

## GAMIFICAÇÃO E ROBÓTICA EDUCACIONAIS NO ENSINO DE ONDULATÓRIA NO ENSINO MÉDIO: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UMA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

*Gamification and educational robotics in the teaching of wave physics in high school: development and evaluation of a pedagogical intervention*

**Thiago Ferreira Couto** [thiago.couto@sou.unifal-mg.edu.br]

**João Vicente Zampieron** [joao.zampieron@unifal-mg.edu.br]

*Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL*

*Av. Jovino Fernandes Salles 2600 (Santa Clara), Alfenas, MG, 37133-840*

*Recebido: 26/12/25*

*Aceito: 29/03/2026*

### Resumo

A presente dissertação tem como objetivo desenvolver, aplicar e avaliar um produto educacional integrando gamificação e robótica para o ensino de ondulatória no Ensino Médio. A proposta resultou no jogo de tabuleiro “Bat e Volta – Curta Essa Onda!”, que utiliza desafios conceituais, pontuação e recompensas simbólicas relacionadas à construção de uma trena digital ultrassônica programada na plataforma Arduino. A pesquisa fundamenta-se nos referenciais do “construtivismo” de Piaget e do “construcionismo” de Papert. Metodologicamente, caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, qualitativa e com delineamento quase-experimental, cujos dados foram coletados por observação participante e registros reflexivos. Os resultados indicaram ganhos significativos de aprendizagem, maior engajamento e fortalecimento do raciocínio científico, demonstrando que a união entre ludicidade, tecnologia e prática experimental potencializa a compreensão de fenômenos ondulatórios. Conclui-se que robótica educacional e gamificação são estratégias eficazes para tornar o ensino de Física mais dinâmico, significativo e alinhado à realidade tecnológica dos estudantes.

**Palavras-chave:** gamificação; robótica educacional; ondulatória; metodologias ativas; ensino de Física.

### Abstract

This dissertation aims to develop, implement, and evaluate an educational product that integrates gamification and robotics for teaching wave physics in High School. The proposal resulted in the board game “Bat e Volta – Curta Essa Onda!”, which uses conceptual challenges, scoring, and symbolic rewards related to the construction of an ultrasonic digital measuring device programmed on the Arduino platform. The research is grounded in the theoretical frameworks of Piaget’s “constructivism” and Papert’s “constructionism.” Methodologically, it is characterized as applied research, with a qualitative approach and a quasi-experimental design, with data collected through participant observation and reflective records. The results indicated significant learning gains, greater engagement, and strengthened scientific reasoning, demonstrating that the combination of playfulness, technology, and experimental practice enhances the understanding of wave phenomena. It is concluded that educational robotics and gamification are effective strategies to make the teaching of Physics more dynamic, meaningful, and aligned with the technological reality of students.

**Keywords:** gamification; educational robotics; wave physics; active methodologies; physics teaching.

## Introdução

A educação contemporânea enfrenta desafios significativos para engajar estudantes em um mundo cada vez mais tecnológico e dinâmico. Existe um dilema pedagógico entre o que se espera do ensino de Física e a realidade da aprendizagem desta ciência na Educação Básica. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (2006), a Física é um conhecimento que permite elaborar modelos de evolução cósmica, investigar os mistérios do mundo submicroscópico, das partículas que compõem a matéria, ao mesmo tempo que permite desenvolver novas fontes de energia e criar novos materiais, produtos e tecnologias.

O ensino de Física no Ensino Médio tem como objetivo desenvolver uma visão que vá além do mundo imediato. Ao fornecer uma compreensão dinâmica do universo e a capacidade de transcender os limites temporais e espaciais, a Física articula um conhecimento mais amplo do universo. Paralelamente ao seu caráter prático, é essencial destacar a dimensão filosófica da Física, que possui uma beleza e importância intrínsecas que devem ser valorizadas no processo educativo (Brasil, 2006).

Em contraste com as abordagens mais eficazes, o PCN (2006) aponta que o ensino de Física se tem realizado, frequentemente, de maneira fragmentada e pouco significativa. Esse modelo privilegia a apresentação desarticulada de conceitos, leis e fórmulas, que se encontram distanciados tanto do cotidiano dos alunos e professores quanto do seu significado prático, esvaziando-os de sentido.

A prática atual prioriza a teoria e a abstração desde o início, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que deveria, idealmente, partir de exemplos concretos e da prática. Enfatiza-se, assim, a utilização de fórmulas em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática de seu efetivo significado físico. A insistência na solução de exercícios repetitivos sugere que a aprendizagem ocorre por automatização ou memorização, e não pela construção ativa do conhecimento e pelo desenvolvimento de competências.

Além disso, o conhecimento é apresentado como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como Galileu, Newton ou Einstein, o que leva os estudantes a concluir que não há mais problemas significativos a serem resolvidos. Soma-se a isso a extensa lista de conteúdos, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo.

A ondulatória, por exemplo, converge em um dos temas mais complexos para a plena compreensão dos alunos. Fica evidente que a simples resolução de uma lista exaustiva de exercícios sobre as diversas facetas das ondas não é suficiente. É imperativo contextualizar o tema e demonstrar suas aplicações práticas.

Nesse contexto desafiador, metodologias ativas, como a gamificação e a robótica educacional, emergem como ferramentas promissoras para o ensino de conceitos complexos em Física. De fato, a literatura corrobora essa necessidade: de acordo com Lovato et al. (2018), é crucial que o processo de ensino-aprendizagem siga a tendência das metodologias ativas, nas quais o aluno é o protagonista na construção do saber e o professor atua como mediador e facilitador. Corroborando essa visão, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) enfatiza a importância de práticas pedagógicas que promovam a participação ativa dos estudantes, estimulando o protagonismo e a autonomia na construção do conhecimento (Brasil, 2018)."

A escolha pelo tema desta pesquisa está ligada à percepção de que a Física, embora seja uma disciplina fundamental, ainda encontra muitas barreiras quando se trata de despertar o interesse dos estudantes do Ensino Médio. Em vez de limitar-se à transmissão tradicional de fórmulas e definições, o autor sempre vislumbrou a possibilidade de transformar o ensino em uma experiência mais envolvente. Desde cedo, o contato com jogos de tabuleiro, recursos tecnológicos e atividades

de experimentação despertava curiosidade e encantamento, elementos que se tornaram parte de sua trajetória pessoal e acadêmica.

O exercício da docência, por sua vez, aguçou esse olhar investigativo. Ao observar o cotidiano escolar, ficava evidente que conceitos de ondulatória — como frequência, amplitude e velocidade de propagação — poderiam ganhar sentido se fossem explorados em situações práticas e interativas. A experiência mostrou que a simples resolução de listas de exercícios não era suficiente para garantir compreensão; era preciso encontrar caminhos que trouxessem significado e despertassem engajamento. Foi nesse ponto que a gamificação e a robótica começaram a se revelar como alternativas promissoras.

Ao longo da investigação inicial, as leituras revelaram que não se tratava de um campo restrito, como antes se imaginava. A literatura traz uma quantidade expressiva de trabalhos que relacionam jogos, robótica e ensino de Física, reforçando que esse é um terreno fértil para pesquisas e inovações pedagógicas. O contato com esse acervo ampliou as possibilidades de análise e fortaleceu a convicção de que a proposta poderia contribuir de forma consistente para o debate sobre metodologias ativas.

Nesse processo, os jogos e os dispositivos robóticos deixaram de ser vistos apenas como recursos recreativos e passaram a ser encarados como ferramentas pedagógicas de grande potencial. Essa mudança de perspectiva transformou também a postura do pesquisador, que passou a analisar tais recursos de modo crítico, procurando compreender como poderiam ser planejados e utilizados de forma significativa em sala de aula.

O que inicialmente parecia um desafio — pela suposta escassez de referências — revelou-se uma oportunidade: a diversidade de estudos mostrou que gamificação e robótica, quando aplicadas com intencionalidade pedagógica, podem enriquecer o ensino da Física. Esse movimento de descoberta não só afastou as incertezas, como também alimentou novas ideias e propostas para a intervenção.

Com base nessa motivação e na experiência acumulada, o presente trabalho defende a viabilidade de transformar o ensino de ondulatória em um processo mais participativo, em que o lúdico e o experimental caminhem juntos. O propósito central da dissertação é justamente investigar em que medida a combinação de gamificação e robótica pode ampliar o engajamento e a compreensão conceitual dos alunos do Ensino Médio, demonstrando que é possível ensinar Física de forma significativa e prazerosa.

A presente pesquisa justifica-se pela necessidade de repensar as práticas de ensino da Física no Ensino Médio, especialmente no que se refere ao estudo da ondulatória. Esse conteúdo, por sua natureza abstrata e matemática, costuma ser percebido pelos alunos como de difícil compreensão, resultando em desmotivação e baixo engajamento. Essa dificuldade está diretamente relacionada ao modelo de ensino ainda predominante, centrado na exposição de fórmulas e resolução mecânica de exercícios, sem articulação com a experiência concreta dos estudantes.

Nesse cenário, metodologias inovadoras, capazes de articular teoria e prática de maneira significativa, ganham relevância. A gamificação, entendida como a incorporação de elementos e dinâmicas de jogos em contextos não lúdicos, tem se mostrado um caminho promissor para aumentar a motivação e a participação dos alunos. Ao permitir que o estudante avance por etapas, receba feedback imediato e seja recompensado por sua progressão, a gamificação transforma o processo de aprendizagem em uma experiência mais envolvente e interativa.

Complementarmente, a robótica educacional amplia as possibilidades pedagógicas, ao oferecer meios concretos para a aplicação prática de conceitos físicos e matemáticos. O uso de protótipos com sensores e microcontroladores, como no caso da trena digital ultrassônica, possibilita que abstrações como frequência, período, amplitude e velocidade de propagação sejam visualizadas em experimentos reais. De acordo com estudos recentes, a integração da robótica no ensino favorece o desenvolvimento de competências essenciais no século XXI, como pensamento crítico, criatividade e capacidade de resolução de problemas.

A junção entre gamificação e robótica, portanto, configura-se como uma estratégia inovadora para o ensino de ondulatória, permitindo que os alunos compreendam conceitos

complexos de forma prática e motivadora. Além de contribuir para a aprendizagem de Física, essa abordagem fomenta habilidades interdisciplinares, alinhadas às demandas da BNCC e aos desafios da formação de cidadãos ativos e tecnologicamente preparados. Dessa forma, a criação e aplicação do jogo “Bat e Volta – Curta essa Onda!” se justificam não apenas como um recurso didático alternativo, mas como uma proposta pedagógica que busca aproximar a Física do universo dos estudantes e ressignificar o papel da escola diante das transformações da sociedade contemporânea.

Diante do exposto, esta pesquisa traz como problema central o seguinte questionamento: Qual é a contribuição da integração entre gamificação e robótica educacional para a aprendizagem dos conceitos de ondulatória no Ensino Médio, no que tange ao engajamento, à compreensão e à aplicação prática dos conteúdos? Nesse contexto, delimitamos os seguintes objetivos:

O objetivo geral desta pesquisa consiste em analisar em que medida a integração de elementos de gamificação e robótica, por meio do jogo didático “Bat e Volta – Curta essa Onda!”, pode favorecer o ensino de ondulatória no Ensino Médio, ampliando a motivação, o engajamento e a compreensão conceitual dos estudantes.

Os objetivos específicos são:

- Criar um jogo de tabuleiro que represente graficamente uma onda senóide, incorporando elementos de gamificação como níveis, pontuação e feedback imediato.
- Validar um conjunto de questões e desafios sobre mecânica das ondas, articulados aos conteúdos previstos na BNCC para o Ensino Médio.
- Desenvolver um sistema de pontuação que permita a aquisição progressiva de componentes e linhas de programação para a montagem de uma trena digital ultrassônica com Arduino, relacionando teoria e prática.
- Implementar a intervenção pedagógica em turmas do Ensino Médio, observando a execução do jogo e a construção dos protótipos de robótica educacional.
- Avaliar os efeitos da proposta sobre a aprendizagem conceitual de ondulatória e sobre o interesse dos alunos pela robótica, por meio de análises qualitativas (observações e relatos).

### **Fundamentação Teórica**

A ondulatória é um dos ramos mais relevantes da Física, responsável por descrever fenômenos que envolvem a propagação de energia sem o transporte de matéria. Segundo Tipler e Mosca (2009), uma onda pode ser compreendida como uma perturbação que se propaga em um meio, transferindo energia de um ponto a outro. Essa definição abrange uma ampla gama de manifestações físicas, desde o som e a luz até ondas em cordas, na superfície da água e em sistemas eletromagnéticos. A relação fundamental da onda  $v = \lambda \cdot f$  ( $v$ : velocidade;  $\lambda$ : comprimento de onda;  $f$ : frequência) expressa que a velocidade de propagação de uma onda resulta do produto entre o seu comprimento de onda e sua frequência. Essa relação é central para a compreensão conceitual do fenômeno ondulatório, pois amarra matematicamente o comportamento físico das ondas, permitindo interpretar que qualquer alteração em  $\lambda$  ou em  $f$  impacta diretamente a dinâmica da onda observada.

No contexto deste produto pedagógico, tal relação será explorada de forma concreta por meio da coleta e manipulação de dados reais gerados pelo sensor ultrassônico da placa Arduino presente no jogo BAT E VOLTA – CURTA ESSA ONDA!. Ao medir distâncias e tempos reais de propagação, os estudantes poderão associar a equação fundamental do fenômeno à experiência prática, analisando como a variação dos parâmetros obtidos experimentalmente se conectam às grandezas físicas envolvidas. A proposta, portanto, permite que a equação  $v = \lambda \cdot f$  deixe de ser apenas abstração formalizada no quadro, passando a operar como ferramenta interpretativa aplicada, reforçando a compreensão da natureza física das ondas e fortalecendo o vínculo epistemológico entre teoria matemática, experimentação ativa e resolução de problemas no ensino de Física. A compreensão desses fenômenos é essencial, pois revela princípios fundamentais da natureza, como a conservação de energia e a relação entre campo e matéria (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Ondas são fenômenos físicos cujo estudo e compreensão é de grande interesse em muitas áreas como tecnologia, medicina, localização, etc. Um tipo de onda muito importante quanto a sua natureza e propagação são as ondas mecânicas, que por definição, consiste numa “perturbação de um meio material elástico, a qual se propaga, através desse meio, transportando energia e quantidade de movimento” (Calçada E Sampaio, 2006, p. 307). É digno de nota que ondas mecânicas precisam de um meio físico para se propagar, ou seja, não se propaga no vácuo.

Dentre as ondas mecânicas, temos as ondas sonoras. O que são ondas sonoras? Vejamos uma definição:

As ondas sonoras são ondas de pressão, determinadas pela propagação através do meio de variações de pressão das moléculas. Por isso, numa onda sonora em propagação, alternam se regiões de compressão (em que as moléculas estão bem próximas umas das outras) e regiões de rarefação (em que as moléculas estão afastadas entre si). Como a direção de vibração das moléculas do meio coincide com a direção de propagação, as ondas sonoras são ondas longitudinais (Calçada e Sampaio, 2006, p. 449).

De acordo com Alvarenga e Máximo (1986), ondas sonoras são assimiladas pela audição humana se estiverem na faixa de frequência entre 20Hz e 20.000Hz, ou seja, ondas sonoras abaixo dessa faixa são consideradas infrassom e acima são chamadas de ultrassom e, portanto, inaudíveis para humanos.

Na perspectiva de aplicação didática no segundo ano do Ensino Médio, o conteúdo da ondulatória pode ser trabalhado de modo a conectar o abstrato ao concreto. É proveitoso iniciar com demonstrações visuais simples — por exemplo, uma corda vibrando ou ondas em um tanque de água — para que os alunos observem amplitude, comprimento de onda, frequência e oscilação das partículas do meio. Em seguida, pode-se propor atividades de cálculo leve: medir a distância entre cristas, estimar o período de oscilação, e aplicar a relação  $v=\lambda.f$ .

Além disso, a ondulatória oferece excelentes oportunidades para interdisciplinaridade e contexto de engenharia e física aplicada — por exemplo, a propagação de ondas sonoras em tubos, eco em ambientes, ou transmissão de sinais elétricos como uma analogia das ondas. O uso de softwares ou simulações, aliado a experimentos simples (como uma corda com motor de vibração ou um tubo com ondas estacionárias), pode tornar o ensino mais significativo e motivador. Assim, o módulo de ondulatória no segundo ano ganha um caráter não apenas de memorizar fórmulas, mas de desenvolver compreensão profunda e aplicabilidade — o que reforça, para os estudantes, o valor da física como instrumento de entendimento e não mera formalidade.

A ecolocalização é um mecanismo biológico utilizado por diversas espécies animais para a navegação e captura de presas em ambientes com pouca ou nenhuma iluminação. O processo consiste na emissão de ondas sonoras de alta frequência, que ao colidirem com obstáculos ou presas, retornam ao emissor na forma de ecos. A interpretação dessas ondas refletidas permite aos animais obter informações detalhadas sobre o ambiente, como distância, tamanho, textura e até mesmo movimento dos objetos ao redor (Griffin, 1958).

No século XVIII, o naturalista italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) realizou experimentos fundamentais para o entendimento da ecolocalização em morcegos. Ele observou que esses animais, mesmo quando privados da visão, conseguiam desviar de obstáculos e capturar presas, o que o levou a suspeitar que utilizavam outro sentido para se orientar (Kaiut et al., 2009, p. 212; Alvarenga e Máximo, 1986, p. 589).

Em seus experimentos, Spallanzani cobriu os olhos dos morcegos e percebeu que eles continuavam a voar com destreza. No entanto, ao bloquear lhes os ouvidos, os morcegos passaram a colidir com objetos, sugerindo que a audição desempenhava um papel essencial na sua navegação (Capanna, 1999).

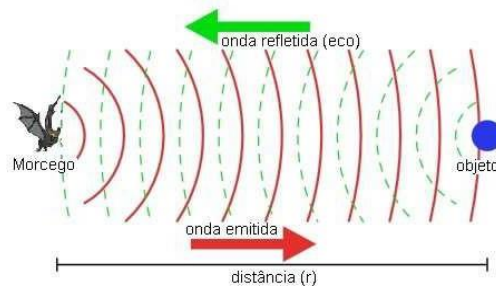


Figura 1 – Esquema da ecolocalização em morcegos  
Fonte: Cultura Mix (2025)

Conforme pode-se notar na figura 1, os morcegos emitem ondas de ultrassom que por sua vez são refletidas ao chocar com obstáculos e retornam aos ouvidos dos morcegos sendo então traduzidas em uma imagem compreendida pelo animal e a distância ( $r$ ) do obstáculo é discernida. Esse fenômeno de reflexão da onda sonora é conhecido como eco. Essa propriedade inerentemente instintiva nos morcegos foi estudada pelo campo da biomimética e reproduzida amplamente para muitas finalidades.

A ecolocalização dos morcegos ocorre através da emissão de pulsos ultrassônicos, geralmente entre 20 kHz e 200 kHz, que são imperceptíveis ao ouvido humano. Esses sons são produzidos na laringe e emitidos pela boca ou narinas, dependendo da espécie. Quando os pulsos atingem um objeto, parte da onda sonora é refletida de volta ao morcego, que capta esses ecos por meio de seu sistema auditivo altamente sensível (Simmons; Stein, 1980).

Ao interpretar os tempos de retorno, a intensidade e a variação de frequência dos ecos, os morcegos podem calcular com precisão a distância e a posição dos objetos. Esse mecanismo é tão avançado que permite a alguns morcegos discernir texturas e diferenciar presas de outros objetos fixos ou móveis no ambiente (Fenton, 1992).

O entendimento moderno da ecolocalização foi significativamente ampliado na década de 1930, quando os cientistas Donald Griffin e Robert Galambos comprovaram experimentalmente que os morcegos emitiam sons ultrassônicos para se orientar. Griffin (1958) cunhou o termo ecolocalização e desenvolveu pesquisas que demonstraram como os morcegos ajustam a frequência e a duração dos pulsos sonoros para otimizar a captação dos ecos em diferentes ambientes (Griffin, 1958).

A ecolocalização não é exclusiva dos morcegos, sendo observada também em golfinhos, baleias e algumas espécies de aves. Entretanto, os morcegos apresentam um dos sistemas de sonar mais refinados do reino animal, conseguindo detectar objetos tão pequenos quanto um fio de cabelo humano e ajustar a frequência de seus chamados conforme a necessidade (Jones; Holderied, 2007).

O estudo da ecolocalização dos morcegos serviu de inspiração para diversas tecnologias modernas, incluindo sistemas de sonar, ultrassonografia médica e radares para navegação aérea. A forma como os morcegos ajustam suas frequências para detectar objetos influenciou o desenvolvimento de algoritmos para sensores ultrassônicos utilizados em automação e em veículos autônomos (Stilz; Brinker, 2010).

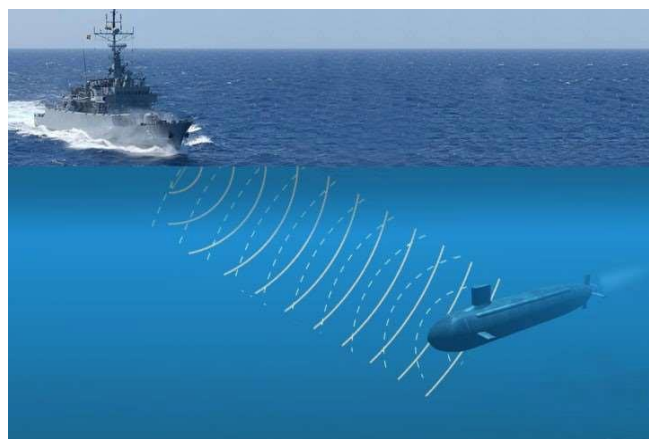


Figura 2 – Sonar utilizado para localizar um submarino  
Fonte: GALANTE, 2018

Dentre as aplicações das ondas de ultrassom temos as equipes de prospecção que usam essas ondas para sondar a crosta terrestre em busca de petróleo. Os navios possuem equipamentos de localização por meio do som (sonar) para detectar obstáculos ou inimigos submersos (conforme Figura 2). Os submarinos usam ondas sonoras para emboscar outros submarinos ouvindo os ruídos produzidos pelo sistema de propulsão (Halliday e Resnick, 2016, p. 154).

Entre os anos de 1948 e 1950, o uso de ondas de ultrassom foi estudado na área médica, em especial para diagnóstico por imagem. De acordo com Miller (2008), o médico americano Douglas Howry junto com W. Roderic Bliss construiu o primeiro sistema de ultrassonografia conseguindo produzir a primeira imagem seccional em 1950. Após a década de 80 houve grande impulso tecnológico que difundiu o uso do ultrassom como método diagnóstico.

O mecanismo de funcionamento da ultrassonografia por imagem pode ser descrito da seguinte forma: em geral, o aparelho é constituído por um monitor, onde a imagem é observada, e um ou mais transdutores onde os pulsos de ultrassom são emitidos e captados. Nos monitores existem controles para regular a intensidade das ondas de som captadas pelo transdutor, alterar a amplificação dos ecos de retorno e determinar a profundidade da imagem visualizada na tela. A maioria dos modelos também apresenta um teclado para anotação de dados e tem funções para obtenção de medidas (Green, 1996, p. 5). Conforme explica Augusto e Pachaly (2000), no monitor, os ecos de retorno são representados por pontos cuja profundidade depende do tempo de retorno desses ecos.



Figura 3 – Imagem de um feto em ultrassonografia obstétrica  
Fonte: Tomocenter, 2024

Existe uma escala de cor cinza para cada ponto correspondendo à amplitude ou à força do eco de retorno (conforme Figura 3). “Os ecos de pouca intensidade são representados como imagens de cor negra, os de média intensidade em tons de cinza e os de alta intensidade em branco” (Augusto e Pachaly, 2000, p. 62).

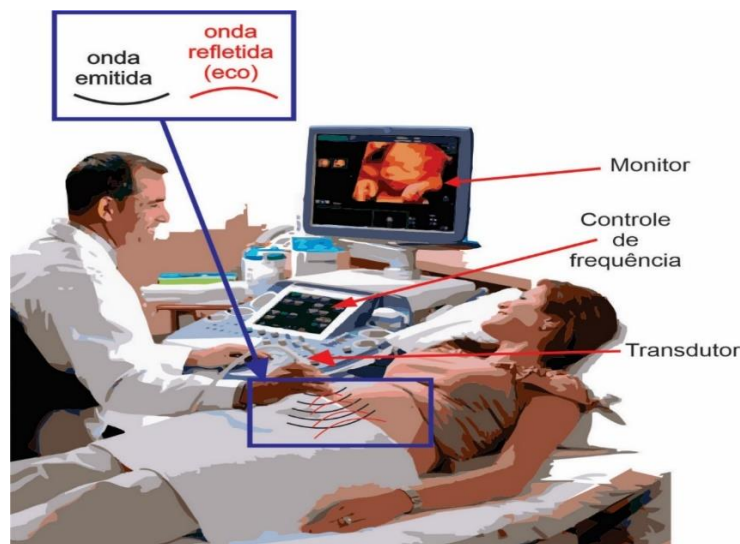


Figura 4 – Mecanismo de funcionamento de ultrassonografia por imagem  
Fonte: do autor, 2025

Conforme figura 4, os equipamentos de ultrassonografia por imagem têm um controle de frequência que visa regular a faixa de acordo com o objetivo do exame e os tecidos que precisam refratados e refletidos. O transdutor é responsável por emitir as ondas e recebe-as para enviar ao computador que traduz as ondas refletidas (eco) em imagem que, por sua vez apresenta o mesmo no monitor.

Um fenômeno ligado às variações de frequência de ondas sonoras relacionadas ao movimento que aumenta durante a aproximação e diminui com o distanciamento, foi proposto em 1842 pelo físico austríaco Johann Christian Doppler (1803-1853) mas não perfeitamente analisado. Em 1845 esse fenômeno foi estudado experimentalmente por Buys Ballot, na Holanda, usando uma locomotiva que puxava um vagão aberto com vários trompetistas. Esse fenômeno recebeu o nome de Efeito Doppler (Halliday e Resnick, 2016; Kawakama et al., 1993).

A aplicação do efeito Doppler associado à ultrassonografia, revolucionou esses exames de diagnóstico por imagem pois, de acordo com Carvalho et al (2008), essa ferramenta fornece informações em tempo real sobre a arquitetura vascular e os aspectos hemodinâmicos dos vasos em diversos órgãos, visto que na vasculatura, o tecido sanguíneo se encontra em movimento em relação ao observador. Sem utilizar do efeito Doppler as imagens seriam distorcidas ou imprecisas.

Ao longo da história da ciência, o estudo das ondas evoluiu de abordagens puramente mecânicas para modelos que incorporam a teoria eletromagnética e a mecânica quântica. Para Young e Freedman (2020), o desenvolvimento da teoria ondulatória da luz e a descoberta da dualidade onda-partícula representaram um marco no entendimento dos fenômenos físicos e consolidaram a importância da ondulatória como ponte entre a Física Clássica e a Moderna. Essa característica torna a área central na formação do pensamento científico, pois exige que o aluno transite entre diferentes representações — gráficas, matemáticas e conceituais — para compreender os fenômenos.

O movimento ondulatório é uma das manifestações mais elegantes da natureza. Ele traduz a regularidade com que a energia se propaga através de meios distintos, obedecendo a leis matemáticas que descrevem não apenas o deslocamento, mas a periodicidade e a simetria de eventos naturais (Hewitt, 2015, p. 213).

Os fenômenos ondulatórios podem ser classificados em mecânicos e eletromagnéticos, longitudinais e transversais, unidimensionais ou tridimensionais. A amplitude, o período, a frequência e o comprimento de onda são parâmetros fundamentais para caracterizar uma onda e compreender seu comportamento. Conforme resumem Halliday, Resnick e Walker (2016), a análise das propriedades das ondas permite explicar desde a propagação do som até a reflexão e refração da luz, integrando conceitos como interferência e difração. Esses princípios estão presentes em

aplicações tecnológicas que vão desde o funcionamento dos instrumentos musicais até a transmissão de dados via fibra óptica.

A aplicação dos conceitos ondulatórios transcende os limites da Física escolar, estando presente em áreas como medicina, engenharia e comunicação. A ultrassonografia, por exemplo, utiliza ondas sonoras de alta frequência para gerar imagens de tecidos internos, enquanto as micro-ondas e as ondas de rádio são indispensáveis para o funcionamento de redes sem fio e satélites (Young; Freedman, 2020). No contexto da educação científica, a abordagem desses exemplos práticos auxilia na contextualização e aproxima o conteúdo da realidade vivida pelos estudantes.

Os fenômenos ondulatórios estão em toda parte: nas vibrações das cordas de um violão, nas variações de pressão que produzem a fala, nas oscilações do campo elétrico que nos permitem acessar a internet. Ignorá-los é desconsiderar uma das linguagens fundamentais com que a natureza se expressa (Tipler; Mosca, 2009, p. 479).

A compreensão da ondulatória exige, portanto, uma abordagem conceitual articulada a experimentações e representações gráficas. A visualização do comportamento de uma onda — sua amplitude, periodicidade e interferência — é um elemento essencial para a consolidação do aprendizado. Como observa Hewitt (2015), a Física deve ser apresentada como uma forma de pensar sobre o mundo, e não apenas como um conjunto de equações. O ensino de ondulatória, ao privilegiar o raciocínio lógico e a percepção de regularidades, contribui para o desenvolvimento do pensamento científico, o que reforça sua importância dentro da matriz curricular da área de Ciências da Natureza.

A partir dessa perspectiva, o estudo das ondas permite compreender fenômenos cotidianos e tecnológicos. O aluno que reconhece a relação entre a vibração de uma corda e a emissão de som, ou entre a frequência de uma antena e o alcance de um sinal, passa a perceber a Física como ciência viva e aplicável (Halliday; Resnick; Walker, 2016). Assim, a ondulatória torna-se um eixo integrador da aprendizagem, possibilitando conexões com temas como energia, vibrações, acústica e óptica.

A aprendizagem de ondulatória estimula o raciocínio lógico e a percepção de padrões, características essenciais ao desenvolvimento cognitivo e científico. Segundo Moreira (2011), a formação em Física deve privilegiar a construção do conhecimento com base em experiências que permitam ao aluno agir, experimentar e refletir. Dessa forma, o ensino de ondas contribui não apenas para o domínio técnico, mas também para a formação de uma postura investigativa e crítica frente ao mundo.

A gamificação refere-se à aplicação de elementos e dinâmicas de jogos em contextos não lúdicos, com o objetivo de aumentar o engajamento, a motivação e a aprendizagem dos participantes. No contexto educacional, a gamificação tem sido explorada como uma estratégia para tornar o processo de ensino-aprendizagem mais atrativo e eficaz.

Segundo Deterding et al. (2011), "a gamificação é definida como a aplicação de elementos de design de jogos em contextos não relacionados a jogos" (Deterding et al., 2011, p. 10). Essa abordagem busca incorporar mecânicas de jogos, como pontos, níveis, recompensas e desafios, em atividades educacionais para incentivar comportamentos desejados e promover a aprendizagem.

O termo *gamificação* (do inglês *gamification*) emergiu nas discussões acadêmicas a partir da década de 2010, referindo-se ao uso de elementos de design de jogos em contextos que não são jogos. Segundo Deterding et al. (2011), a gamificação consiste na aplicação de princípios e mecânicas próprias dos jogos — como pontuação, feedback, desafios e recompensas — com o objetivo de promover o engajamento e a motivação dos participantes em atividades diversas, incluindo processos educacionais. O conceito distingue-se do jogo em si, pois não implica a criação de um jogo completo, mas a incorporação de sua lógica e estrutura em situações reais de aprendizagem.

A robótica educacional consolidou-se nas últimas décadas como um campo interdisciplinar de investigação e prática pedagógica, integrando princípios de ciência, tecnologia, engenharia e matemática em experiências de aprendizagem ativa. Segundo Alimisis (2013), essa área envolve a

concepção, construção e programação de artefatos robóticos com finalidades didáticas, estimulando o pensamento computacional e o raciocínio científico. O autor enfatiza que o principal valor da robótica está em transformar o aluno em protagonista do processo de aprendizagem, permitindo-lhe testar hipóteses e observar o impacto de suas ações de forma tangível e imediata.

A robótica educacional envolve o uso de kits e plataformas de robótica como ferramentas de ensino, permitindo que os alunos experimentem na prática conceitos e habilidades de áreas como programação, eletrônica, mecânica e matemática. Essa abordagem promove o desenvolvimento de competências essenciais no século XXI, como resolução de problemas, pensamento crítico, criatividade e trabalho em equipe.

De acordo com Altin e Pedaste (2013), "a robótica educacional pode ser uma ferramenta eficaz para promover a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas" (Altin; Pedaste, 2013, p. 365). Além disso, a robótica oferece oportunidades para a aplicação prática de princípios teóricos, facilitando a compreensão de conceitos abstratos.

Em sua essência, a robótica educacional fundamenta-se no paradigma do *aprender fazendo*, que associa manipulação, criação e reflexão. Essa perspectiva, defendida por Seymour Papert, originou-se a partir do movimento construcionista, no qual o conhecimento é construído ativamente a partir da produção de artefatos significativos (Papert, 1980). Ao construir um robô, o estudante mobiliza conhecimentos prévios, formula novos conceitos e desenvolve competências transversais, como colaboração e criatividade. A robótica, portanto, ultrapassa o campo técnico e assume papel epistemológico, pois promove a compreensão dos fenômenos científicos a partir da experimentação.

O construcionismo é uma extensão do construtivismo, mas vai além dele. Ele defende que a aprendizagem é mais eficaz quando as pessoas estão engajadas na construção de algo externo — um castelo de areia, uma máquina, um programa de computador ou um poema — que seja significativo para elas (Papert, 1980, p. 125).

A abordagem de Papert inspirou uma série de iniciativas educacionais que aliaram tecnologia, criatividade e colaboração. Entre elas destaca-se o movimento *maker*, amplamente discutido por Blikstein (2013), que propõe a criação de ambientes escolares de experimentação, como laboratórios de fabricação digital (*fab labs*) e oficinas de robótica. Esses espaços permitem que os alunos explorem a ciência de forma prática e significativa, ressignificando o papel da escola como espaço de invenção e não apenas de transmissão de conhecimento.

A teoria construtivista também introduz o conceito de ação como base do conhecimento. Para Piaget (1971), o aprendizado ocorre quando a criança age sobre o objeto e reflete sobre suas ações. Essa ênfase na manipulação concreta encontra ressonância em metodologias como a robótica educacional e a cultura *maker*, que promovem o “aprender fazendo” como princípio estruturante. Tais abordagens dialogam com a visão piagetiana ao situar o conhecimento como produto da interação ativa entre sujeito e mundo.

Os princípios construtivistas têm sido amplamente aplicados em metodologias ativas, como a aprendizagem baseada em projetos, a gamificação e a robótica educacional. Essas abordagens compartilham a ideia de que o conhecimento é resultado da ação e da reflexão. O aluno deixa de ser espectador e torna-se autor, protagonista de um processo que une curiosidade, erro e descoberta — exatamente o que Piaget (1970) descreveu como o motor do desenvolvimento intelectual.

## Metodologia

Este capítulo apresenta a metodologia adotada na pesquisa, abordando a descrição do produto pedagógico "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!", os materiais e recursos utilizados, o público-alvo, os procedimentos de aplicação do jogo e os métodos de coleta e análise de dados.

O produto pedagógico desenvolvido para esta pesquisa é um jogo de tabuleiro didático, denominado "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!", que tem como principal objetivo ensinar conceitos de Ondulatória de maneira gamificada e interativa.

O jogo é estruturado em um tabuleiro no formato de um gráfico senoide, representando visualmente a oscilação de uma onda. Os participantes, divididos em equipes, percorrem as casas do tabuleiro conforme os resultados obtidos no lançamento de dados. Para permanecer em determinada posição, os jogadores devem responder corretamente a perguntas sobre mecânica de ondas, organizadas em diferentes níveis de dificuldade.

Ao longo da partida, as equipes acumulam pontos chamados " $2\pi$ ", que representam créditos para a aquisição de componentes eletrônicos e linhas de código para a programação de uma trena digital ultrassônica baseada em Arduino. Dessa forma, além de consolidar conceitos teóricos de ondulatória, o jogo possibilita o aprendizado prático de robótica e programação.

O nome "BAT E VOLTA" foi escolhido estrategicamente, pois "BAT" significa morcego em inglês, remetendo ao princípio da ecolocalização dos morcegos, que utilizam ondas ultrassônicas para navegar no ambiente – tecnologia essa replicada na ultrassonografia médica e nos sensores de distância de robôs.

A integração entre gamificação e robótica no ensino de ondulatória busca tornar o aprendizado mais engajador e significativo, promovendo um ensino interdisciplinar e prático, alinhado com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a área de Ciências da Natureza.

Para a execução do jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!", foram necessários os seguintes materiais e recursos didáticos:

- a) Tabuleiro impresso com a trajetória em formato de gráfico senoide;
- b) Cartas com perguntas de múltipla escolha e cartas bônus;
- c) Peças para movimentação (peões de cores distintas);
- d) Dados;
- e) Cédulas  $\pi$ .

Para a montagem da trena ultrassônica foram necessários os seguintes itens:

- 1 Placa Arduino Uno
- 1 Sensor Ultrassônico HC-SR04
- 1 Display LCD 16x2
- 1 Protoboard
- 1 Porta-baterias
- 1 Bateria 9V
- 1 Fita métrica para conferir medida da trena
- 10 Jumpers
- 1 Computador com IDE Arduino instalada
- Código-fonte desenvolvido para a trena digital

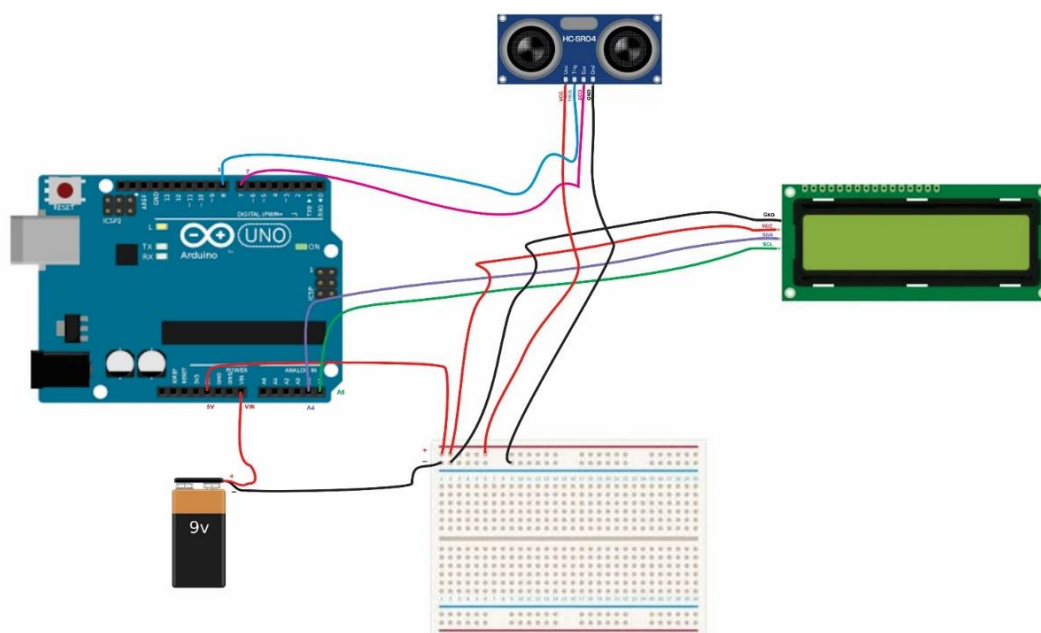


Figura 5 – Esquema de montagem da Trena Ultrassônica

Fonte: do autor, 2025

Professor mediador para orientação durante a atividade; Salas de aula equipadas com computadores e internet. A utilização desses recursos permite que os estudantes visualizem e experimentem na prática os conceitos de ondulatória, conectando o conteúdo teórico a aplicações reais na tecnologia e no cotidiano.

O jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!" foi desenvolvido para alunos do Ensino Médio, especialmente para turmas do 2º ano, que estudam Ondulatória na disciplina de Física. O público-alvo inclui estudantes de escolas públicas e privadas, sendo recomendado para turmas com até 30 alunos, organizados em duas equipes de 15 participantes.

O jogo pode ser aplicado tanto em aulas regulares de Física quanto em atividades extracurriculares, como feiras de ciências e oficinas de robótica, devido ao seu caráter interdisciplinar, envolvendo conceitos de Física, Matemática e Tecnologia.

Além disso, a abordagem gamificada do jogo pode ser estendida para alunos de cursos técnicos em áreas como Eletrônica e Automação, proporcionando um ensino mais prático e aplicado.

A aplicação do jogo será realizada seguindo os seguintes passos metodológicos:

a) Apresentação do Jogo e das Regras:

Aulas teórica: O professor faz uma breve introdução sobre ondulatória e a relação com a robótica educacional. Em seguida, as regras do jogo são explicadas, destacando a importância da colaboração entre os membros da equipe.

b) Distribuição das Peças e Cartas: Cada equipe recebe um peão e um conjunto de cartas contendo perguntas e desafios sobre ondulatória.

c) Desenvolvimento da Partida: As equipes jogam os dados para avançar no tabuleiro. Para permanecer na casa onde caíram, os jogadores devem responder corretamente às questões. Em determinadas casas (Bônus), os alunos podem ganhar créditos (" $\pi$ ") por lerem cartas com curiosidades sobre ondulatória.

Ao longo da partida, as equipes utilizam seus créditos acumulados para "comprar" componentes eletrônicos e linhas de código para a programação da trena. A montagem e programação do dispositivo são realizadas sob orientação do professor. A equipe que conseguir montar e fazer funcionar a trena primeiro é vencedora.

Os alunos testam sua trena digital e analisam seu funcionamento. O professor conduz uma discussão sobre como o jogo facilitou o aprendizado da Ondulatória e sua aplicação na tecnologia.

Este processo possibilita a interação ativa dos estudantes, fortalecendo a compreensão teórica por meio da aplicação prática.

Para avaliar a eficácia do jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!", serão utilizados métodos qualitativos na coleta e análise dos dados. Observação Participativa: Durante a aplicação do jogo, o professor observará o nível de participação dos alunos, a interação entre as equipes e as dificuldades encontradas. Registro de Percepções dos Alunos: Ao final da atividade, os alunos serão convidados a escrever breves relatos sobre sua experiência com o jogo, destacando o que aprenderam e como se sentiram ao utilizar a gamificação e a robótica.

A metodologia adotada nesta pesquisa foi planejada para integrar teoria e prática, utilizando gamificação e robótica como ferramentas de ensino inovadoras.

O jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!" se apresenta como uma abordagem interdisciplinar e motivadora, conectando os conteúdos de Física ao mundo real.

A coleta e análise de dados fornecerão indicadores concretos sobre o impacto da metodologia na aprendizagem dos alunos, possibilitando sua expansão para outras áreas do conhecimento e sua futura adaptação para novas realidades educacionais.

Este capítulo descreve o processo de criação, implementação e avaliação do jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!". O desenvolvimento foi orientado por abordagens interdisciplinares, unindo ondulatória, gamificação e robótica educacional para tornar o aprendizado mais dinâmico e significativo.

O jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!" foi concebido com o objetivo de tornar o ensino de Ondulatória mais envolvente e prático, integrando conceitos de mecânica de ondas e programação com Arduino. Sua criação envolveu três fases principais: Estruturação do Tabuleiro e da Dinâmica do Jogo; O tabuleiro foi projetado com um percurso em formato de onda senoide, representando visualmente o comportamento das ondas; O caminho é dividido em casas, sendo algumas delas especiais, onde os jogadores podem ganhar ou perder pontos; as equipes avançam lançando dados de seis lados, e para permanecer em determinada casa, precisam responder corretamente a perguntas sobre ondulatória.

Cada resposta correta concede pontos " $2\pi$ ", que podem ser utilizados para "comprar" componentes e linhas de código necessários para montar uma trena digital ultrassônica com Arduino; Criação das Cartas e Desafios; O jogo conta com dois tipos de cartas: Cartas de Pergunta: abordam conceitos fundamentais da Ondulatória, como frequência, amplitude, comprimento de onda e reflexão. Cartas de Desafio: apresentam experimentos ou questões relacionadas à robótica e ao funcionamento do sensor ultrassônico. As perguntas foram organizadas em níveis de dificuldade, permitindo uma progressão no aprendizado.

Integração com Robótica Educacional: O jogo foi projetado para não se limitar ao aprendizado teórico, mas também possibilitar a aplicação prática dos conceitos.

Os alunos utilizam os pontos adquiridos na partida para "comprar" componentes eletrônicos e trechos de código necessários para a programação de uma trena digital ultrassônica com Arduino Uno e sensor HC-SR04.

O código-fonte foi previamente desenvolvido e dividido em módulos, permitindo que os alunos compreendam como cada linha de código contribui para o funcionamento do sensor.

Para garantir uma aplicação eficiente do jogo, a implementação foi dividida em cinco etapas principais:

O professor introduz os conceitos básicos da Ondulatória. Explica-se o funcionamento do sensor ultrassônico HC-SR04, relacionando-o com o sonar de morcegos e o ultrassom médico.

São apresentadas as regras do jogo, esclarecendo como os pontos serão acumulados e utilizados.

Cada equipe recebe um peão colorido e um conjunto de cartas contendo perguntas e desafios. O tabuleiro é posicionado no centro da sala, e as equipes se revezam no lançamento dos dados.

Cada equipe deve responder corretamente às perguntas para permanecer na casa onde caiu. Caso erre, deve voltar algumas casas ou realizar um desafio prático relacionado à robótica. À medida que avançam no jogo, os alunos acumulam pontos " $2\pi$ ", que serão usados na fase seguinte.

Após o término da partida, cada equipe utiliza seus pontos acumulados para adquirir componentes e trechos de código. O professor guia os alunos na montagem dos circuitos no Arduino Uno, conectando o sensor ultrassônico HC-SR04 ao microcontrolador. Os alunos realizam a programação do dispositivo, inserindo os códigos adquiridos durante o jogo. A trena digital é testada, e os resultados são discutidos em sala.

## Resultados e Discussões

Relatos dos estudantes destacaram maior engajamento e compreensão: “agora entendi porque o sinal do wi-fi na minha casa é maior na sala que no meu quarto”; “eu pretendo fazer medicina, mas nunca vou esquecer que aprendi a interpretar uma ultrassonografia em uma aula de Física no Ensino Médio”; “Morro de medo de morcegos (rsrsrs), mas é muito fofo saber que eles enxergam pelo som”; “Achei super legal o jogo. A gente fica ansioso pra acertar e terminar logo pra montar a trena... Física assim é legal”. O diário de campo registrou colaboração espontânea durante a calibração da trena e entusiasmo em jogar.

Essas evidências qualitativas explicam o porquê dos ganhos: a aprendizagem foi favorecida pela combinação de narrativa (storytelling), visualização (simulações), ludicidade (gamificação) e prática concreta (maker).

Os resultados replicam o que já foi documentado em metanálises:

Gamificação: efeitos positivos em aprendizagem cognitiva ( $g \approx 0,49$ ) e motivação (Sailer; Homner, 2020).

Robótica/maker: efeito moderado em desempenho acadêmico ( $g \approx 0,57$ ) e competências STEM (Wang et al., 2023; Ouyang; Xu, 2024).

A gamificação mostra efeitos positivos significativos sobre a aprendizagem cognitiva, a motivação e o comportamento, especialmente quando combinada com elementos de narrativa e interação social. (Sailer e Homner, 2020, P. 80):

O alinhamento entre os resultados empíricos deste estudo e a literatura reforça a plausibilidade externa: a combinação de metodologias ativas (gamificação e maker/robótica) é mais eficaz que a instrução exclusivamente expositiva para promover aprendizagem significativa em ondulatória.

## Considerações Finais

O desenvolvimento e a aplicação do jogo “Bat e Volta – Curta Essa Onda!” confirmaram que a combinação entre gamificação e robótica educacional constitui uma abordagem potente e coerente com as demandas contemporâneas do ensino de Física. A integração dessas metodologias promoveu uma aprendizagem ativa, na qual os alunos se tornaram protagonistas do processo, manipulando conceitos, instrumentos e códigos para compreender a natureza ondulatória dos fenômenos físicos. Tal experiência reafirma o pressuposto de que a aprendizagem significativa depende do engajamento emocional e da ação reflexiva, princípios defendidos por Ausubel (2003) e Moreira (2011).

Os resultados empíricos evidenciaram que os estudantes da turma investigada apresentaram ganhos normalizados significativos, confirmando o impacto positivo da intervenção pedagógica no contexto quase-experimental adotado. Mais do que um incremento quantitativo nas médias, observou-se uma transformação qualitativa na compreensão conceitual: os alunos passaram a interpretar as ondas como sistemas dinâmicos, compreendendo propriedades como frequência, amplitude e fase a partir da manipulação dos dados coletados com o sensor ultrassônico do Arduino. Essa conexão entre teoria e prática aproximou o conteúdo de Ondulatória da realidade tecnológica vivenciada pelos estudantes, potencializando a aprendizagem significativa.

A gamificação mostrou-se essencial na estruturação da proposta, oferecendo ritmo, desafio e feedback contínuo, em sintonia com os princípios de uma educação que descreve um processo contínuo, e não um evento isolado, focado em apoiar o aprendizado do aluno enquanto ele está acontecendo. No entanto, diferentemente de uma aplicação mecânica do reforço, o jogo foi desenhado para estimular também a motivação intrínseca, conforme os estudos de Deci e Ryan (2000) sobre autodeterminação. Assim, as recompensas funcionaram como elementos de engajamento inicial, mas o sentido formativo da atividade residiu na satisfação intelectual de compreender os fenômenos.

Por sua vez, a robótica educacional permitiu materializar o aprender fazendo, núcleo do construcionismo de Papert (1980). A construção da trena digital, incorporada à dinâmica do jogo, exigiu que os estudantes aplicassem os conceitos de propagação e reflexão de ondas para calibrar o dispositivo. Essa vivência concretizou a teoria de Piaget (1975) sobre o papel da ação e da experimentação na construção do conhecimento. O resultado foi um aprendizado situado, mediado pela prática e pela curiosidade epistemológica.

As observações qualitativas coletadas durante a aplicação revelaram maior entusiasmo, cooperação e autonomia por parte dos alunos. A aprendizagem deixou de ser um processo linear e transmissivo para se tornar um sistema aberto e dinâmico de interações. Conforme Creswell e Plano Clark (2018), a triangulação entre dados quantitativos e qualitativos aumenta a credibilidade e a robustez das inferências, permitindo compreender não apenas o quanto os alunos aprenderam, mas como e por que aprenderam melhor.

Os resultados obtidos estão em consonância com evidências metanalíticas recentes. Sailer e Homner (2020) demonstraram que a gamificação apresenta efeitos positivos significativos sobre a aprendizagem cognitiva e motivacional, especialmente quando combinada com elementos narrativos e de interação social. Do mesmo modo, Wang et al. (2023) e Ouyang e Xu (2024) verificaram que a robótica educacional e a cultura maker possuem efeito moderado sobre o desempenho acadêmico e as competências STEM, reforçando a validade externa deste estudo.

Apesar dos resultados promissores, a pesquisa também evidenciou limitações estruturais e temporais. O curto período de aplicação e a carga horária reduzida limitaram a exploração mais profunda de conceitos avançados, como interferência e ressonância. Conforme salientado pelo orientador, não se trata de alcançar generalizações absolutas, mas de reconhecer que cada experiência de ensino é singular e contextualizada. A reflexão crítica sobre essas limitações fortalece o caráter realista e honesto da investigação.

Outro ponto relevante refere-se à integração teórica entre paradigmas distintos. Embora behaviorismo, construtivismo e construcionismo possuam tensões epistemológicas, o diálogo entre eles mostrou-se produtivo quando mediado pelo conceito de aprendizagem significativa. O reforço comportamental garantiu estrutura e motivação; o construtivismo orientou a organização dos níveis cognitivos; e o construcionismo deu materialidade ao processo de criação. Essa convergência prática representa uma síntese pedagógica coerente com o ensino de Física no século XXI.

Os resultados obtidos reforçam que metodologias ativas, quando bem planejadas, produzem mudanças cognitivas e comportamentais sustentáveis. A Física, tradicionalmente percebida como árida, revelou-se acessível e prazerosa quando associada à experimentação, à narrativa e à colaboração. O jogo “Bat e Volta” simbolizou não apenas uma ferramenta didática, mas uma metáfora da própria aprendizagem — um movimento de ida e volta entre o erro e o acerto, a teoria e a prática.

A experiência contribui também para a reflexão sobre a formação docente. O sucesso da proposta dependeu do preparo do professor para integrar tecnologia, ludicidade e avaliação formativa. Essa constatação reforça a necessidade de investir na capacitação de educadores para o uso crítico de recursos tecnológicos, garantindo que a inovação metodológica esteja sempre subordinada à intencionalidade pedagógica e aos objetivos de aprendizagem.

Diante do exposto, este trabalho reafirma o potencial transformador da educação científica quando mediada por práticas criativas e colaborativas. A gamificação e a robótica educacional, longe de serem modismos, configuram-se como linguagens contemporâneas que dialogam com a

cultura digital dos estudantes. Ao unir o rigor conceitual da Física à ludicidade dos jogos e à materialidade da robótica, o projeto promoveu uma ponte entre emoção, razão e ação — dimensões complementares da experiência humana.

Conclui-se, portanto, que a proposta investigada alcançou seu objetivo de favorecer a aprendizagem significativa da ondulatória e de despertar o interesse pela robótica como ferramenta científica e educacional. Recomenda-se a continuidade das pesquisas, ampliando a duração da intervenção, diversificando as amostras e explorando novas possibilidades de integração entre metodologias ativas, tecnologia e pensamento crítico. A presente dissertação, ao articular evidências empíricas, fundamentos teóricos e práticas pedagógicas, contribui para o avanço da Educação em Física no contexto brasileiro, reafirmando que ensinar ciência é, acima de tudo, ensinar a pensar e a transformar o mundo.

## Referências

- Alimisis, D. *Educational robotics: open questions and new challenges*. Themes in Science and Technology Education, v. 6, n. 1, p. 63–71, 2013. Disponível em: <https://ouranos.edu.uoi.gr/theste/index.php/theste/article/view/119>. Acesso em: 28 out. 2025.
- Altin, H.; Pedaste, M. *Learning approaches to applying robotics in science education: a review*. International Journal of Education and Information Technologies, v. 7, n. 2, p. 65–72, 2013. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/LEARNING-APPROACHES-TO-APPLYING-ROBOTICS-IN-SCIENCE-Altin-Pedaste/f973f29a5968db6f61eef693e52a555754cb1e14>. Acesso em: 28 out. 2025.
- Alvarenga, B.; Máximo, A. *Curso de Física*. v. 2. São Paulo: Scipione, 1986.
- Augusto, A. Q.; Pachaly, J. R. *Princípios físicos da ultra-sonografia: revisão bibliográfica*. Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR, v. 3, n. 1, p. 61–65, 2000.
- Blikstein, P. *Digital fabrication and “making” in education: the democratization of invention*. In: WALTER-HERRMANN, J.; BÜCHING, C. (org.). *FabLab: Of Machines, Makers and Inventors*. Bielefeld: transcript Verlag, 2013. p. 1–21. Disponível em: <https://tltlab.org/wp-content/uploads/2019/02/2013.Book-B.Digital.pdf>. Acesso em: 28 out. 2025.
- Brasil. Ministério da Educação. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Brasília, DF: MEC/SEB, 2006.
- Brasil. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: educação básica*. Brasília, DF: MEC, 2018.
- Brasil. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio*. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/bncc\\_ensino\\_medio.pdf](https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/bncc_ensino_medio.pdf). Acesso em: 28 out. 2025.
- Calçada, J.; Sampaio, J. *Curso de Física*. v. 2: Ondas e Termodinâmica. São Paulo: Atual, 2006.
- Capanna, E. *Lazzaro Spallanzani (1729–1799): the scientist and the man*. Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution, v. 285, n. 3, p. 178–196, 1999.
- Carvalho, C. F.; Chammas, M. C.; Cerri, G. G. *Princípios físicos do Doppler em ultra-sonografia*. Ciência Rural, v. 38, n. 3, p. 872–879, 2008.
- Creswell, J. W.; Plano Clark, V. L. *Designing and conducting mixed methods research*. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2018.

Cultura Mix. *O surpreendente radar dos morcegos*. Animais – Cultura Mix, [s. l.]. Disponível em: <https://animais.culturamix.com/curiosidades/o-surpreendente-radar-dos-morcegos>. Acesso em: 29 out. 2025.

Deci, E. L.; Ryan, R. M. *The “what” and “why” of goal pursuits: human needs and the self-determination of behavior*. Psychological Inquiry, v. 11, n. 4, p. 227–268, 2000. DOI: 10.1207/S15327965PLI1104\_01.

Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R.; Nacke, L. *From game design elements to gamefulness: defining “gamification”*. In: Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference (MindTrek '11), Tampere. New York: ACM, 2011. p. 9–15. DOI: 10.1145/2181037.2181040.

Galante, A. *Como funciona o sonar ativo?* Poder Naval (blog), 17 jan. 2018. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2018/01/17/como-funciona-o-sonar-ativo/>. Acesso em: 28 out. 2025.

Green, R. W. *The veterinary ultrasound*. In: *Small animal ultrasound*. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1996. p. 1–5.

Griffin, D. R. *Listening in the Dark: The Acoustic Orientation of Bats and Men*. New Haven: Yale University Press, 1958.

Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J. *Fundamentos de Física*. Vol. 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

Hewitt, P. G. *Física conceitual*. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Jones, G.; Holderied, M. W. *Bat echolocation calls: adaptation and convergent evolution*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 274, n. 1612, p. 905–912, 2007.  
Kaiut, I. P.; Nastri, C. O.; Martins, W. P. *Segurança no uso da ultrassonografia obstétrica*. Experts in Ultrasound: Reviews and Perspectives, v. 1, n. 4, p. 211–215, 2009.  
Kawakami, Y.; Abe, T.; Fukunaga, T. *Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles*. Journal of Applied Physiology, v. 74, n. 6, p. 2740–2744, 1993.

Lovato, F. L.; Luciano, T. L.; Araújo, G. de S. *Metodologias ativas de aprendizagem: uma breve revisão*. Acta Scientiae, Canoas, v. 20, n. 2, p. 140–158, 2018. Disponível em: <https://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/3690>. Acesso em: 28 out. 2025.

Miller, D. L. *Safety assurance in obstetrical ultrasound*. Seminars in Ultrasound, CT and MR, v. 29, n. 2, p. 156–164, 2008.

Moreira, M. A. *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

Ouyang, F.; Xu, G. *Effects of educational robotics on STEM learning: a meta-analysis*. Computers & Education, 2024.

Papert, S. *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books, 1980.

Disponível em: [https://worrydream.com/refs/Papert\\_1980\\_-\\_Mindstorms%2C\\_1st\\_ed.pdf](https://worrydream.com/refs/Papert_1980_-_Mindstorms%2C_1st_ed.pdf). Acesso em: 28 out. 2025.

Piaget, J. *A equilibração das estruturas cognitivas: problema central do desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

Sailer, M.; Homner, L. *The gamification of learning: a meta-analysis*. *Educational Psychology Review*, v. 32, n. 1, p. 77–112, 2020. DOI: 10.1007/s10648-019-09498-y.

Simmons, J. A.; Stein, R. A. *Acoustic imaging in bat sonar*. *Journal of Comparative Physiology A*, v. 135, p. 61–84, 1980.

Stilz, W. P.; Brinker, R. *Acoustic adaptation and sonar detection in bats*. *Journal of Experimental Biology*, v. 213, p. 3299–3306, 2010. DOI: 10.1242/jeb.045476.

Tipler, P. A.; Mosca, G. *Física para cientistas e engenheiros*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Tomocenter. *Ultrassom obstétrico: conheça os benefícios para a gestante e o bebê*. Disponível em: <https://tomocenter.com.br/>. Acesso em: 11 fev. 2025.

Wang, K.; Zhang, H.; Li, J.; Li, Y. *The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: a meta-analysis*. *Sustainability*, v. 15, n. 5, e4637, 2023. DOI: 10.3390/su15054637.

Young, H. D.; Freedman, R. A. *University Physics with Modern Physics*. 15. ed. Boston: Pearson, 2020.