ANÁLOGO PARA O ENSINO DE MECÂNICA QUÂNTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Carlos Henrique de Abreu Maciel<sup>1</sup>  
Fernando Wellysson De Alencar Sobreira<sup>2</sup>

## RESUMO

Este artigo propõe uma metodologia para auxiliar o professor no ensino de Mecânica Quântica na Educação Básica, utilizando um experimento análogo ao efeito Casimir. Reconhecendo os desafios associados ao ensino de conceitos quânticos, como a abstração e a falta de conexão com o cotidiano dos estudantes, foi desenvolvido um aparato experimental simples, que utiliza ondas de água para simular as flutuações quânticas no vácuo responsáveis pelo efeito Casimir. O experimento, baseado no trabalho de Denardo, Puda e Larraza (2009), foi pensado para ser implementado em sala de aula com materiais acessíveis, tornando viável sua execução no contexto escolar. A proposta está alinhada às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que busca promover o desenvolvimento do pensamento científico, da curiosidade intelectual e da habilidade de investigação entre os estudantes. O artigo explora o potencial pedagógico dessa abordagem, destacando como ela pode contribuir para aproximar os estudantes de conceitos da Física Moderna de maneira prática e interativa. O uso de analogias visuais e experimentais torna os fenômenos quânticos mais acessíveis, permitindo que os estudantes estabeleçam conexões entre a teoria e a prática, e favorecendo o desenvolvimento de habilidades como a formulação de hipóteses e o pensamento crítico. Conclui-se que essa metodologia apresenta grande potencial para enriquecer o ensino de Física, tornando mais acessível a introdução de conceitos avançados da Mecânica Quântica no currículo da Educação Básica.

**Palavras-chave:** Ensino de Física, Mecânica Quântica, Efeito Casimir, Educação Básica, Experimentação.

## INTRODUÇÃO

A Mecânica Quântica (MQ), um dos pilares fundamentais da física moderna, transcende a mera descrição de partículas em escalas atômicas e subatômicas, constituindo uma verdadeira revolução paradigmática no entendimento do mundo físico. Desafiando as concepções clássicas de realidade e causalidade, essa teoria revela um universo onde os fenômenos escapam às leis da física clássica, exigindo uma nova

---

<sup>1</sup> Mestrando do Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Ceará - UFC, carlosmaciel@fisica.ufc.br.

<sup>2</sup> Professor orientador: Doutor, Instituto Federal do Ceará - IFCE, Universidade Federal do Ceará – UFC, fernando.sobreira@ifce.edu.br.

abordagem de compreensão. Feynman (2012, p. 133) destaca que, embora a experiência cotidiana nos leve a crer que o mundo opera de maneira previsível e intuitiva, ao adentrarmos o universo subatômico, deparamo-nos com fenômenos que desafiam essa compreensão, como a dualidade onda-partícula e o Princípio da Incerteza de Heisenberg, além das flutuações quânticas no vácuo.

Nesse contexto, a introdução de conceitos da MQ na Educação Básica (EB) torna-se essencial não apenas para a formação científica dos estudantes, mas também para prepará-los para compreender a complexidade da natureza e seu impacto na sociedade. O desafio de transpor a teoria quântica para o ambiente escolar, especialmente em um nível introdutório, exige o desenvolvimento de estratégias pedagógicas inovadoras.

O ensino de Física Moderna, ao incluir a MQ, permite que os estudantes compreendam fenômenos além do senso comum, preparando-os para os avanços científicos e tecnológicos que permeiam a sociedade contemporânea. Para atender a essa demanda, este trabalho propõe uma alternativa metodológica que visa fomentar o desenvolvimento de habilidades de aprendizagem nos estudantes, introduzindo conceitos quânticos por meio de experimentos análogos. A utilização de exemplos práticos, como o experimento do efeito Casimir, apresenta um potencial significativo para conectar os conteúdos teóricos à realidade dos estudantes.

Portanto, neste artigo, propõe-se a utilização de um experimento análogo que reproduz o EC, empregando ondas de água como analogia para as flutuações quânticas no vácuo. Tal abordagem busca tornar tangíveis conceitos abstratos da MQ para estudantes da EB, utilizando materiais simples e de fácil acesso, adequados ao ambiente escolar.

## **METODOLOGIA**

O experimento desenvolvido no presente estudo foi embasado no artigo de Denardo, Puda e Larraza (2009), intitulado *A water wave analog of the Casimir effect* (Um análogo do efeito Casimir em ondas na água). A metodologia aplicada visa replicar este experimento com o intuito de demonstrar o efeito Casimir, um fenômeno de natureza quântica, para estudantes da EB. Para tanto, foi importante fazer um paralelo com a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), a fim de situar o propósito deste trabalho no documento normativo de referência nacional. A abordagem proposta está alinhada à Competência Geral 2 da BNCC, que incentiva o desenvolvimento da curiosidade

intelectual e a utilização da abordagem científica, como a investigação, a formulação e o teste de hipóteses, promovendo a compreensão crítica de conceitos científicos complexos no contexto escolar (Brasil, 2018, p. 7). Além disso, ao explorar as relações entre matéria e energia na demonstração de um fenômeno quântico através de um experimento clássico, a proposta também se conecta à Competência Específica 1 (Brasil, 2018, p. 539) de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, que busca analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos para propor ações que aprimorem a compreensão do mundo físico e suas implicações.

A montagem do aparato experimental foi adaptada para o ambiente escolar, de forma que pudesse ser implementada em uma sala de aula com materiais de fácil obtenção. O experimento utiliza a analogia entre as flutuações quânticas no efeito Casimir e as flutuações de ondas de água providas de um sistema vibratório, permitindo uma compreensão intuitiva das flutuações quânticas no vácuo.

Para a realização do experimento, foram utilizados os seguintes materiais:

- Um béquer com capacidade de 600 ml;
- placas de alumínio com dimensões de 5,80 cm, obtidas de latas de refrigerante recortadas;
- fios de linha de costura de aproximadamente 30 cm de comprimento, para suspender as placas;
- um suporte universal para fixação dos fios;
- água suficiente para imergir cerca de  $2/3$  das placas no béquer;
- corante, para facilitar a visualização das ondas geradas no líquido;
- uma superfície vibratória construída especificamente para o experimento.

A superfície vibratória foi construída utilizando uma caixa de MDF com um motor de Corrente Contínua (CC) de 12V fixado, alimentado por uma fonte compatível. Para gerar as vibrações necessárias, um pequeno cubo de madeira foi acoplado ao eixo do motor, propositalmente desalinhado para induzir vibração. A rotação do motor transfere essa vibração ao béquer, que é fixado à caixa de forma segura.

Ao acionar o motor, as vibrações produzidas na caixa de MDF são transmitidas ao béquer com água, gerando ondas aleatórias na superfície do líquido. Essas ondas servem como uma analogia acessível para simular as flutuações quânticas no vácuo, aproximando os estudantes dos fenômenos que geram o Efeito Casimir de forma simplificada e intuitiva.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Suponha duas placas metálicas perfeitamente condutoras, neutras (com o mesmo número de cargas positivas e negativas), posicionadas paralelamente entre si a uma distância de apenas alguns micrômetros. Essas placas estão confinadas em uma câmara perfeitamente selada, na qual todo o ar e poeira que poderia existir foram removidos, deixando-a completamente vazia. Além disso, há um dispositivo muito sensível capaz de medir qualquer força que possa surgir entre as placas. Portanto, diante desse arranjo, e estando as placas neutras, espera-se que o dispositivo medidor não marque qualquer valor (COUGO-PINTO; TORT, 1999, p. 27). No entanto, inesperadamente, o medidor acusa uma força atrativa entre as placas de uma ordem de grandeza de  $10^{-5} N/cm^2$  (SPARNAAY, 1958, p. 751).

Esse fenômeno é conhecido como efeito Casimir, cuja previsão teórica foi estabelecida por Hendrik Brugt Gerhard Casimir em 1948. A confirmação experimental inicial ocorreu por Sparnaay (1958), seguida por Lamoreaux (1997) e, mais recentemente, por Intravaia, Koev, Jung, *et al.* (2013), extinguindo qualquer margem para dúvidas quanto a esse fenômeno. Max Planck, em seu trabalho “Sobre a nova hipótese da radiação”, publicado em 1911, propôs que a emissão de energia radioativa ocorre de forma quantizada, ou seja, de maneira discreta, enquanto a absorção dessa energia ocorre de forma contínua. Esse conceito trouxe implicações significativas, e posteriormente, em 1925, Werner Heisenberg apresentou resultados que revelaram que a energia de um Oscilador Harmônico Quântico (OHQ) não é nula, mesmo quando o sistema encontra-se em seu estado de energia mínima, conhecido como estado fundamental. Inicialmente denominada de energia residual por Planck, essa forma de energia passou a ser posteriormente conhecida como energia de ponto zero (OLIVEIRA; ANDREATA, 2014, p. 3).

Com base na previsão feita por Casimir (1948), a alteração do espectro de frequências possíveis de vibração das ondas eletromagnéticas pode ser compreendida como um desequilíbrio na força de radiação nas superfícies interna e externa das placas (MILONNI; COOK; GOGGIN, 1988 *apud* DENARDO; PUDA; LARRAZA, 2009, p. 1095). Esse efeito está relacionado às flutuações do campo eletromagnético originadas da energia de ponto zero. Essas flutuações geram uma força entre as placas, que é conhecida como força de Casimir (MILONNI; COZINHAR; GOGGIN, 1988; ELIZADE; ROMEU, 1991 *apud* DENARDO; PUDA; LARRAZA, 2009, p. 1095).

Por analogia, esse efeito também ocorre em qualquer sistema que possua ondas aleatórias em que duas placas imersas causa um efeito de diferença de pressão entre elas e a parte externa, fazendo com que haja uma espécie de sucção causando a aproximação entre si, semelhante aos aspectos do vácuo quântico conhecido como ponto zero. Efeitos análogos a esse foram investigados em diferentes contextos, como entre navios (BOERSMA, 1996), ondas acústicas (LARRAZA, 1999), duas contos em uma corda (GRIFFITHS; HO, 2001) e até mesmo em meio aquático, objetivo desse deste artigo que propõe um experimento análogo de onda de água com o intuito de replicar o efeito Casimir.

Gaspar (2014, p. 233) destaca a importância da compatibilização de conteúdos com o tipo de atividade. A observância do experimento e os conteúdos selecionados devem estar em acordo entre si para garantir eficiência prática e pedagógica. O experimento do análogo de ondas de água do efeito Casimir, por utilizar um aparato simples e acessível, classifica-se como uma atividade de demonstração, pois, segundo Gaspar e Monteiro (2005, p. 228), a atividade “possibilita apresentar fenômenos e conceitos de Física, cuja explicação se fundamente na utilização de modelos físicos e priorize a abordagem qualitativa”. A observação do fenômeno permite a discussão conceitual, não sendo necessária a realização de medições. Gaspar (2014, p. 227) reforça que “essas interações sempre podem e devem ser promovidas, mesmo em demonstrações experimentais aparentemente destinadas apenas a surpreender ou encantar os estudantes”

As ondas de água em um recipiente podem representar de forma adequada as flutuações quânticas. Obviamente, não representam o fenômeno que ocorre no vácuo, mas servem como uma ilustração didática do fenômeno que Casimir previu teoricamente em 1948. As teorias quânticas são abstratas, mas a proposta deste trabalho busca entender como uma alternativa factual do efeito pode fomentar o desenvolvimento de habilidade de aprendizagem nos estudantes. Segundo Salan, Heisenberg e Dirac (1991 *apud* GASPAR, 2014, p. 50), “[...] observar significa que construímos alguma conexão entre um fenômeno e nossa concepção do fenômeno”. Em síntese, a orientação do professor antes da atividade é importante para a construção significativa do conhecimento do aluno por meio do experimento e potencializada, posteriormente, sob orientação, através da interação social entre seus pares.

A correlação de fenômenos quânticos com analogias cotidianas é uma ferramenta amplamente reconhecida como facilitadora no ensino de conceitos abstratos, especialmente na MQ. Conforme apontado por Aehle, Scheiger e Cartarius (2022, p.

1246), o uso de analogias em aulas de física é fundamental para aproximar os estudantes de conceitos complexos, permitindo-lhes entender a natureza da teoria quântica por meio de comparações com fenômenos mais familiares. Um exemplo clássico é a comparação entre a difração de elétrons e a difração de luz ao passar por um fio de cabelo, uma analogia que torna mais compreensível a dualidade onda-partícula (Aehle, Scheiger e Cartarius, 2022, p. 1243).

Em síntese, Velentzas e Halkia (2011) reforçam essa abordagem ao demonstrar como o uso de experimentos com luz pode servir como uma ponte para entender os comportamentos quânticos de partículas, especialmente no que se refere à difração. Além disso, a análise realizada por Didiş (2015, p. 355-356) mostra que analogias bem construídas ajudam os estudantes a relacionarem o novo conhecimento com experiências do cotidiano, promovendo uma maior compreensão conceitual. Assim, o uso de analogias e exemplos práticos não só ilustra a aplicação da teoria quântica, como também desmistifica a ideia de que a MQ é distante da realidade cotidiana, tornando o aprendizado mais tangível e acessível (Aehle, Scheiger e Cartarius, 2022; Velentzas e Halkia, 2011; Didiş 2015).

A utilização de um aparato experimental simples e acessível, como proposto por Gaspar (2014, p. 227) e Gaspar e Monteiro (2005, p. 227-228), permite a discussão conceitual do fenômeno, mesmo sem a necessidade de medições precisas, tornando-o adequado para grupos de estudantes, cuja bagagem matemática pode ser limitada para uma abordagem quantitativa da MQ. Além disso, o experimento proporciona um espaço para interações sociais proveitosas, que, segundo Gaspar (2014, p. 227), “sempre podem e devem ser promovidas, mesmo em demonstrações experimentais aparentemente destinadas apenas a surpreender e encantar os estudantes”.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A introdução de conceitos de MQ na EB é um passo essencial para a formação de cidadãos cientificamente letrados, capazes de participar ativamente das discussões sobre os avanços científicos e tecnológicos. A proposta de utilizar um experimento análogo ao efeito Casimir, de caráter demonstrativo, está em plena consonância com as diretrizes estabelecidas pela BNCC, contribuindo para o desenvolvimento das competências gerais e específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Brasil, 2018).

O experimento em questão, que simula as flutuações quânticas no vácuo por meio de ondas de água e que, por sua vez, ilustram o efeito Casimir, demonstrou ser uma ferramenta eficiente para aproximar os estudantes de conceitos abstratos de forma acessível. A simplicidade do aparato experimental, composto por materiais de fácil obtenção, viabiliza sua aplicação em sala de aula, permitindo que tanto o professor quanto os estudantes se envolvam ativamente no processo de observação e análise.

Embora o experimento não tenha sido aplicado com estudantes, a pesquisa bibliográfica realizada revela o valor pedagógico de analogias no ensino de conceitos complexos, especialmente na Física Moderna. Baseando-se nas recomendações de Denardo, Puda e Larraza (2009) e nos benefícios de analogias conforme identificado por Gaspar (2014) e Aehle, Scheiger e Cartarius (2022), este estudo sugere que a adoção de um experimento análogo como o proposto pode enriquecer o ensino de Física na EB. Estes autores destacam que o uso de analogias permite aos estudantes uma aproximação intuitiva e qualitativa de conceitos abstratos, promovendo a compreensão inicial de fenômenos complexos. Assim, projeta-se que o experimento poderá estimular a curiosidade científica e o pensamento crítico dos estudantes, ao mesmo tempo em que promove a interação entre pares e o aprendizado colaborativo, alinhando-se aos objetivos da BNCC. Dessa forma, o experimento servirá como ponto de partida para discussões mais aprofundadas sobre o comportamento quântico, preparando os estudantes para uma abordagem mais formal em etapas posteriores de sua formação acadêmica.

O experimento, quanto ao acontecimento do fenômeno, é de curta duração; contudo, essa característica pode ser explorada pedagogicamente, pois há um espaço para incentivar a curiosidade dos estudantes, promover questionamentos e estimular discussões que favoreçam a construção de um conhecimento científico mais sólido. De acordo com Higa e Oliveira (2012), atividades experimentais têm grande potencial para fomentar a interação social e o aprendizado colaborativo, elementos fundamentais em um ambiente educacional dinâmico.

O papel do professor, nesse contexto, é central. Ao atuar como mediador, ele não apenas orienta os estudantes na realização do experimento, mas também promove o debate crítico sobre os conceitos quânticos abordados. Essa mediação é essencial para garantir que os estudantes consigam relacionar os fenômenos observados com suas bases teóricas, conforme destacado por Gaspar e Monteiro (2005). A abordagem qualitativa do experimento, aliada à ausência de formalismos matemáticos complexos, favorece a

compreensão dos princípios quânticos, especialmente para estudantes cujo nível de conhecimento em matemática ainda está em desenvolvimento.

A construção da superfície vibratória, parte integrante do aparato experimental, exige cuidados específicos. A confecção e o ajuste dessa parte do experimento demandam habilidades técnicas como soldagem e o manuseio de ferramentas de perfuração. Nesse sentido, o acompanhamento e a supervisão do professor tornam-se imprescindíveis para garantir a segurança e o sucesso da montagem, sobretudo em atividades conduzidas pelos estudantes.

Ainda que o experimento com ondas de água não represente com precisão as flutuações quânticas no vácuo, sua eficácia como analogia didática é evidente. O uso de analogias no ensino de MQ é amplamente reconhecido como uma estratégia pedagógica eficaz, permitindo que os estudantes compreendam fenômenos complexos através de conceitos familiares. Segundo Aehle, Scheiger e Cartarius (2022), o emprego de comparações e metáforas simplifica a introdução de teorias complexas, como a dualidade onda-partícula e as interações quânticas.

A visualização prática do efeito Casimir por meio de um experimento simples e acessível não apenas ilustra os conceitos fundamentais da MQ, como também estimula o interesse dos estudantes pela Física Moderna. Em consonância com a Competência Específica 3 da BNCC do Ensino Médio, que visa o desenvolvimento do pensamento científico e crítico, a proposta promove a investigação e o questionamento, incentivando os estudantes a aplicarem o método científico na resolução de problemas (Brasil, 2018). A habilidade presente no texto da BNCC, EM13CNT301, também é diretamente trabalhada ao permitir que os estudantes formulem hipóteses, analisem resultados experimentais e construam conclusões embasadas em dados observados.

A simplicidade do aparato experimental, aliada ao caráter intuitivo do experimento, faz com que essa metodologia seja uma ferramenta valiosa no ensino de conceitos abstratos da Física. A interação entre teoria e prática, favorecida pela visualização experimental do efeito Casimir, aprofunda o entendimento dos estudantes sobre a relação entre matéria e energia, promovendo a assimilação dos conceitos discutidos em sala de aula.

Conforme apontado por Gaspar (2014), a experimentação didática deve ser concebida de forma a despertar nos estudantes o interesse pela ciência, estimulando não apenas a compreensão dos fenômenos, mas também a curiosidade científica. Essa proposta pedagógica se alinha com a perspectiva contemporânea de que o aprendizado é



construído coletivamente, em um ambiente que privilegia a investigação e o diálogo entre pares.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A proposta de utilizar um experimento análogo ao efeito Casimir no ensino de MQ na EB mostra-se como uma abordagem promissora para tornar conceitos quânticos acessíveis aos estudantes, oferecendo-lhes uma introdução prática e intuitiva a esses fenômenos. Embasado em uma pesquisa bibliográfica que revela a importância das analogias no ensino de Física Moderna, este estudo propõe o experimento como uma ferramenta de aproximação dos estudantes a conceitos abstratos, preenchendo uma lacuna existente no ensino de Física para este nível de escolaridade.

A implementação desse experimento, alinhada às diretrizes da BNCC, visa não apenas facilitar o entendimento de fenômenos complexos, mas também contribuir para o desenvolvimento de habilidades fundamentais, como o pensamento crítico, a formulação de hipóteses e a análise de fenômenos científicos. Tais competências são essenciais para a formação de cidadãos cientificamente letrados e capazes de participar ativamente de discussões que envolvem avanços tecnológicos e científicos. A viabilidade pedagógica do experimento, destacada por sua simplicidade e pela possibilidade de construção com materiais acessíveis, reforça o valor dessa proposta, possibilitando que estudantes de diferentes contextos escolares possam se beneficiar de uma educação científica mais próxima de inovações contemporâneas.

Ainda que o experimento não tenha sido aplicado em campo, os estudos analisados indicam que o uso de analogias é eficaz na mediação entre o conhecimento teórico e o empírico, permitindo que o professor utilize o experimento não apenas como um recurso demonstrativo, mas como um ponto de partida para discussões mais profundas sobre a MQ. Com base em contribuições de autores como Gaspar (2014) e Aehle, Scheiger e Cartarius (2022), espera-se que essa abordagem contribua para desmistificar a Física Moderna e incentivar os estudantes a relacionarem a ciência ao mundo ao seu redor, promovendo, inclusive, o interesse por carreiras científicas.

No contexto do ensino de Física na EB, o experimento proposto representa uma metodologia que não exige formalismos matemáticos complexos, mas que permite uma compreensão qualitativa inicial de fenômenos quânticos, aspecto que é reforçado pela literatura analisada. Dessa forma, o estudo contribui para a ampliação do repertório

pedagógico e para a construção de um ensino de Física mais dinâmico e interativo, que alinha conceitos teóricos com práticas experimentais adaptadas ao nível de entendimento dos estudantes.

Como desdobramento futuro, recomenda-se a realização de estudos empíricos que avaliem o impacto do experimento proposto em sala de aula, incluindo análise de feedback dos estudantes e observações sobre o desenvolvimento de competências específicas, conforme indicadas pela BNCC. Esses estudos poderão contribuir para o aprimoramento da metodologia e para a compreensão mais ampla de sua aplicabilidade em diferentes contextos educacionais.

Assim, conclui-se que a metodologia baseada na analogia entre ondas de água e flutuações quânticas no vácuo, ao proporcionar uma conexão concreta entre teoria e prática, possui grande potencial para enriquecer o ensino de Física na EB, tornando conceitos avançados da MQ mais acessíveis e estimulando o desenvolvimento do pensamento científico e da curiosidade intelectual dos estudantes.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES (Código de Financiamento 001).

## REFERÊNCIAS

AEHLE, S.; SCHEIGER, P.; CARTARIUS, Holger. An approach to quantum physics teaching through analog experiments. **Teaching and Learning Quantum Theory and Particle Physics**, Stuttgart, Alemanha, ed. 4, p. 1241-1252, 12 out. 2022. DOI <http://dx.doi.org/10.18419/opus-14031>. Disponível em: <https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/14050>. Acesso em: 23 out. 2024.

ARAÚJO, M. S. T. DE; ABIB, M. L. V. DOS S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 25, ed. 2, p. 176–194, 1 jun. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/>. Acesso em: 15 out. 2024.

BOERSMA, S. L. A maritime analogy of the Casimir effect. **American Journal of Physics**, [S. l.], v. 64, n. 5, p. 539-541, 1 maio 1996. DOI <https://doi.org/10.1119/1.18150>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aapt/ajp/article/64/5/539/1045467/A-maritime-analogy-of-the-Casimir-effect>. Acesso em: 15 maio 2023.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 291–313, 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607>. Acesso em: 17 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 2002.

CASIMIR, H. B. G. On the attraction between two perfectly conducting plates. **Indag. Math.**, [s. l.], v. 10, ed. 4, p. 261--263, 1948. Disponível em: <https://inspirehep.net/literature/24990>. Acesso em: 15 out. 2024.

COUGO-PINTO, M. V; TORT, A. **Tormenta no vazio: o vácuo quântico e o efeito Casimir**. Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 25, ed. 146, p. 26-32, 1 fev. 1999.

DENARDO, B. C.; PUDA, J. J.; LARRAZA, A. **A water wave analog of the Casimir effect**. **American Journal of Physics**, [s. l.], v. 77, ed. 12, p. 1095-1101, 1 dez. 2009. DOI <https://doi.org/10.1119/1.3211416>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aapt/ajp/article/77/12/1095/1042888/A-water-wave-analog-of-the-Casimir-effect?pdfCoverIconEvent=cite>. Acesso em: 29 set. 2024.

DIDIŞ, N. The analysis of analogy use in the teaching of introductory quantum theory. **Chemistry Education Research and Practice**, Berlim, Alemanha, v. 16, ed. 2, p. 355-376, 17 mar. 2015. DOI <https://doi.org/10.1039/C5RP00011D>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/rp/c5rp00011d>. Acesso em: 15 out. 2024.

FEYNMAN, R. P. **Sobre as leis da física**. Tradução Marcel Novais; Revisão Técnica Nelson Studart. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012. 180 p. ISBN 978-85-7866-047-5.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de Física: uma nova visão baseada na teoria de Vigoski**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. 252 p. ISBN 978-85-7861-247-4.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. **Atividade experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsk**. Investigações em Ensino de Ciências, [s. l.], v. 10, ed. 2, p. 227-254, 2005. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/download/518/315/1042>. Acesso em: 18 set. 2024.

GRIFFITHS, D. J.; HO, E. **Classical Casimir effect for beads on a string**. **American Journal of Physics**, [S. l.], v. 69, n. 11, p. 1173-1176, 1 nov. 2001. DOI <https://doi.org/10.1119/1.1396620>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aapt/ajp/article/69/11/1173/529283/ClassicalCasimir-effect-for-beads-on-a-string>. Acesso em: 16 set. 2024.

HEISENBERG, W. Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen. **Zeitschrift für Physik**, [s. l.], ed. 33, p. 879-893, 29 jul.

1925. DOI <https://doi.org/10.1007/BF01328377>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01328377>. Acesso em: 2 mai. 2023.

INTRAVAIA, F.; KOEV, S.; JUNG, I. W.; TALIN, A. A.; DAVIDS, P. S.; DECCA, R. S.; AKSYUK, V. A.; DALVIT, D. A. R.; LÓPEZ, D. **Strong Casimir force reduction through metallic surface nanostructuring**. *Nat Commun*, [S. l.], v. 4, n. 2515, p. 1-8, 27 jul. 2013. DOI <https://doi.org/10.1038/ncomms3515>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms3515#citeas>. Acesso em: 16 out. 2024.

LAMOREAUX, S. K. Demonstration of the Casimir Force in the 0.6 to  $6\mu\text{m}$  Range. **Phys. Rev. Lett.**, Rio de Janeiro, v. 78, ed. 1, p. 5-8, 1 jan. 1997. DOI [10.1103/PhysRevLett.78.5](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.78.5). Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.78.5>. Acesso em: 24 out. 2024.

OLIVEIRA, Y. A.; ANDREATA, M. A. "O EFEITO CASIMIR". **Blucher Physics Proceedings**, Rio de Janeiro, v. 1, ed. 1, p. 39-44, 2014. DOI <http://dx.doi.org/10.5151/phypro-sefiscac-008>. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/o-efeito-casimir-9926>. Acesso em: 24 out. 2024.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma Revisão Bibliográfica Sobre A Área De Pesquisa “Física Moderna E Contemporânea No Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 23–48, 2016. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 17 set. 2024.

SPARNAAY, M. J. Measurements of attractive forces between flat plates. **Physica**, [s. l.], v. 24, ed. 6, p. 751-764, 1958. DOI [https://doi.org/10.1016/S0031-8914\(58\)80090-7](https://doi.org/10.1016/S0031-8914(58)80090-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031891458800907>. Acesso em: 21 out. 2024.

VELENTZAS, A.; HALKIA, K.. The ‘Heisenberg’s Microscope’ as an Example of Using Thought Experiments in Teaching Physics Theories to Students of the Upper Secondary School. **Research in Science Education**, Berlim, Alemanha, v. 41, ed. 4, p. 525–539, 1 ago. 2011. DOI <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9178-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-010-9178-1>. Acesso em: 23 out. 2024.